631.6
К 78

А. Н. КОСТЯКОВ

ОСНОВЫ МЕЛИОРАЦИЙ

СЕЛЬХОЗГИЗ · 1960

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ ВЫСШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

А. Н. КОСТЯКОВ

ОСНОВЫ МЕЛИОРАЦИЙ

ШЕСТОЕ ИЗДАНИЕ,
ДОПОЛНЕННОЕ И ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Допущено Главным управлением сельскохозяйственных вузов Министерства сельского хозяйства РСФСР в качестве учебника для гидромелиоративных институтов и факультетов



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА • 1960

ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

Шестое издание «Основ мелиораций» является посмертным изданием, полностью подготовленным самим автором А. Н. Костяковым, который работал над ним до последних дней своей жизни — до августа 1957 г.

Для шестого издания учебника автор переработал, уточнил и дополнил в соответствии с новейшими достижениями науки и передовой практики все главы и разделы пятого издания, которое было выпущено в свет в 1951 г. Особое внимание он уделил описанию и расчетам новой более совершенной техники мелиораций, обеспечивающей повышение производительности труда и эффективности мелиораций для решения задач развития сельского хозяйства СССР.

Настоящее издание «Основ мелиораций» после смерти автора окончательно подготовлено к печати профессорами С. Ф. Аверьяновым и Н. Д. Кременецким.

Ответственные редакторы при своей совместной работе сохранили весь текст А. Н. Костякова и, не допуская коренных изменений, дополнили его только материалами и данными, появившимися после смерти автора. Например, приведены данные о площадях орошения и осушения, о задачах, поставленных перед мелиорацией Пленумами ЦК КПСС, состоявшимися в июне и декабре 1959 г. С. Ф. Аверьянов и Н. Д. Кременецкий внесли примечания и пояснения, дополняющие и уточняющие основные положения автора.

Все подстрочные примечания, за исключением отмеченных словами *«Прим. автора»*, даны С. Ф. Аверьяновым и Н. Д. Кременецким.

В подготовке шестого издания учебника к печати большую работу выполнила В. Д. Костякова, а также сотрудники кафедры мелиораций факультета гидротехники и мелиораций Сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева ассистент Б. М. Живова и инженер Р. Н. Кабанова.

Философы лишь различным образом объясняли мир, но дело заключается в том, чтобы изменить его.

К. Маркс

ПРЕДМЕТ, МЕТОД И ЗАДАЧИ МЕЛИОРАЦИЙ

Человечество на протяжении всей своей истории предъявляло и предъявляет большие требования к земле, как одному из основных средств производства продуктов питания и промышленного сырья, а также как территории развития своей общественной жизни и хозяйственной деятельности.

Для развития производственной деятельности людей, для успешного хозяйственного использования земли нужны, кроме социально-экономических, *определенные внешние условия* — климатические, почвенные, гидрогеологические и др. В одних местностях эти условия даны самой природой, в других — они должны обеспечиваться человеком путем соответствующего изменения — переделки — неблагоприятных природных условий, путем коренного улучшения, или *мелиорации* их.

«Так называемые прочные мелиорации,— писал К. Маркс,— которые изменяют физические, отчасти и химические свойства почвы посредством операций, стóящих затраты капитала, и которые могут рассматриваться как присоединение капитала к земле,— почти все сводятся к тому, чтобы определенному участку земли, земле в определенном ограниченном месте придать такие свойства, которыми другая почва, в другом месте, зачастую совсем близко, обладает от природы»[1]. Необходимость в мелиорациях — улучшениях природных условий — определяется хозяйственными потребностями человека, характером производственных отношений людей, уровнем развития производительных сил в данной стране. Уровень общественного развития и хозяйственные условия определяют характер и размеры требований хозяйства к внешним природным условиям и степень необходимости изменения или переделки их для удовлетворения хозяйственных требований, т. е. характер, размеры и возможности мелиораций.

Хозяйственная сущность мелиораций видна из следующих слов К. Маркса: «Хотя эти прочные улучшения и являются продуктом капитала, однако они оказывают совершенно такое же действие, как различие в природных качествах земли»[2].

«В земледелии могут быть продуктивно употреблены последовательные затраты капитала, потому что земля сама действует в качестве орудия производства, тогда как на фабрике, где земля служит лишь основой, местом расположения, территориальной операционной базой, на фабрике этого нет или это имеет место в очень узких границах... Основной капитал, затраченный на машины и т. п., не улучшается вследствие употребления, а, наоборот, изнашивается... Земля, напротив, постоянно улучшается, если правильно обращаться с нею»[3].

---

[1] К. Маркс. Капитал, т. III. М., Госполитиздат, 1949, стр. 758—759. *Прим. автора*

[2] Там же, стр. 720. *Прим. автора*

[3] Там же, стр. 794. *Прим. автора*

Таким образом, мелиорации позволяют изменять природные условия определенных территорий, увеличивать площади лучших земель в стране, сообразно развитию ее хозяйства и состоянию производственных отношений.

Мелиорации являются одним из непосредственных средств изменения природных условий и процессов; в условиях социализма мелиорации служат мощным средством переделки природных условий в интересах всего общества, в целях всемерного поднятия производительных сил страны и увеличения благосостояния народа.

Придавая большое значение вопросам коренного улучшения земель для поднятия производительных сил страны, В. И. Ленин и Советское правительство в первые годы после Октябрьской социалистической революции уделяли много внимания развитию мелиораций. Особенно крупный размах работы по мелиорации получили в годы первой и второй пятилеток в результате индустриализации страны и коллективизации сельского хозяйства.

Работы по орошению, обводнению и осушению земель велись и ведутся комплексно, в сочетании с развитием гидроэнергетики, водного транспорта, облесения и др.

За 1918—1955 гг. общая площадь мелиорированных — орошаемых и осушенных — земель в СССР увеличилась более чем в два раза по сравнению с мелиорированной площадью царской России. Крупный рост мелиоративных работ имел место не только в СССР, но и в странах социалистического лагеря.

Особенно большие успехи достигнуты в Китайской Народной Республике в развитии орошения, борьбе с наводнениями и затоплением земель. Широко развивается мелиоративное строительство в Болгарии, Румынии, Чехословакии, Венгрии, Польше и в других социалистических странах.

Эти факты ясно показывают, какие огромные преимущества для развития народного хозяйства и мелиораций имеет социалистический строй перед строем капиталистическим.

Мелиорации в СССР являются одной из составных частей мероприятий по преобразованию природы и подъема сельского хозяйства страны.

Для обеспечения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, для возможности эффективного использования и освоения земель необходимо создание и поддержание нужного для растений водного, воздушного, питательного и теплового режимов на занятых ими землях.

В трудах В. Р. Вильямса вскрыт и развит закон незаменимости факторов жизни растений; в силу этого закона для создания максимальных, непрерывно повышающихся урожаев, сельскохозяйственные культуры должны быть обеспечены одновременным и полным притоком всех необходимых им факторов развития: воды, пищи, тепла, света, аэрации.

Среди этих факторов жизни растений вода и пища занимают особое место по возможности более широкого производственного воздействия на них. Они влияют на развитие растений главным образом через посредство почвы и населяющих ее микроорганизмов. Воздействуя на эти факторы — воду и пищу, можно в определенной степени влиять на аэрацию и температуру почвы, на концентрацию почвенных растворов.

Способность почвы одновременно и непрерывно удовлетворять потребности растений в усвояемых воде и пище в значительной степени определяет плодородие почвы.

Но, кроме воды и пищи, очень важными и взаимосвязанными факторами для жизни растений являются температура, свет и влажность воздуха. Так, влажность почвы сильно влияет на аэрацию и тепловой режим ее; от аэрации, температуры и влажности почвы зависит жизнедеятельность микроорганизмов и создание усвояемых форм пищи, т. е. пищевой режим почвы, и т. д.

Если какой-либо из факторов, необходимых для развития растений, не имеется в природных условиях, то он должен быть обеспечен путем соответствующего изменения этих условий, что достигается восполнением недостающих факторов роста или устранением причин, вызывающих их недостаток.

Эти задачи, в зависимости от потребностей хозяйства и степени дефицитности необходимого фактора, в одних случаях могут быть разрешены только агротехническими мероприятиями; в других же случаях они требуют еще и соответствующих мелиоративных мероприятий, позволяющих значительно и прочно изменить неблагоприятные природные условия (почвенные, климатические, гидрологические) в нужном для развития социалистического хозяйства направлении.

Так, мелиорации, воздействуя главным образом на водный режим почвы, оказывают большое влияние на ее воздушный, тепловой и микробиологический и вместе с ним на питательный режимы и, следовательно, на плодородие почвы и направление почвообразовательного процесса.

Изменяя водный режим земель (почвенной влаги и поверхностных вод), мелиорации влияют также на внутренний влагооборот мелиорируемых территорий и, следовательно, на изменение не только почвенных, но и климатических и гидрологических условий (режим поверхностных и грунтовых вод) этих территорий в нужном для хозяйства направлении.

От водного режима почвы в значительной мере зависят процессы накопления и разрушения органического вещества. Водный режим, сказываясь на плодородии почвы, очень сильно (во многих случаях решающе) влияет на величину и устойчивость урожаев.

Естественный водный и питательный режимы почв и земельных массивов во многих случаях не совпадают с нужным для наилучшего сельскохозяйственного использования земель режимом. В одних случаях сельскохозяйственные культуры испытывают недостаток влаги; в других, наоборот, получение необходимых урожаев тормозится избытком влаги и недостатком в почве воздуха и усвояемой пищи растений.

Условия избытка влаги и недостатка в почве воздуха, тепла и усвояемой зольной пищи растений развиты главным образом в местностях с невысокой температурой и большой влажностью воздуха, т. е. главным образом в северных и северо-западных районах Советского Союза. В этих районах имеет место подзолистая стадия почвообразовательного процесса и переход его к дерновой стадии. В силу климатических и гидрологических условий здесь наблюдается превышение атмосферных осадков над испарением и стоком, т. е. естественного прихода влаги над расходом; в условиях повышенной влажности и недостатка аэрации в почве преобладают анаэробные процессы разложения, обусловливающие накопление органического вещества, обладающего большей влагоемкостью, что влечет еще большее накопление влаги, ослабление аэрации почвы, обеднение зольного питания растений и, следовательно, дальнейшее накопление органического вещества, влаги и заболачивание почвы. Этот общий процесс усиливается при совокупном влиянии местных причин накопления влаги — в понижениях рельефа, при малом стоке и затоплениях. Поэтому в указанных (северных и северо-западных) районах, кроме площадей нормального достаточного увлажнения, имеются обширные площади болот и заболоченных земель разной стадии и степени заболачивания. *Заболоченные, избыточно увлажненные почвы имеют большую теплоемкость и вследствие этого более низкую температуру*; грунтовые воды здесь стоят более или менее близко к поверхности и слабо минерализованы. Явления заболачивания и избыточного увлажнения встречаются даже в южных районах, но здесь эти явления происходят главным образом в результате действия местных причин накопления влаги.

Недостаток влаги при обеспеченности аэрации почв и зольного питания преобладает в южных и юго-восточных степных, полупустынных и пустынных районах СССР, которые отличаются высокими температурами и низкой

влажностью воздуха, высокой испаряемостью и небольшим количеством атмосферных осадков. В этих районах наблюдается степная стадия почвообразовательного процесса с превышением естественного расхода влаги — испаряемости, над приходом ее — атмосферными осадками. В условиях дефицитов влаги и обеспеченной аэрации в почве преобладают аэробные процессы разложения органического вещества, при которых оно не накопляется в почве, а быстро минерализуется; зольные элементы часто резко выражены; почвенные растворы имеют обычно высокую концентрацию; *вследствие малой теплоемкости сухие почвы имеют более высокую температуру.* Бедные органическим веществом, не обладающие прочной структурой почвы легко подвергаются водной и ветровой эрозии. Поэтому в этих районах развиты не только недостаточно обеспеченные влагой засушливые степи и полупустыни, но и безводные пустыни, часто с солонцеватыми и солончаковыми почвами, а также овраги и сыпучие пески; грунтовые воды в большинстве случаев более или менее сильно минерализованы. Явления недостаточной обеспеченности почвы влагой могут наблюдаться и в других районах в силу действия местных причин — земли с крутыми уклонами и усиленным стоком, сильно водопроницаемые почвы, площади, занятые особо влаголюбивыми культурами, отдельные засушливые периоды и др.

Между двумя рассмотренными зонами — подзолистого и дерново-подзолистого почвообразовательного процесса, с одной стороны, и степного, с другой — лежит обширная промежуточная зона, переживающая дерновую стадию почвообразовательного процесса и переходные стадии к ней от подзолистой (в северных частях) к степной (в южных частях). К этой промежуточной зоне принадлежат лесостепные и смежные с ними районы. В климатическом и гидрологическом отношениях этой зоне свойственны значительные колебания (во времени и в пространстве) условий естественного ее увлажнения, соотношения между приходом и расходом влаги в почве; поэтому данную зону можно назвать зоной неустойчивого увлажнения. В зоне неустойчивого увлажнения почти в одинаковой мере встречаются земли как с избыточным, так и с недостаточным увлажнением, в зависимости от местных топографических, почвенных, гидрологических условий, с одной стороны, и метеорологических условий года, с другой.

Таким образом, избыток или недостаток влаги и связанные с ними явления обусловливаются действием или общих климатических и гидрологических (зональных) факторов или же местных причин: рельефа и гидрографического положения, свойств грунта, характера хозяйственного использования данной территории; часто же — влиянием тех и других (зональных и местных) факторов вместе.

Действие местных факторов может ослаблять или усиливать влияние общих зональных факторов; вследствие этого явления как избыточного, так и недостаточного увлажнения почвы могут встречаться в различных районах, получая наиболее резкое выражение там, где имеются особо благоприятные для этого условия.

В силу сказанного в большинстве районов СССР, помимо использования земель с достаточным (нормальным) естественным увлажнением, приходится (в той или иной степени, в зависимости от хозяйственных и природных условий) использовать также земли, имеющие избыток или недостаток влаги, на которых для сельскохозяйственного освоения требуются соответствующие мелиоративные мероприятия. Эти мероприятия должны быть направлены на восполнение дефицита необходимых факторов плодородия почвы.

В условиях избыточного увлажнения дефицитными являются содержание в почве воздуха и усвояемой зольной пищи растений, а также температура почвы; поэтому мелиорации здесь должны быть направлены на усиление аэрации и повышение температуры почвы, обеспечение аэробных процессов разложения органического вещества путем устранения избыт-

ков воды, поддержания нужного режима влажности и соответствующей системы обработки почвы и удобрений.

В условиях недостаточного увлажнения дефицитным является содержание влаги в почве, что влечет повышение концентрации почвенных растворов и температуры почвы; поэтому мелиорации здесь должны быть направлены на восполнение недостатков влаги, снижение испаряемости и температуры почвы путем дополнительного увлажнения почвы, соответствующей агротехники и изменения микроклимата приземного слоя воздуха.

Устранение избытка и восполнение недостатка влаги на мелиорируемых землях должно производиться в соответствии с определенными хозяйственными заданиями и агробиологическими требованиями, т. е. строго планово и нормированно и так, чтобы при этом прогрессивно повышалось плодородие мелиорируемых почв, т. е. растения были обеспечены необходимыми им количествами воды, питательных веществ и другими факторами. Водный и питательный режимы почвы тесно связаны между собой; водный режим обусловливает (при данных условиях) воздушный и микробиологический режим почвы (деятельность почвенных микроорганизмов), т. е. питательный режим почвы, который, влияя на развитие растений, в свою очередь, воздействует на водный режим.

«В природе как вода, так и элементы зольного и азотного питания растений, черпаемые последними из почвы, — писал В. Р. Вильямс, — находятся в состоянии беспрерывного круговорота, причем направление обоих круговоротов (воды и зольных элементов) совпадает почти во всех деталях, но скорости этих двух круговоротов существенно различны. Причина совпадения направления круговоротов воды и питательных веществ растений лежит в том, что большую часть своего пути зольные элементы пищи растений пробегают в виде раствора в воде. Причина же несовпадения скоростей круговоротов заключается в том, что на своем пути в общем *геологическом круговороте* элементы зольной пищи растений периодически принимают участие в другом *круговороте — биологическом*»[1].

Однако неблагоприятным для развития сельскохозяйственных растений и эффективного хозяйственного использования земель может быть не только режим почвенной влаги и грунтовых вод, но и связанный с ним режим поверхностных вод на данной территории. В сухих пустынных и в засушливых степных районах обычно наблюдается недостаточная обеспеченность поверхностными водами, задерживающая хозяйственное освоение и использование этих районов. Вследствие этого возникает необходимость в обводнении, т. е. искусственном создании необходимых водных источников для хозяйственного освоения этих районов. В других районах, наоборот, приходится сталкиваться с вредным длительным или периодическим избытком поверхностных вод в виде наводков и обширных наводнений и затопления ценных в хозяйственном отношении земель или разрушения их вследствие размыва и смыва (эрозии) почв и оползаний грунта. Для освоения и хозяйственного использования таких земель нужны специальные мероприятия по борьбе с наводнениями, затоплениями земель и с эрозией почв.

Одной из важнейших задач земледелия и мелиораций и является управление круговоротом воды и зольных питательных элементов в целях прогрессивного повышения плодородия почв.

Управляя круговоротом воды и зольных веществ, необходимо всемерно удерживать питательные для растения вещества в биологическом круговороте и не только не допускать их перехода в геологический круговорот, но и извлекать их из него. В. Р. Вильямс писал, что при крайней ограниченности наиболее важных элементов зольного питания растений на земной поверхности единственный путь для придания им свойства количественной неограниченности, необходимой для поддержания жизни живых организмов, состоит в вовлечении этих элементов в быстрый биологический круговорот путем высокопродуктивного сельскохозяйственного использования земель.

Управляя круговоротом воды и зольных веществ и изменяя для этого нужным образом природные (почвенные, гидрологические) условия земельных массивов, можно улучшать их хозяйственные условия и успешно осваивать новые земли. При ежегодном

---

[1] Статья В. Р. Вильямса «Научные основы улучшения почв» в сборнике «О земле», вып. 2. М., 1922, стр. 109. *Прим. автора.*

заборе из реки определенных количеств воды, стекавших в море, и использовании их на орошение и обводнение земель эта вода включается в биологический круговорот, который таким образом усиливается. Вместе с этим усиливается и внутренний оборот влаги в засушливых районах, и благодаря этому сток воды в реки становится более равномерным в течение года, т. е. улучшаются не только хозяйственные, но климатические и гидрологические условия района.

С регулированием стока воды с заболоченных площадей и осушением болот ускоряется геологический круговорот воды и тем самым улучшаются гидрологические и климатические условия заболоченных районов, однако при этом не должно быть допущено удаление питательных веществ с осушаемой площади в реки и моря. Для этого нужно предупреждать процессы эрозии, дефляции и смыва зольных питательных веществ в реки, моря и бессточные низменности и всемерно усиливать биологический круговорот влаги и питательных веществ путем интенсивного сельскохозяйственного использования осушаемых земель. Поэтому, регулируя в нужном для сельского хозяйства направлении круговорот воды, необходимо одновременно регулировать и усиливать биологический круговорот зольных питательных элементов, всемерно обеспечивая сохранение их путем правильного сельскохозяйственного использования мелиорируемых земель.

Такое совместное управление геологическим и биологическим круговоротом воды и зольных питательных веществ может быть достигнуто при условии комплексной взаимосвязи мелиоративно-гидротехнических и агротехнических методов, составляющих единую систему мелиоративных мероприятий, отвечающую природным и хозяйственным условиям данного района.

Все мелиоративные мероприятия по управлению водным режимом должны быть взаимно увязаны и должны дополнять друг друга. Так, одно только осушение заболоченных почв влечет удаление с водой и зольных питательных элементов и, следовательно, обеднение почв не только влагой, но и пищей, особенно полевых угодий на водоразделах и склонах; в результате усилятся процессы закисания лугов. При орошении бесструктурных почв вода быстро расходуется на испарение, а естественные ресурсы влаги (атмосферные осадки и др.) недостаточно используются и теряются путем стока и испарения их; это влечет избыточное расходование оросительной воды и усиление процессов соленакопления в верхних слоях почвы. Все эти неблагоприятные явления могут быть устранены, если мелиорации осуществляются при соответствующем сочетании гидротехнических и агротехнических мероприятий с обеспечением прочной комковатой структуры почв. В комковатой почве главнейшие элементы плодородия — вода и усвояемые элементы пищи растений — могут одновременно содержаться в максимальных необходимых растениям количествах. Прочная комковатая структура почв обеспечивает также лучшее соотношение между содержанием воды и воздуха в почве.

Создание и поддержание прочной комковатой структуры почв в одних условиях достигается введением травопольных севооборотов, включающих посевы смеси многолетних злаковых и бобовых трав (по В. Р. Вильямсу), в других условиях — соответствующей системой обработки почвы при севооборотах без многолетних трав.

Система мелиоративных мероприятий в каждом районе неразрывно связана с общим планом развития сельского хозяйства данного района или бассейна и со всем комплексом агротехнических мероприятий на нем.

Таким образом, сельскохозяйственные мелиорации в СССР представляют собой систему организационно-хозяйственных и технических мероприятий, имеющих задачей коренное улучшение неблагоприятных природных (гидрологических, почвенных, агроклиматических) условий с целью наиболее эффективного использования земельных ресурсов в соответствии с потребностями социалистического хозяйства.

1. МЕЛИОРАЦИИ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕОБРАЗОВАНИЮ ПРИРОДЫ

Мелиорации являются составной частью общего комплекса мероприятий по преобразованию природы. Этот комплекс представляет собой систему агротехнических, лесоводственных, почвенно-мелиоративных, водохозяйственных и гидротехнических мероприятий, имеющих задачей изменение в нужном направлении неблагоприятных природных условий, в целях повышения плодородия почвы, создания наилучших условий развития сельского хозяйства в различных районах и наиболее производительного использования земель. Научные основы означенного комплекса мероприятий разработаны в трудах Докучаева, Костычева, Вильямса.

Мелиоративные мероприятия, направленные на регулирование водного режима земельных массивов, тесно связаны с режимом стока поверхностных и подземных вод в данном гидрографическом бассейне. Тесная связь мелиораций с водными ресурсами каждого бассейна делает наиболее целесообразным их осуществление в комплексе с другими отраслями водного хозяйства (гидроэнергетикой, обводнением и водоснабжением, водным транспортом, рыбоводством и др.) на основах побассейновых водохозяйственных планов и схем. Это дает возможность не только наиболее эффективного использования водных, земельных и других ресурсов, но и необходимой переделки неблагоприятных природных (гидрологических, почвенных и др.) условий для успешного развития народного хозяйства.

Противоречия между основными элементами плодородия почвы — водой и усвояемой пищей растений могут быть устранены системой соответствующих мелиоративных мероприятий, регулирующих водный, воздушный и микробиологический режимы почвы, и обеспечением комковатой структуры почвы путем надлежащей агротехники и введения правильных севооборотов.

Пополнение недостатков влаги и связанное с этим улучшение питательного и теплового режимов почв могут быть достигнуты:

1) повышением использования естественных водных ресурсов — осадков и запасов почвенной влаги путем уменьшения коэффициента стока, задержания естественного стока и всемерного накопления естественных запасов влаги в почве (естественная влагозарядка); путем зяблевой вспашки, обработки поперек склона, водо- и снегозадержания, поддержания комковатой структуры почвы, которая сильно увеличивает поглощение атмосферных осадков и уменьшает испарение влаги почвой, и др.;

2) сокращением бесполезного расходования воды не только на испарение почвы, но и на излишнюю транспирацию растений путем создания ветрозащитных лесных полос и повышения агротехники и плодородия почвы;

3) поддержанием нужного водного режима почвы искусственным орошением и соответствующей системой обработки почвы и агротехники.

Устранение избытков влаги в почве и связанное с этим усиление аэрации ее, создание аэробного процесса разложения и улучшение условий зольного питания растений могут быть достигнуты:

1) уменьшением поступления воды на данную площадь с вышележащих площадей, предохранением ее от затопления или подтопления;

2) удалением избыточных поверхностных и почвенно-грунтовых вод и поддержанием нужного водного режима путем применения осушительных мелиораций, соответствующей обработкой почвы, правильным сельскохозяйственным использованием осушаемых земель;

3) усилением воздухопроницаемости почвы — приданием ей прочной комковатой структуры.

Создание нужного водного режима — восполнение дефицита влаги или устранение избытка ее в каждом конкретном случае должны соответствовать природным и хозяйственным условиям, что предопределяет плановое водопользование при мелиорациях.

Потребность в мелиорациях и характер их в каждом районе и на каждой конкретной площади определяются зональными условиями: в южных и юго-восточных засушливых районах — оросительные и обводнительные, в северных и северо-западных заболоченных районах СССР — осушительные. Нужно отметить, что потребность в тех или иных мелиорациях и характер их изменяются в соответствии с природными условиями и хозяйственными задачами.

В соответствии с вышеизложенным и учитывая положения, вытекающие из закона незаменимости факторов жизни растений, можно представить схему основных видов мелиораций в виде таблицы 1.

Таблица 1

Естественные условия водного режима земельной площади	Дефицитные факторы развития растений (плодородия)	Основное направление и средства мелиорации	Виды мелиорации
Избыточное увлажнение	Содержание воздуха в почве; нужная температура почвы; зольные усвояемые питательные вещества	Повышение аэрации почвы путем устранения *избытка* воды и ускорения стока поверхностных и почвенных вод	Предохранение от затопления. Осушение. Регулирование водоприемников
Неустойчивое увлажнение	Факторы, соответствующие условиям избыточного или недостаточного увлажнения, в зависимости от местных территориальных и погодных условий	—	Мелиорации, соответствующие условиям избыточного или недостаточного увлажнения, в зависимости от местных условий
Недостаточное увлажнение	Содержание влаги в почве; нужная концентрация почвенных растворов	Восполнение *недостатка* воды. Задержание и использование стока	Орошение, обводнение и увлажнение почвы. Регулирование местного стока

Сельскохозяйственные мелиорации можно разделить на две основные группы:

1) мелиорации, создающие и регулирующие нужный водный и связанный с ним питательный и тепловой режимы почв, необходимые как для освоения новых земель, так и для обеспечения высоких и устойчивых урожаев на существующих сельскохозяйственных площадях;

2) мелиорации, обеспечивающие борьбу с вредным механическим действием стекающих вод, т. е. с эрозией почвы и оползнями грунта.

В основе этих двух групп мелиораций лежит изменение естественных гидрологических, почвенных и других условий данной территории в соответствии с потребностями хозяйства.

Регулирование водного режима улучшаемых земель должно быть плановым и нормированным в соответствии с хозяйственными и агробиологическими требованиями, с одной стороны, и почвенно-гидрологическими и климатическими условиями их — с другой.

Доставление излишних количеств воды на орошение, превышающих необходимые при данных условиях нормы, влечет бесполезную растрату водных ресурсов, увеличивает потери воды на испарение почвы, способствует повышению грунтовых вод и засолению почв; наоборот, недостаточное содержание влаги в почве может повышать концентрацию почвенных растворов и температуру почвы и снижать урожайность.

Удаление при осушении больших количеств воды, превышающих необходимые нормы, может вызывать пересушку почвы и обеднение ее зольными питательными веществами, вследствие вымыва их, и снижение плодородия почвы; наоборот, недостаточное удаление воды поддерживает в почве анаэробные процессы разложения, повышенную теплоемкость почвы и снижает ее температуру.

Для получения максимальной эффективности мелиораций водный и питательный режимы почв должны регулироваться на основе соблюдения следующих главнейших условий.

1. На мелиорируемых (орошаемых или осушаемых) землях должна поддерживаться прочная мелкокомковатая структура почв, что достигается применением соответствующей агротехники.

Комковатая структура почвы, когда масса ее сложена из отдельных комочков (диаметром 3—4 *мм*, с колебаниями от 1 до 10 *мм*), обеспечивает

наилучшие водные, физико-химические и биологические свойства почвы. Структурные почвы хорошо поглощают и правильно распределяют влагу и воздух в своей толще, меньше подвержены размыву водой. На этих почвах значительно меньше потери воды на испарение.

В структурных почвах более благоприятно складываются пищевой и микробиологический режимы; вода и усвояемая пища растений не являются антагонистами; вода и воздух занимают различные части общего объема промежутков почвы — влага находится в комках и мелких капиллярах между ними, воздух же содержится в крупных промежутках между комками почвы. Структурные почвы обладают способностью хорошо регулировать водный режим, не допуская явлений накопления влаги и иссушения верхних слоев почвы, т. е. поддерживать более прочный запас воды в почве.

Благодаря указанным свойствам структурные почвы в условиях избыточного увлажнения обеспечивают лучший воздушный и тепловой режимы; в условиях недостаточного увлажнения улучшают благоприятный водный режим, содействуя предупреждению заболачивания и вторичного засоления верхних слоев почвы. На землях, подверженных эрозии, прочная комковатая структура, усиливая поглощение воды, предохраняет почвы от размыва.

2. Водный, питательный и солевой режимы почв должны и при орошении и при осушении регулироваться нормированно, в соответствии с агробиологическими требованиями и конкретными хозяйственными и природными условиями данной площади, что достигается строгим планированием водопользования, правильными эксплуатацией мелиоративных систем и сельскохозяйственным использованием мелиорированных земель.

Водный и связанные с ним питательный и тепловой режимы почвы в естественных природных условиях во многих случаях подвержены значительным колебаниям не только в пространстве, но и во времени, в силу колебаний климатических и гидрологических условий, причем эти колебания часто не могут быть заранее предусмотрены во времени. Кроме того, отдельные факторы водного режима нередко складываются в противоположных направлениях; например, во многих засушливых районах бывают отдельные влажные годы или встречаются площади с близкими грунтовыми водами, а заболоченные земли с близкими грунтовыми водами испытывают в отдельные засушливые периоды недостаток влаги в почве и т. д.

В силу этого водопользование и регулирование водного режима должно изменяться в соответствии с хозяйственными требованиями и с колебаниями климатических и гидрологических условий.

Во многих случаях, при неблагоприятных гидрологических и почвенных условиях, когда хозяйство не может допускать значительных стихийных колебаний водного режима, приходится прибегать к специальному добавочному регулированию водного и солевого режимов путем дополнительных мероприятий.

Чем лучше поставлена эксплуатация мелиоративных систем, чем правильнее пользование водой, тем меньше потребность в мероприятиях по дополнительному регулированию водного, зольного и солевого режимов на мелиорированных землях. Однако во многих случаях при неблагоприятных природных условиях указанные мероприятия приходится осуществлять и при правильной постановке эксплуатации мелиоративных систем.

Таким образом, осуществление мелиораций связано с широкой системой регулирования стока как поверхностных, так и почвенно-грунтовых вод, оказывая влияние на его скорость, количество и форму. Благодаря этому достигается надлежащее регулирование не только водного и питательного режимов почв, но и механического действия стекающих на почву вод там, где оно неблагоприятно.

2. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ И СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Водный режим оказывает большое влияние на воздушный, тепловой, микробиологический и пищевой режимы почв, т. е. на основные факторы плодородия почв. Поэтому анализ динамики водного режима мелиорируемой территории очень важен: он не является самоцелью, а имеет задачей учет и прогноз основных приходных и расходных элементов его в целях регулирования их в нужном для хозяйства направлении, в целях планового и эффективного использования водных и земельных ресурсов и повышения плодородия почв.

Приходными факторами водного режима данного земельного массива за рассматриваемый период в естественных условиях являются: 1) атмосферные осадки P; 2) поверхностные воды V, поступающие на этот массив извне в результате притока со стороны; 3) приток грунтовых вод или фильтрационных вод G в пределы данного массива; 4) конденсация в почве атмосферной влаги A.

Грунтовые воды на данный массив могут поступать за счет притока грунтовых вод с соседних вышележащих массивов, за счет фильтрации воды из расположенных выше данного массива водоемов, рек, каналов, особенно при подпоре стекающих с данного массива грунтовых вод.

Расходными факторами водного режима земельного массива являются: 1) испарение влаги E с данного массива, слагающееся из: а) испарения воды почвой и с водной поверхности и б) транспирации влаги растениями, зависящей от агротехники, характера культур, их урожайности и др.; 2) сток поверхностных вод S с данного массива; 3) отток почвенно-грунтовых вод O за пределы данного массива.

Отток грунтовых вод с данного массива может происходить в результате водоотводящего действия расположенных на нем водоприемников — рек, оврагов, дрен, за счет бокового растекания грунтовых вод в сторону соседних массивов и за счет инфильтрации почвенно-грунтовых вод из данного массива в подстилающие его водоотводящие слои — галечники, трещиноватые породы (если таковые имеются).

Водный баланс данного земельного массива за рассматриваемый период времени можно выразить следующим уравнением (в приведенных обозначениях):

$$\Delta W + \Delta V = (P + V - S) + (G + A - O) - E,$$

где ΔW — прибыль (или убыль) запаса почвенно-грунтовой воды в определенной толще грунта данного массива;

ΔV — прибыль (или убыль) поверхностной воды на данном массиве.

Это уравнение дает общий баланс поверхностных и почвенно-грунтовых вод на данном земельном массиве, так как запасы тех и других в гидрологическом отношении связаны между собой. Нужно, однако, иметь в виду, что в сельскохозяйственном отношении запасы поверхностных и почвенно-грунтовых вод не равноценны. Большинство сельскохозяйственных растений, как известно, не выдерживает более или менее длительного затопления, но нуждается в постоянном наличии почвенной влаги — в определенных количествах в соответствии с другими факторами.

Баланс почвенно-грунтовых вод за рассматриваемый период можно выразить следующим уравнением:

$$\Delta W = (P + V - S_1) + (G + A - O) - E_1,$$

где E_1 — величина испарения влаги из почвы, т. е. самой почвой и растениями;

S_1 — сток всей поверхностной воды за данный период без остатка, т. е. $S_1 = S + \Delta V + E - E_1$.

В зависимости от значения слагающих водный баланс элементов изменение запаса воды в толще почвогрунта ΔW может быть положительным или отрицательным.

Если значение ΔW положительно, запас воды в толще почвогрунта в конце рассматриваемого периода $W+\Delta W$ (где W — запас в начале периода) повышается. Если, наоборот, значение ΔW отрицательно, то вышележащая толща почвогрунта иссушается, т. е. в нем уменьшается содержание влаги и при неглубоком залегании грунтовых вод их уровень снижается.

Поднятие уровня грунтовых вод повышает содержание влаги в данной толще почвогрунта; обратно, понижение уровня грунтовых вод снижает содержание влаги в ней.

Между колебаниями уровня грунтовых вод и изменениями содержания влаги в вышележащей толще грунта имеется определенная связь. При повышении уровня грунтовых вод с глубины t до t_1 содержание влаги в толще грунта выше их уровня увеличивается на $\Delta G_{(t)}=\alpha(\beta_{max}-\beta_{min})(t-t_1)$, а в слое h (меньшем t и t_1) запас влаги увеличивается:

$$\text{при } h>(t-H_0)\text{: на } \Delta G_{(h)}=dG_{(t)}\left\{\frac{H_0+h-t_0}{H_0}\right\},$$

где $t_0=\frac{t+t_1}{2}$;

$$\text{при } h<(t-H_0)\text{: на } \Delta G_{(h)}=\Delta G_{(t)}\left\{\frac{[H_0+h-t_1]^2}{2H_0(t-t_1)}\right\}$$

(без учета влияния испарения и оттока).

При опускании уровня грунтовых вод с глубины t_1 до t содержание влаги в вышележащей толще грунта уменьшается соответственно на величины $\Delta G_{(t)}$ и $\Delta G_{(h)}$.

В этих выражениях H_0 — предельная высота капиллярного поднятия в данном грунте; α — вес единицы объема данного грунта; β_{max} — полная и β_{min} — максимальная молекулярная влагоемкость грунта.

Влияние колебаний уровня грунтовых вод на содержание влаги в вышележащей толще грунта h сказывается в том случае, если наименьшая глубина их t_1 меньше суммы $h+H_0$ (без учета пленочной воды).

Указанная связь между уровнем грунтовых вод и содержанием влаги в вышележащей толще грунта обратима: если повышение уровня грунтовых вод на величину $t-t_1$ повышает содержание воды в вышележащей толще t на величину $\Delta G_{(t)}$, то и обратно, увеличение содержания воды в толще t сверх предельной потенциальной влагоемкости ее на величину $\Delta G_{(t)}=W+\Delta W-W_0$ может повысить уровень грунтовых вод на величину $(t-t_1)$, равную $\frac{\Delta G_{(t)}}{\alpha(\beta_{max}-\beta_{min})}$ (без учета других факторов).

В условиях недостаточного увлажнения, когда естественный водный режим почвы складывается под влиянием превышения расходных факторов (главным образом испарения E) над приходными (главным образом осадки P), величина ΔW в предыдущем уравнении баланса почвенно-грунтовых вод имеет отрицательное значение и верхние слои почвы иссушаются (уменьшается $W+\Delta W$) и соответственно снижается запас грунтовых вод, если только запасы их не поддерживаются в силу определенных гидрогеологических условий: приток извне, превышающий отток, напорные грунтовые воды. Естественное распределение влаги в слое t выше грунтовых вод схематически представлено на рисунке 1, *а*. Поступающая в верхние слои h почвы влага от осадков или от грунтовых вод при глубине залегания их выше $h+H_0$ быстро испаряется, в силу чего эти слои почвы иссушаются, а содержание солей в них — концентрация почвенного раствора — повышается.

В условиях избыточного увлажнения, когда естественный водный режим почвы складывается под влиянием превышения приходных факторов над расходными, величина ΔW в уравнении баланса почвенно-грунтовых вод имеет положительное значение, и содержание влаги в верхних слоях почвы увеличивается $(W+\Delta W)$ и соответственно повышается уровень грунтовых вод. Поднятие уровня грунтовых вод выше $h+H_0$, в свою очередь, повышает влажность вышележащего слоя h

35763

вследствие капиллярного и пленочного поднятия грунтовых вод. Распределение влаги в слое почвы t выше грунтовых вод в этих условиях схематически представлено на рисунке 1, *б*.

Вследствие повышенного содержания воды в верхних слоях почвы и преобладания нисходящих токов влаги эти слои почвы постепенно обедняются зольными питательными элементами из-за выщелачивания последних.

Так слагается водный и связанный с ним аэрационный и солевой режимы верхних слоев почвы в различных условиях естественного увлажнения. В условиях недостаточного увлажнения, с преобладанием восходящего движения почвенной влаги, наиболее выраженными являются процессы иссушения и повышения солевой концентрации почвенных растворов этих слоев при обеспеченной аэрации их. В условиях же избыточного увлажнения, где преобладает нисходящее движение почвенной влаги, наиболее развитыми являются процессы переувлажнения и связанного с этим сильного уменьшения аэрации почвы и обеднения ее зольными питательными элементами. Интенсивность этих процессов и степень выраженности их в каждом конкретном случае зависят, во-первых, от климатических условий и особенно от соотношения осадков и испаряемости, изменяющихся не только по районам, но и во времени; во-вторых, от свойств и состояния почвы и особенно от ее структуры. Бесструктурность почвы усиливает эти процессы; наоборот, комковатая структура почвы ослабляет и замедляет их.

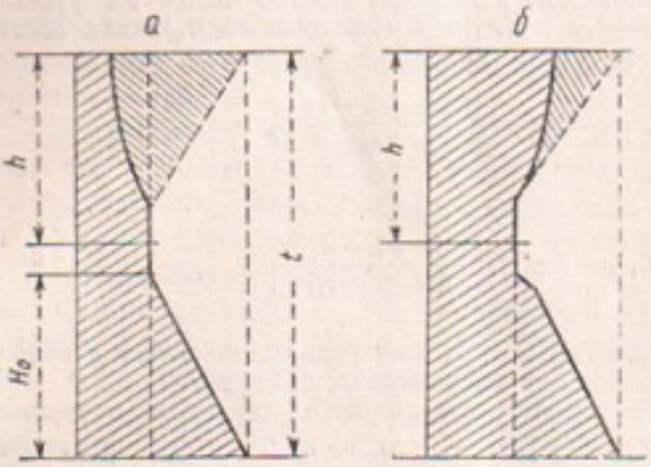


Рис. 1. Испарение и капиллярный сброс воды.

Комковатая структура почвы, способствующая лучшему поглощению влаги и уменьшающая испарение с поверхности почвы, в условиях недостаточного увлажнения обеспечивает более полное усвоение атмосферных осадков и более прочное сохранение запасов влаги в почве. Снижая капиллярность почвы и высоту H_0, комковатая структура уменьшает поступление солей в верхние слои почвы. В условиях избыточного увлажнения комковатая структура почвы, увеличивая аэрацию, водопроводимость и снижая капиллярность почвы, ускоряет удаление избытков воды из верхних слоев почвы, снижает поступление в них капиллярной влаги от грунтовых вод и способствует таким образом поддержанию нормального содержания влаги и воздуха в верхних слоях почвы и, следовательно, улучшению микробиологического и питательного режимов почвы.

Если водный режим данной сельскохозяйственной территории, несмотря на необходимые агротехнические мероприятия, слагается таким образом, что в определенные ответственные периоды развития культур устойчиво (с определенной обеспеченностью в многолетнем ряде) наблюдается дефицит влаги в активном слое почвы, необходимо: 1) сокращение всех бесполезных расходных элементов водного режима и прежде всего испарения почвой; 2) усиление приходных элементов водного режима и прежде всего максимальное сохранение и использование естественных ресурсов влаги и атмосферных осадков не только летнего вегетационного, но и осенне-зимнего и весеннего невегетационного периодов и, наконец, 3) восполнение остающихся после этого дефицитов влаги до требуемой величины путем искусственного орошения, т. е. введения в естественный водный режим дополнительного фактора. По мере перехода от центральных и лесостепных районов к степным и пустынным районам СССР относительное значение третьего из указанных путей восполнения дефицита влаги возрастает по сравнению

с двумя первыми. Так как режим влажности почвы, особенно в районах неустойчивого увлажнения, подвержен значительным колебаниям по годам и в течение года, для облегчения регулирования его и поддержания в течение вегетационного периода нужного режима влажности очень важно обеспечение в почве достаточных запасов влаги до начала вегетации культур путем допосевной осенне-весенней (естественной или при ее недостаточности — искусственной) влагозарядки почвы на необходимую глубину. Количество даваемой при орошении воды должно быть таково, чтобы оно соответствовало потребности растений и вместе с наличным запасом влаги в увлажняемом слое почвы не превышало потенциальной влагоемкости его и не служило источником питания грунтовых вод.

Если же водный режим данной сельскохозяйственной территории, при надлежащей агротехнике, слагается таким образом, что в ответственные периоды развития культур устойчиво наблюдаются избытки влаги, снижающие аэрацию почвы (т. е. значения ΔW и ΔV положительны и превышают допустимые величины), необходимо сокращение приходных и усиление расходных элементов водного баланса и удаление избытков поверхностных и почвенно-грунтовых вод путем осушения, чтобы обеспечить необходимый аэробный процесс в почве. Количества подлежащей отводу воды и сроки его определяются отношениями (требованиями) растений к воде при принятой агротехнике, с одной стороны, и потенциальной влагоемкостью почвогрунта — с другой.

В условиях избыточного увлажнения, как известно, дефицитным фактором плодородия является аэрация почвы. Поэтому при естественных колебаниях режима влажности и аэрации почвы очень важно обеспечить на осушаемых заболоченных землях при грунтовом водном питании их *определенную регулирующую аэрационную емкость* применением достаточной глубины осушения.

Размеры и нормы регулирования водного режима данной территории должны сообразоваться с потребностью сельскохозяйственных растений, со свойствами и состоянием (структурой) почвы, учитывая, что не вся вода, содержащаяся в почве, доступна растениям.

Недоступный для растений «мертвый» запас воды в почве, при котором осмотическое давление почвенного раствора становится больше сосущей силы растений или осмотического давления клеточного сока корневых волосков растений (уменьшенного в среднем на 3 *атм*, так как тургорное давление в клетках должно быть не ниже 2—5 *атм*, чтобы растения не завяли), равен от полуторной до двойной гигроскопичности данной почвы.

Регулируя при мелиорациях водный режим почвы, необходимо поддерживать в активном слое почвы, где развивается корневая система растений, с одной стороны, потребное количество доступной для растений влаги и усвояемой пищи, а с другой стороны — определенное содержание воздуха, необходимого для дыхания корней и развития микробиологических процессов, обусловливающих аэробное разложение и лучший пищевой режим для растений. Успешное разрешение этой задачи, как отмечалось выше, достигается обеспечением прочной комковатой структуры почвы, правильной глубокой обработкой почвы, а в нужных случаях и внесением в почву катионов кальция.

Анализ водного режима мелиорируемой земельной площади очень важен также по следующим соображениям. В условиях планового социалистического хозяйства СССР мелиоративные системы охватывают крупные земельные массивы, представляющие целые гидрографические бассейны с определенным гидрологическим режимом. Вся схема мелиораций должна быть так построена, чтобы она изменяла в нужном направлении неблагоприятные факторы гидрологического и гидрогеологического режимов и усиливала полезные факторы его с точки зрения наилучшего народнохозяйственного использования данной территории. Для разрешения этих задач необходимо знание динамики водного режима мелиорируемых массивов.

Изменяя водный, а вместе с ним воздушный и пищевой, а также тепловой и солевой режимы почвы, мелиорации, как это вытекает из учения о генезисе почв, разработанного в трудах В. В. Докучаева, В. Р. Вильямса и их школы, оказывают сильнейшее влияние на дальнейшее развитие почвообразовательных процессов, причем это развитие может получить благоприятное или неблагоприятное направление в хозяйственном использовании земель. Например, неправильное, бесплановое, ненормированное водопользование при орошении может вызвать засоление и заболачивание орошаемых почв и переход их в худшие виды почв. Неправильное применение осушения может вызвать обеднение почвы питательными веществами, снижение плодородия ее. Поэтому с точки зрения при-

цинов генетического почвоведения надо так проводить мелиорации, чтобы создавать условия для благоприятного развития почвообразовательного процесса, неуклонного повышения плодородия мелиорируемых почв и не допускать перехода их в худшие по качеству виды почв. Для этого регулирование водного режима почв при мелиорациях нужно проводить строго нормированно и на основе анализа динамики почвообразовательного процесса.

Направленное регулирование водного режима почв при мелиорациях, т. е. создание вместо наличного естественного нового водного режима, нужного по хозяйственным условиям, достигается при помощи системы приводящих или отводящих водотоков, связывающих данную мелиорируемую площадь с определенным естественным водоемом — источником орошения или водоприемником осушительных систем.

При орошении вода из источника орошения поступает в магистральный или главный канал, из которого разводится сетью распределительных каналов по орошаемой площади. Из распределительных постоянных каналов вода подается в систему временных оросительных каналов или других устройств, из которых поступает на орошаемые поля, и здесь из состояния токов превращается в состояние нужной почвенной влажности на полях, переходит в физиологически усвояемую растениями воду, повышает плодородие почвы. В осушении, наоборот, избыточная почвенная вода системой закрытых дрен или временных осушительных каналов переводится из состояния почвенной влажности на осушаемых землях в состояние водяных токов в осушительных каналах, собирающих воду в отдельные водоотводные каналы и в общий магистральный канал, который и доставляет собранные воды в соответствующий водоприемник.

Таким образом, мелиоративная система *в техническом отношении* имеет задачей в случае орошения доставлять воду (в нужные сроки и в нужных количествах) из источника орошения на орошаемые поля и, правильно распределяя ее здесь, создавать на полях нужную для растений влажность почвы. В случае осушения задача мелиоративной системы заключается в удалении из почвы (равномерно по осушаемой площади) излишних количеств воды (сверх требуемых для растений и допустимых по условиям аэрации), превращать их из состояния почвенной влажности в состояние водяных токов и по системе осушительных каналов отводить эти воды с осушаемой площади в определенный водоприемник.

Мелиоративные системы в техническом отношении выполняют две функции: 1) превращение воды из состояния тока в каналах в состояние нужной почвенной влажности на орошаемых полях, в один из основных элементов плодородия почвы; или обратно — удаление излишней почвенной влаги на осушаемых землях путем превращения ее в состояние водяных токов; 2) транспортирование этих водяных токов по каналам системы в нужных количествах и в нужные сроки: при орошении — от источника орошения к орошаемым площадям, а при осушении — от осушаемых площадей к водоприемнику. Однако эти задачи являются только техническими средствами для достижения определенных сельскохозяйственных и агробиологических требований — создания необходимого водного и пищевого режимов и повышения плодородия почвы, получения высоких и устойчивых урожаев требуемых сельскохозяйственных культур, хозяйственного освоения новых площадей и т. д.; поэтому технические мероприятия должны быть неразрывно увязаны при мелиорациях с совокупностью соответствующих организационно-хозяйственных и агротехнических мероприятий.

Сообразно двум состояниям, в каких мы имеем дело с водой при мелиорациях, каждую мелиоративную систему можно разделить на две основные части: во-первых, *регулирующую часть*, представляющую собой оросительную или осушительную сеть, задачей которой является обеспечивать и регулировать на орошаемых или осушаемых землях нужный водный, воздушный, питательный и тепловой режимы почвы для эффективного использования этих земель, повышения плодородия почвы, производительности труда и получения высоких урожаев; во-вторых, *проводящую часть*, состоящую

Таблица 2

	Размеры элементов системы	Расположение элементов системы	Действие элементов системы
Основные требования, определяющие размеры, расположение и действие элементов системы	1. Создание требуемого водного режима почвы сообразно хозяйственным и природным условиям орошаемых или осушаемых земель	1. Обслуживание всех хозяйств в системе и обеспечение требуемой равномерности создаваемого водного режима на орошаемых и осушаемых землях	1. Нужная своевременность отвода или подачи воды из отдельных или в отдельные части системы — поля и хозяйства, в связи с агротехникой, организацией хозяйства и другими условиями
	2. Допустимая продолжительность удаления или подачи воды в отношении агротехнических условий и организации труда в хозяйствах	2. Обеспечение наивыгоднейших условий механизации сельскохозяйственных работ на орошаемых и осушаемых землях и требований организации хозяйства и севооборотов	2. Обеспечение планового водопользования и регулирование нужного водного режима в соответствии с изменением хозяйственных и климатических условий, режима водоисточника или водоприемника
	3. Обеспечение наиболее высокого коэффициента использования воды	3. Допустимая густота расположения каналов в отношении наиболее полного использования орошаемых и осушаемых земель, улучшения водопользования, агротехники и уменьшения стоимости сети и потерь воды	3. Повышение плодородия почв и производительности труда; эффективное использование воды

Составные части мелиоративной системы	Регулирование водного режима в условиях					
	недостаточного увлажнения	избыточного увлажнения	недостаточного увлажнения	избыточного увлажнения	недостаточного увлажнения	избыточного увлажнения
Регулирующая оросительная или осушительная сеть (временная, закрытая или подвижная)	Снабжение орошаемых полей нужными количествами воды (без потерь на сбросы, фильтрацию и испарение)	Удаление из почвы или с поверхности излишних количеств воды. Нужное понижение грунтовых вод	Равномерное распределение нужной влажности почвы на орошаемых полях	Равномерное поддержание нужного водного режима и уровня грунтовых вод на осушаемых площадях	Нужные сроки и продолжительность доставления воды на поля в соответствии с условиями агротехники, механизации, погоды	Нужное регулирование стока избыточных вод, сообразно хозяйственным требованиям и колебанию климатических условий

Постоянная сеть проводящих распределительных или водоотводных каналов (межхозяйственных и хозяйственных)	Распределение поступающей из магистрального канала воды между орошаемыми массивами и хозяйствами и временными оросительными каналами с минимальными потерями	Отведение с осушаемых площадей на системе избыточных вод в магистральный канал	Распределение воды между всеми хозяйствами в системе с минимумом потерь и стоимости сети	Отвод излишней воды с хозяйственных площадей на системе с минимумом стоимости сети	Своевременное доставление воды во все хозяйства системы в связи с плановым водопользованием в них	Своевременное удаление воды с осушаемых площадей в связи с хозяйственными и гидрологическими условиями
Главный (магистральный) канал и головное сооружение	Забор и подача из источника орошения к орошаемым массивам нужных количеств воды с высоким значением к. п. д. и в соответствии с планом водопользования	Отвод в водоприемник стока излишних вод с осушаемой площади	Необходимое командование над орошаемой площадью. Забор и подача воды нужного качества	Обеспечение отвода воды с осушаемой площади без подпоров	Своевременный забор воды в систему из источника в соответствии с планом водопользования системы и режимом источника	Своевременный отвод воды в водоприемник в соответствии с потребным водным режимом на осушаемой площади и режимом водоприемника
Регулирование стока и русла в целях упорядочения водоприемника или источника орошения	Плановое народнохозяйственное использование имеющихся водных ресурсов Согласование режима водоприемника или источника орошения с потребным водным режимом мелиоративной системы Предохранение системы от поступления в нее крупных наносов					

и оврагов, залужение) с методами гидротехническими (водосборные каналы по горизонталям, водозадерживающие валы, террасирование очень крутых склонов). Эти методы, взаимно дополняя друг друга, составляют систему мероприятий, широко осуществляемых в нашей стране. Мелиорации, направленные на борьбу с эрозией почв, имеют весьма важное хозяйственное значение для многих районов СССР.

3. ЗАДАЧИ МЕЛИОРАЦИЙ В СССР

Социалистическое хозяйство в СССР, исходя из требований дальнейшего поднятия материального благосостояния и культурного уровня народа и построения материально-технической базы коммунизма, создания изобилия продуктов для населения и сельскохозяйственного сырья для промышленности, ставит большие задачи не только по расширению сельскохозяйственных площадей и освоению новых земель, но и по обеспечению высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и по созданию условий максимальной независимости нашего сельского хозяйства от неблагоприятных природных условий. Эти задачи ставят перед мелиорациями следующие главнейшие требования: а) создание необходимых условий для успешного развития социалистического хозяйства и наиболее полного освоения и продуктивного использования земель; б) повышение плодородия почв и производительности труда, обеспечение прогрессивного роста урожаев сельскохозяйственных культур; в) осуществление мелиораций в сочетании с высокой агротехникой; г) максимальная механизация сельскохозяйственных работ на мелиорированных землях и осуществление мелиораций индустриальными методами; д) наиболее рациональное и эффективное использование водных ресурсов, осуществление мелиораций в комплексе с другими отраслями хозяйства, позволяющими решать поставленные задачи с высоким коэффициентом полезного действия и с наименьшими затратами; е) возможность механизации и автоматизации мелиоративных процессов (поливов и др.) и увязка их с энергетикой.

Мелиорации, как составная часть мероприятий по преобразованию природы, получают свое наиболее целесообразное осуществление в том случае, когда они охватывают более или менее крупные земельные массивы; в этом случае возможно правильное регулирование гидрологических условий территории и, в частности, стока поверхностных и подземных вод, целесообразное использование водных и земельных ресурсов и изменение природных условий в нужном направлении.

Мелиорации позволяют осваивать новые неблагоприятные по природным условиям земли, обеспечивать высокие урожаи на используемых землях и получать необходимую продукцию на меньшей площади и при меньших общих затратах труда.

Постановление сентябрьского (1953 г.) Пленума ЦК КПСС «О мерах дальнейшего развития сельского хозяйства СССР», исходя из задачи создания изобилия сельскохозяйственных продуктов в нашей стране, наметило основные мероприятия для резкого повышения в ближайшие годы продуктивности животноводства и поднятия урожайности всех культур. Из этого постановления вытекают большие задачи в области мелиораций.

Развитие животноводства и поднятие его продуктивности требуют обеспечения его высокопроизводительной и прочной кормовой базой. Для этой цели в районах нечерноземной полосы СССР должны быть освоены путем мелиораций обширные площади избыточно увлажненных и заболоченных земель (лугов и пастбищ) и особенно речных пойм, обладающих большими потенциальными запасами питательных веществ для растений. Решение этой задачи слагается из двух основных частей: а) обеспечение надлежащих водоприемников и создание основных более или менее редко расположенных, но достаточно глубоких осушительных каналов, позволяющих опускать уровень грунтовых вод на требуемую глубину, и б) поддержание на осушенной площади нужного водно-воздушного и питательного режимов почвы путем устройства соответствующей регулирующей сети (временной или закрытой) и применения необходимых агротехнических мероприятий.

Создание устойчивой кормовой базы животноводства в засушливых районах степной полосы ставит следующие задачи: а) широкое развитие так называемого лиманного

орошения, состоящего в задержании (при помощи невысоких валов) весеннего стока в поймах рек и на склонах и осуществлении таким образом ежегодной весенней влагозарядки почвы; б) расширение площадей регулярного орошения кормовых культур и трав при недостаточности естественных кормовых угодий; в) обеспечение источниками воды для водопоя (обводнение) пастбищ отгонного животноводства.

Следующая, поставленная этим же Пленумом ЦК КПСС, проблема — увеличения производства картофеля и овощей — требует развития орошения этих культур не только в южных, но и в центральных и даже более северных районах и создания крупных баз производства овощей и картофеля вокруг больших городов и промышленных центров с использованием на орошение указанных культур не только речных, но и бытовых канализационных вод и с широким осуществлением механизации поливов (применением дождевальных и поливных машин).

По семилетнему плану развития народного хозяйства СССР за 1959—1965 гг. намечается увеличить площади орошаемых земель на 1,9 млн. гектаров, в том числе в хлопкосеющих районах на 1 млн. гектаров, провести осушительные работы на площади 3,6 млн. и обводнительные работы на площади 78 млн. гектаров.

Кроме разрешения вышеуказанных задач, перед мелиорациями стоят и другие очень важные задачи, касающиеся самой постановки и техники мелиораций. В частности, *необходимо значительно повысить производительность труда на мелиорированных землях*. Для этого прежде всего нужно максимально механизировать и автоматизировать наиболее трудоемкие мелиоративные процессы, особенно производство поливов путем применения дождевальных и поливных машин, сборных и передвижных поливных трубопроводов, автоматических способов подачи и распределения воды на орошаемых полях, нарезки временной регулирующей оросительной или осушительной сети (высокопроизводительные канавокопатели, крот-дренажные машины и др.), планировки и выравнивания полей, устройства поливных борозд и валиков и т. д. Необходимо максимально механизировать путем применения более совершенных машин все производство строительных работ, особенно земляных, как при постройке новых мелиоративных систем, так и при переустройстве существующих старых систем.

Также *необходимо поднять технику осуществления мелиораций* на более высокую ступень, отвечающую уровню нашего социалистического производства. Для этого нужно значительно повысить коэффициент полезного действия мелиоративных систем, максимально снизить потери воды в системах, не допускать зарастания каналов, обеспечить возможность правильной нормированной работы систем — подачи, распределения, отвода и регулирования воды в оросительных и осушительных системах, путем обеспечения их необходимыми сооружениями и устройствами, как стационарными (головные сооружения, шлюзы-регуляторы и др.), так и передвижными (подвижные насосные станции, перемещаемые трубопроводы и др.). Нужно усовершенствовать способы орошения и осушения, обеспечив более высокую производительность их и лучшее качество регулирования водного режима при различных природных и хозяйственных условиях.

Широкое внедрение в производство квадратно-гнездового способа посева пропашных культур (хлопчатника, кукурузы, картофеля и др.) требует проектирования и устройства такой оросительной и осушительной сети, которая не стесняла бы перекрестной (не только продольной, но и поперечной) механизированной обработки пропашных культур.

Наконец, при мелиорациях *необходимо правильно и высокопроизводительно использовать водные и земельные ресурсы* соответствующих районов, что обеспечит непрерывный рост общественного производства и поднятие производительных сил этих районов. Для этого необходимо при осуществлении мелиораций обеспечивать: а) наиболее целесообразное для народного хозяйства при данных условиях комплексное использование водно-земельных ресурсов; б) непрерывное повышение плодородия мелиорированных земель (недопущение заболачивания и засоления орошаемых земель, эрозии почвы, ухудшения качества осушаемых земель и т. д.); в) высокоэффективное хозяйственное освоение этих земель, повышение урожаев

и производительности труда на них; недопущение больших сроков между строительством мелиоративных систем и сельскохозяйственным освоением земель на основах правильной эксплуатации систем и правильной организации хозяйства и труда на орошаемых и осушаемых землях.

В обращении июньского (1959 г.) Пленума ЦК КПСС даются следующие указания по вопросам механизации и автоматизации производства: «Неотложным делом в области комплексной механизации производственных процессов является ликвидация тяжелого ручного труда в промышленности, строительстве, на транспорте и в сельском хозяйстве». «В области комплексной автоматизации необходимо решить задачи перехода от автоматизации отдельных производственных операций к созданию полностью автоматизированных технологических процессов, цехов и предприятий в первую очередь в тех отраслях, где автоматизация обеспечивает максимальный экономический эффект».

Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР в постановлении «О мерах по обеспечению комплексной механизации работ в хлопководстве» изложены конкретные задачи перед оросительными мелиорациями: «...довести уровень механизации работ в хлопководстве... по поливу в 1965 году: дождеванием до 11—12 процентов, гибкими шлангами до 22—25 процентов и на остальной площади – трубочками-сифонами при удлиненной поливной борозде на хорошо спланированных полях».

«...осуществить в течение 1959—1965 годов необходимые мероприятия по борьбе с потерями воды из каналов, в первую очередь в районах, страдающих от недостатка воды для орошения и от засоления почв, имея в виду повысить коэффициент полезного действия оросительных систем до 0,70—0,75, использовать все земли с оросительной сетью, обеспеченные водными ресурсами, а также принять меры к мелиоративному улучшению этих земель».

Характер и площади необходимых мелиораций обусловливаются хозяйственными потребностями и природными условиями отдельных районов и республик.

Таковы основные задачи, стоящие в настоящее время в области мелиораций в СССР.

4. РАЗВИТИЕ МЕЛИОРАЦИЙ В СССР

Развитие каждой отрасли хозяйства и науки шло и идет в тесной связи с развитием производительных сил и производственных отношений в человеческом обществе, с его социальными условиями. Это положение отчетливо проявляется и в области развития мелиораций.

Организованное производство мелиоративных работ на территории СССР началось в странах Средней Азии и Закавказья, где еще с IX века до нашей эры велись работы по орошению земель. «Условия климата и почвы, особенно огромные пространства пустыни, тянущейся от Сахары через Аравию, Персию, Индию и Татарию до возвышенностей Азиатского плоскогорья, сделали систему искусственных орошений при помощи каналов и водных сооружений основой восточного земледелия»,— писал К. Маркс[1].

Развитие орошения шло в неразрывной связи с развитием земледелия.

Исторические данные показывают, что земледельческая культура и орошение в странах Востока (Средняя Азия, Закавказье и др.) в большинстве случаев развивались от верховьев рек к низовьям их; в этом направлении увеличивалось наличие как необходимых для орошения водных ресурсов, так и пригодных для земледелия площадей. При этом имели место три главных этапа в развитии орошения: 1) существование у племен родового общинного строя значительного количества людей, позволяющего производить первоначальные оросительные работы; 2) возникновение общинно-рабовладельческого строя и образование класса рабов, дававшего племенам-рабовладельцам рабочую силу

[1] К. Маркс. Британское владычество в Индии. К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. IX, 1933, стр. 347. *Прим. автора.*

для строительства более крупных каналов; 3) образование мощных политически централизованных рабовладельческих государств, как классового аппарата, необходимого для дальнейшего расширения оросительных систем, связанных единым источником питания водой, и для централизованного управления ими.

Развитие и состояние орошения было тесно связано с развитием и мощностью централизованного государства. Когда централизация государства крепла, орошение развивалось, и обратно.

В эпоху рабовладельческого общества, в IX—VIII веках до нашей эры, в государстве Урарту (Закавказье) были построены большие каналы и водохранилища для орошения и водоснабжения, причем в технике этих сооружений урарты превосходили другие соседние народы. В Средней Азии в ту же эпоху велись большие ирригационные работы в государствах: Бактрии (верхнее течение Аму-Дарьи), Согдиане (бассейн р. Зеравшана), Хорезме (нижнее течение Аму-Дарьи) и других.

С развитием феодальных отношений и образованием раздробленных феодальных государств территории Средней Азии и Закавказья многократно служили ареной феодальных войн, подвергались нападениям кочевников, завоевывались такими могущественными государствами древности, как Византия, Персия, Аравия. Опустошительные нападения и феодальные войны приносили большой вред орошению; оросительные каналы и сооружения разрушались или приходили в упадок, а вместе с этим падала и земледельческая культура, являющаяся одной из основ самого существования и развития оседлого государства на Востоке. «Первое условие земледелия здесь (на Востоке. — *Автор*) — это искусственное орошение, а оно является делом либо общин, либо провинций, либо центрального правительства... Плодородие земли достигалось искусственным способом, и оно немедленно исчезало, когда оросительная система приходила в упадок; этим объясняется... и тот факт, что достаточно бывало одной опустошительной войны, чтобы обезлюдить страну и уничтожить ее цивилизацию на сотни лет»[1].

Когда войны прекращались и сохранившиеся или образовавшиеся новые (феодальные) государства переходили на более или менее мирное существование, они должны были принимать меры к восстановлению и развитию орошения, как основы не только земледельческой культуры, но и государства. Орошение, как показали Маркс и Энгельс, явилось одной из материальных основ государственной власти над несвязанными между собой мелкими производителями. Необходимость совместного использования воды в странах Востока с их обширными размерами территорий повелительно требовала вмешательства централизующей силы правительства.

Достижения в области орошения из государств Закавказья и Средней Азии переносились в другие соседние страны: так, оросительная система Мургаба послужила примером для арабов (VI—VIII века) при развитии ими орошения в Басре и других областях. Пример строительства оросительных каналов, сооружений и водопроводов в Грузии в XI—XIII веках распространился затем в соседние страны. Крупных успехов достигло орошение и земледельческая культура в Хорезме (XII—XIII века), в бассейне Зеравшана (в районе Самарканда) и в Фергане.

Если до присоединения к России права на воду фактически были в руках ханов и феодалов, то теперь они перешли в руки капиталистов, баев, кулачества, и эксплуатация бедняцко-середняцкого крестьянства на этой почве стала еще более жестокой. Развитие нового орошения шло очень слабо. Для крестьян орошение новых земель было не под силу, а для крупных земельных собственников и капиталистов не давало желаемых ими доходов: выгоднее было эксплуатировать местное население на базе существующих систем.

В Европейской части России отдельные случаи осушения заболоченных земель (в Новгородском, Владимирском, Московском и других княжествах, особенно в городах) и орошения засушливых угодий (в Крыму, на Кавказе) отмечаются историками еще в очень древние годы, однако начало организованной правительственной деятельности по мелиорации следует отнести к петровской эпохе, когда Петром Первым были начаты значительные осушительные работы в связи с освоением финского побережья, со строительством Петербурга и других городов и крепостей, а также некоторых заводов. После смерти Петра правительственные работы по осушению почти не развивались и возобновились лишь около 1810 г., имея сельскохозяйственные и санитарные цели (оздоровление местности вокруг Петербурга). С тех пор эти работы хотя и не прекращались, но велись весьма слабо и носили скорее опытно-производственный характер (на казенных землях и оброчных статьях). Мелиоративные работы на частновладельческих землях проводились только отдельными помещиками в северо-западных, центральных и прибалтийских губерниях, но также в небольших размерах. Даровой крепостной труд крестьян не давал стимулов для сельскохозяйственных улучшений. Более широкую постановку мелиоративные работы стали получать после отмены крепостного права. В 1873 г. министерством государственных имуществ, в целях использования обширных болот в северо-западных губерниях под сенокосы и пастбища, улучшения роста государственных лесов и оздоровления местностей, были организованы две экспедиции по осушению болот: северная и западная под руководством генерала Жилинского, распространившие вскоре свою деятельность и на центральные губернии.

---

[1] Ф. Энгельс. Письмо к Марксу, 6 июня 1853 г. К. Маркс и Ф. Энгельс. Избранные письма. Госполитиздат, 1948, стр. 75. *Прим. автора.*

После засухи и неурожая 1880 г. была организована, кроме двух осушительных экспедиций, третья экспедиция — по орошению на юге России в целях получения опыта по орошению и обводнению земель; эта экспедиция, помимо Южной России, распространяла свои действия на районы Поволжья, Крыма и Кавказа. Деятельность всех этих экспедиций продолжалась до 1894 г. За это время они провели значительные изыскательские и строительные работы, особенно по осушению Полесья; в результате были получены обширные материалы по характеристике мелиоративных условий обследованных районов, накоплен собственный опыт по проектированию и строительству осушительных и оросительных систем применительно к русским природным и хозяйственным условиям; положено начало развертыванию правительственных мелиоративных работ. Однако, несмотря на это, экспедиции имели и крупные недостатки: 1) работы их распространялись преимущественно на казенные земли и земли крупных помещиков и не касались крестьянских земель; 2) выполняемые мелиорации носили весьма экстенсивный характер и ограничивались в заболоченных районах первичной канализацией болот, а в засушливых районах общим обводнением местностей путем устройства лиманов, водохранилищ и колодцев. Задач развития регулярного орошения сельскохозяйственных культур в целях борьбы с засухой не ставилось, и в этом отношении экспедиции ограничивались устройством орошаемых участков, главным образом на казенных землях, для получения производственного опыта и помощью отдельным помещикам по орошению их земель.

После засухи и голода 1891—1892 гг. правительство должно было обратить большое внимание на развитие мелиоративных работ. В связи с этим в 1894 г. в составе министерства земледелия для руководства мелиоративным делом вместо экспедиций был создан постоянный орган — Отдел земельных улучшений с техническим персоналом на местах. Однако с изменением организации существо мелиоративных работ мало изменилось: деятельность Отдела земельных улучшений распространялась главным образом на казенные земли и земли крупных помещиков и кулаков; основная же масса крестьянских земель оставалась без всякого мелиоративного обслуживания со стороны государства. Между тем в мелиорациях нуждалось в основном не помещичье, а крестьянское хозяйство, а оно было чрезвычайно маломощным и ему не под силу было проведение мелиоративных работ. Из-за гнета помещиков основная масса крестьянства не могла улучшать свое хозяйство. По этому поводу В. И. Ленин ясно писал: «...многие миллионы десятин и в Туркестане и во многих других местах России «ожидают» не только орошения и всякого рода мелиораций, они «ожидают» также освобождения русского земледельческого населения от пережитков крепостного права, от гнета дворянских латифундий, от черносотенной диктатуры в государстве»[1]. Помещичьи хозяйства после реформы 1861 г., располагавшие большими площадями лучших по качеству земель, если и были заинтересованы в мелиорации, то в основном в целях эксплуатации того же крестьянства (сдача в аренду мелиорированных земель безземельным крестьянам по высоким ценам).

Период 1894—1905 гг. в хозяйственно-политической жизни России был периодом роста рабочего движения, усиленного расслоения крестьянства, нарастания классовых и политических противоречий, обусловливавших подъем революционного движения и приведших к революции 1905 г.

После 1906 г. во всех «внутренних» губерниях России начинаются большие землеустроительные работы в целях насаждения и укрепления единоличных кулацких хозяйств и разрешения «аграрного вопроса». В Сибири же, в Средней Азии и Закавказье проводится энергичная колонизационная политика в целях более прочного овладения этими «окраинами» и более полной эксплуатации их. В рассматриваемый период начинается усиление мелиоративной деятельности правительства как в Средней Азии, Закавказье и Сибири — в связи с развитием хлопководства и переселением, так и в Европейской части — в связи с землеустройством и политикой насаждения и развития кулацких хозяйств. Мелиоративные работы начинают проводиться не только на казенных и помещичьих, но и на крестьянских землях, и к ним усиленно привлекаются земства. Начинает оживляться и частный интерес капиталистов (банков, акционерных обществ) к мелиорации, главным образом к получению концессий на орошение земель под хлопок в целях извлечения больших прибылей путем закабаления населения и получения дешевого сырья. Однако и правительственная и частная деятельность ограничилась преимущественно изыскательскими и проектными работами по мелиорации, строительство же велось очень слабо. Частная собственность на землю, крайняя раздробленность крестьянских земель, сохранившиеся пережитки крепостнических отношений, стремление получать большие прибыли при небольших вложениях, наконец вся система хозяйства сильно тормозили развитие мелиорации. В результате площади мелиорированных при царском правительстве земель были невелики. К 1917 г. площадь орошаемых земель составляла 4080 тыс. гектаров (из них 3800 тыс. гектаров орошались в Средней Азии и на Кавказе еще до присоединения к России), а площадь осушаемых земель — 1200 тыс. гектаров.

Положение мелиоративного дела в царской России отражалось и на положении *мелиоративной науки*. До начала девяностых годов у нас не было специальных научных

---

[1] В. И. Ленин. Сочинения, т. 13. Госполитиздат, издание 4-е, стр. 228—229. *Прим. автора.*

учреждений и учебных заведений по мелиорации. Научная работа велась отдельными лицами.

Производство шло главным образом на основе использования опыта ранее построенных сооружений. В Средней Азии и Закавказье в результате многовекового применения орошения был накоплен большой опыт и дано немало оригинальных способов устройства оросительных систем и забора воды из рек. Для условий Европейской части России, в результате работ экспедиций, также выработались оригинальные методы изысканий, проектирования и устройства осушительных и оросительных систем применительно к тогдашним русским условиям. Обширные пространства русской равнины, особенности ее климата, гидрологии, почв и хозяйства обусловили многие оригинальные решения по выработке методов мелиорации и характера мелиоративных систем, по нормам и принципам их расчета (осушение болот в целях общего улучшения климатических, хозяйственных и санитарных условий местности, использование местного стока на обводнение и орошение, устройство лиманного орошения и др.). Многие из этих видов мелиораций не утратили своего значения и теперь. На основе непосредственного практического опыта были выработаны собственные решения по ряду важных тогда вопросов.

В 1894 г., когда после засухи 1891 г. внимание к мелиоративному делу усилилось была организована под руководством проф. В. В. Докучаева экспедиция по упорядочению водного хозяйства и земледелия в степных районах России. Эта экспедиция, работавшая по 1900 г., дала важные результаты в отношении развития совершенно новых идей и принципов в указанной области. Экспедиция разработала широкую комплексную систему мероприятий (лесокультурных, агротехнических, мелиоративно-гидротехнических), направленных на поднятие земледелия и упорядочение водного хозяйства южных районов.

Идеи В. В. Докучаева и намеченная им широкая комплексная система мероприятий далеко опережали заграничную науку тогдашнего времени; из обособленного хозяйственно-технического приема мелиорации становились частью определенной системы агротехнических, лесоводственных и водохозяйственных мероприятий, направленных к изменению всего комплекса неблагоприятных природных условий и влияющих на улучшение не только водных и почвенных, но в известной мере и климатических условий. Результаты работ экспедиции В. В. Докучаева дали генетическую основу для дальнейшего развития нашей мелиоративной науки, направляя ее на установление причин тех или иных неблагоприятных для хозяйства природных условий и на изыскание методов для устранения этих причин.

После 1894 г. было приступлено к организации первых сельскохозяйственных опытных станций, на которых начали изучаться мелиоративные вопросы,— орошаемое земледелие, агролесомелиорации и другие (Докучаевская станция в Каменной степи Воронежской губернии; Костычевская опытная станция на Валуйском орошаемом участке в Саратовской губернии; Туркестанская сельскохозяйственная станция на орошаемых землях близ Ташкента).

Для подготовки кадров по мелиорации в 1894 г. было создано первое специальное мелиоративно-гидротехническое учебное заведение — Инженерное отделение при Московском сельскохозяйственном институте; после 1905 г. были организованы мелиоративные высшие учебные заведения в Новочеркасске, Омске, Киеве.

В связи с расширением мелиоративной деятельности после 1905 г. в период 1907—1916 гг. проводились обширные изыскательские работы в различных районах Средней Азии, Закавказья, Полесья, Крыма, Поволжья, Северного Кавказа, Украины, давшие значительные результаты по освещению условий мелиораций. В этот же период увеличилось число опытных станций по вопросам культуры орошаемых земель (в Средней Азии и Закавказье) и по культуре болот (в западных, северо-западных и центральных районах); было приступлено к созданию специальных научно-исследовательских организаций — гидрометрической (1910 г.), гидромодульной (1912 г.) с сетью опорных пунктов и станций при них, имевших своей задачей учет водных ресурсов и установление норм и способов использования этих ресурсов в разных районах.

Крупное значение в развитии отечественной мелиоративной науки имели упомянутые высшие мелиоративные учебные заведения.

Особо следует отметить Инженерное отделение Московского сельскохозяйственного института, где работали В. Р. Вильямс и В. В. Подарев, являющиеся основоположниками нашей мелиоративной науки.

В. В. Подарев, один из организаторов Инженерного отделения, разрабатывал вопросы гидротехники в связи с мелиорациями, тогда еще очень мало изученные.

В. Р. Вильямс, заложивший основы динамического и агрономического почвоведения, дал в своих трудах ряд принципиальных положений связи мелиораций с вопросами почвоведения и земледелия, составляющих одну из основ нашей мелиоративной науки.

Для научной разработки вопросов мелиораций при Инженерном отделении была организована специальная опытно-мелиоративная лаборатория и начал читаться курс теоретических основ проектирования мелиораций, построенный на принципах комплексного сочетания гидротехнических и агротехнических элементов мелиораций с хозяйственными и природными условиями их. Эта постановка вопроса давала новое направление дальнейшей научной работе в области мелиораций.

В результате опытных работ и теоретических исследований в нашей мелиоративной науке начали устанавливаться новые важные принципы: 1) необходимость тесной органической (не только качественной, но и количественной) увязки вопросов мелиоративной техники с конкретными хозяйственными и агрономическими требованиями и природными (почва, климат, гидрология) условиями каждого мелиоративного объекта; 2) необходимость разрешения каждой мелиоративной задачи не изолированно, а комплексно, как части более широкой проблемы изменения природных условий, в соответствии с потребностями сельского хозяйства.

Однако в условиях дореволюционной России не было возможностей для практического осуществления этих принципов.

Только Великая Октябрьская социалистическая революция создала эти возможности в результате национализации земли и уничтожения частновладельческих земельных границ, коренного изменения условий развития отдельных районов. Таким образом были созданы весьма благоприятные условия для развития мелиоративного дела и не только открыты новые потребности и возможности мелиораций, но и созданы новые условия и формы и даны возможности более рационального и эффективного технического их осуществления.

Коммунистическая партия и Советское правительство уделяли большое внимание развитию мелиораций еще в годы гражданской войны.

Огромное значение мелиораций крестьянских земель отмечено в резолюции VIII съезда партии по отчетному докладу В. И. Ленина. Большое место отведено этому вопросу в плане ГОЭЛРО. Уже в 1918 г. была начата организация работ по развитию орошения в Средней Азии.

Проведенная в республиках Средней Азии в 1925—1927 гг. земельно-водная реформа имела крупнейшее значение для окончательного разрушения старых феодальных земельных и водных отношений и для установления нового социалистического водопользования. В решениях XV съезда партии сказано: «Важным фактором воздействия на крестьянство являются крупные мелиоративные сооружения, как, например ирригационные работы в Средней Азии (хлопководство) и на Кавказе. Ирригационная система в руках пролетарского государства может стать мощным регулятором производственного процесса и орудием поддержки бедняцких и середняцких слоев крестьянства»[1].

В период восстановления народного хозяйства после окончания гражданской войны были проведены большие работы: 1) по восстановлению оросительных систем, пришедших в упадок за время империалистической и гражданской войн, и доведению поливных площадей, резко сократившихся за это время, до довоенного уровня; 2) по дальнейшему развитию орошения как в районах посевов хлопка, так и в засушливых районах Европейской части СССР (особенно после засухи 1924 г.); 3) по осушению заболоченных земель в западных, центральных, северных районах и в Сибири.

Индустриализация страны и коллективизация сельского хозяйства оказали крупнейшее влияние на развитие мелиораций. Началось развитие крупного оросительного строительства в районах Средней Азии и Завкавказья в целях расширения площадей хлопковых посевов и переустройства старых систем, в соответствии с требованиями коллективного хозяйства.

В 1932 г. партией и правительством была поставлена задача орошения Заволжья, и начаты оросительные работы.

В период первой и второй пятилеток мелиоративные работы получили весьма крупное развитие. Борьба за расширение площадей посевов хлопка; реконструкция оросительных систем для крупного механизированного хозяйства; повышение коэффициента полезного действия оросительных систем и введение планового водопользования; постановка проблемы борьбы с засухой в Заволжье и других засушливых районах; превращение нечерноземной «потребляющей» полосы в производящую и развитие здесь зерновых и технических культур; обеспечение кормовых площадей для развития животноводства; освоение целинных земель — таковы главнейшие задачи, в разрешении которых мелиорации играли весьма крупную роль. Площадь орошаемых земель по Советскому Союзу за период первой и второй пятилеток увеличилась на 1150 тыс. гектаров, а осушаемых — на 1400 тыс. (с 1917 по 1929 г. это увеличение составляло для орошаемых земель 390 тыс. гектаров и для осушаемых — 850 тыс.). В результате укрепления мощи колхозного строя с 1938 г. началось развитие народных скоростных мелиоративных строек, когда колхозы своими силами стали осуществлять ряд крупнейших мелиоративных проблем при планово-техническом руководстве и материальной помощи государства. В одном лишь Узбекистане народные стройки за время 1938—1942 гг. дали увеличение орошаемой площади свыше 250 тыс. гектаров. После того, как в состав СССР вошли Западная Белоруссия, Западная Украина, Литва, Латвия и Эстония, фонд осушаемых земель в СССР возрос свыше чем на 2 млн. гектаров. К 1941 г. общая площадь мелиорируемых земель в СССР составляла свыше 11 860 тыс. гектаров, из которых 6150 тыс. орошаемых (не считая земель, имевших оросительную сеть, но не орошавшихся по тем или иным причинам) и 5710 тыс. осушаемых земель. Рост орошаемых и осушаемых площадей (в тыс. гектаров) по отдельным периодам виден из таблицы 3.

Великая Отечественная война приостановила мелиоративные работы во многих районах; фашистские захватчики разрушили много оросительных и осушительных

[1] XV съезд ВКП (б), Стенографический отчет, 1928, стр. 1310. *Прим. автора.*

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла широкие возможности для развития мелиоративной науки. Развитие мелиораций после революции поставило перед мелиоративной наукой ряд новых задач. Расширился круг районов, которые требовали изучения их в мелиоративном отношении. По-новому была поставлена проблема борьбы с засухой, как задача борьбы не только с последствиями, но и с причинами засух. Встал ряд задач по освоению новых районов и по поднятию сельского хозяйства во многих старых районах. Изменился самый характер мелиораций: они должны были теперь отвечать условиям крупного социалистического механизированного хозяйства. В связи с этим нужно было перестроить методологию проектирования мелиоративных систем, разработать новые и рационализировать старые способы мелиораций, обеспечивающие как поднятие плодородия почв, урожайности и производительности труда, так и более эффективное использование воды как народнохозяйственной ценности.

Необходимо было разработать методы наиболее правильной эксплуатации мелиоративных систем, повышения коэффициента полезного действия их, улучшения качества мелиорированных земель, широкой механизации мелиоративных работ.

Сообразно с новыми задачами мелиоративных исследований изменилась и организация их.

Советское правительство приняло необходимые меры к развитию научно-исследовательских работ по мелиорации. Была создана широкая сеть опытно-мелиоративных станций в различных районах СССР, организованы научно-исследовательские институты по мелиорации — в Москве, Ленинграде, Минске, Новочеркасске, Киеве, Ташкенте, Тбилиси и расширились научно-исследовательские работы в мелиоративных вузах.

Тематика научно-исследовательских работ охватывала следующие основные проблемы:

а) орошение в хлопководческих районах СССР (Средняя Азия и Закавказье);

б) орошение в целях борьбы с засухой в Европейской части СССР (Поволжье, Украина, Северный Кавказ);

в) осушение заболоченных земель и освоение новых земель в районах нечерноземной полосы;

г) рационализация эксплуатации и освоение мелиоративных систем;

д) предупреждение и борьба с засолением и заболачиванием земель в орошаемых районах;

е) рационализация существующей мелиоративной техники и, в частности, разработка новых методов мелиораций (дождевание, подпочвенное орошение, кротовый дренаж и др.).

Научно-исследовательские работы по вышеуказанным проблемам дали существенные результаты как для мелиоративного производства, так и для дальнейшего развития мелиоративной науки. В этой работе нашей мелиоративной науке пришлось идти своими путями, так как зарубежная наука и техника не могли дать необходимых и приемлемых в условиях нашего хозяйства решений. Хищническая эксплуатация земли в условиях капитализма породила ложный «закон убывающего плодородия почвы», распространенный в зарубежной буржуазной науке, с базирующимися на нем неправильными положениями и приемами.

Громадное значение для развития советской мелиоративной науки имели: единственно правильный метод познания — марксистский диалектический метод — и общие успехи и достижения советской и зарубежной науки и техники; особо крупное значение для мелиоративной науки имело развитие учения Вильямса — Мичурина — Лысенко.

Советская мелиоративная наука в своем развитии опирается на сочетание теории и практики; на работы научно-исследовательских учреждений (лабораторий и опытных станций) и на достижения производства (передовых колхозов, совхозов и мелиоративных строек); наша мелиоративная наука исходит из необходимости самой тесной увязки гидротехнической и агротехнической сторон каждой мелиорации как в проектировании, так и при эксплуатации.

Мелиорации, влияющие на изменение почвообразовательного процесса, должны обеспечивать управление динамикой не только водного, но и питательного режима почв в целях повышения их плодородия и получения

высоких урожаев. Поэтому мелиорации должны осуществляться в сочетании с конкретной системой агротехнических мероприятий в соответствующих районах и зонах.

Характер и техника мелиораций должны соответствовать требованиям почвы и растений и наиболее благоприятному направлению почвообразовательного процесса. В комплексе с агротехническими и лесоводственными мероприятиями мелиорации должны содействовать изменению не только почвенных, но и гидрологических и климатических условий мелиорируемой территории в нужном для хозяйства направлении.

Были разработаны и изучены опытным путем методы установления рациональных режимов орошения главнейших сельскохозяйственных культур и осушения заболоченных земель, отвечающие агробиологическим требованиям растений при различных природных и агротехнических условиях.

На этой основе даны методы определения расчетных расходов оросительных и осушительных каналов и их динамики в зависимости от конкретных хозяйственных и природных условий.

Определение этих зависимостей очень важно как своими конкретными решениями, так и *принципиальной направленностью на установление генетических, а не формальных связей между мелиоративной техникой и природными и хозяйственными условиями.*

Занимаясь разрешением наиболее актуальных вопросов, которые выдвигало и ставило мелиоративное дело, наша мелиоративная наука разработала ряд существенных теоретических и научно-методических вопросов.

Результаты этих работ позволяют устанавливать для многих мелиоративных процессов и явлений определенные закономерности и динамические зависимости от основных, обусловливающих их природных и хозяйственных факторов.

Изучение этих закономерностей и зависимостей должно развиваться дальше, углубляться и уточняться, но наличие их и теперь уже позволяет ставить проектирование и эксплуатацию мелиораций на научную базу.

Совокупность всех указанных теоретических и опытных работ в области мелиораций дает богатый материал, позволяющий устанавливать важные закономерности в этой области и тем самым выделяет мелиорации в особую научную дисциплину.

Основной предмет этой дисциплины — изучение закономерностей образования и динамики водного (и связанного с ним воздушного, питательного, солевого и др.) режима земельных массивов и разработка наиболее производительных (основанных на высшей технике) методов управления этим режимом в целях улучшения природных условий земельных массивов, повышения плодородия почв и получения высоких и устойчивых урожаев в соответствии с требованиями эффективного использования земель для развития социалистического хозяйства и в сочетании с другими мероприятиями по переделке природы.

В настоящей книге рассматриваются основные принципы сельскохозяйственных мелиораций, теоретические и практические основы расчета, проектирования и работы мелиоративных систем. Это рассмотрение ведется на основе указанных выше положений и прежде всего наиболее полной увязки мелиораций с потребностями и плановыми заданиями социалистического хозяйства, с одной стороны, и природными условиями, в каких осуществляются мелиорации, с другой.

Такое изучение этих вопросов определяет те данные, которые должны быть получены путем соответствующих изысканий и необходимы для последующей правильной эксплуатации мелиоративных систем.

Вопросы эксплуатации мелиоративных систем, растениеводства на мелиорированных землях и гидротехнических сооружений на системах рассматриваются лишь в той мере, в какой это необходимо для ясного понимания

работы мелиоративных систем и не может быть оторвано от изучения их. Более подробно указанные вопросы излагаются в специальных курсах по этим предметам.

Организация производства и механизация мелиоративных работ составляют также предмет особого курса.

Изучение отдельных видов мелиораций в настоящем учебнике начинается с мелиораций по регулированию водного режима почв и заканчивается мелиорацией по предупреждению и борьбе с эрозией почв.

Мелиорации по регулированию водного режима почв разделены на два главных вида: 1) мелиорации в условиях недостаточного увлажнения и 2) мелиорации в условиях избыточного увлажнения.

II

МЕЛИОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Глава первая

ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ И ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

1. ПОТРЕБНОСТЬ В ОРОШЕНИИ И ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЕ

Оросительные мелиорации имеют задачей обеспечение и регулирование нужного водного и связанного с ним теплового и питательного режимов почв на определенных сельскохозяйственных площадях, испытывающих недостатки влаги, необходимой для повышения плодородия почв, получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Потребность в орошении возникает в тех случаях, когда возделываемые культуры по годам в течение всей вегетации или в известные фазы испытывают недостаток естественной влаги, необходимой для успешного их развития и получения высокой урожайности, и когда без восполнения этих дефицитов воды невозможно высокопродуктивное сельскохозяйственное использование земель.

В сухих районах (постоянной засушливости) орошение является одним из основных условий самой возможности надлежащего хозяйственного освоения их; к числу таких районов принадлежат районы сухих пустынь и полупустынь, многие степные районы (в республиках Средней Азии, Закавказья, в Прикаспии и др.). В районах периодической засушливости — Поволжье, Украина, Крым, Северный Кавказ, центрально-черноземные области — орошение повышает величину и устойчивость урожаев сельскохозяйственных культур; даже в северных районах некоторые требовательные к воде культуры (овощи, картофель и др.) оказываются отзывчивыми на орошение в отдельные критические периоды. Орошение является одним из главных средств переделки природы засушливых районов и коренной борьбы с засухой.

Для освоения пустынных, полупустынных и маловодных степных районов, кроме орошения, необходимо также обводнение их путем устройства соответствующих водных источников — каналов, водохранилищ, колодцев — и использования их для целей водоснабжения населенных пунктов, для развития промышленности, сельского хозяйства, животноводства и других надобностей. Обводнение и орошение часто осуществляются совместно.

С интенсификацией сельского хозяйства и ростом урожаев в СССР орошение широко развивается в южных районах и продвигается в более северные районы.

Для своего развития и роста растение при определенных климатических, почвенных и агротехнических условиях нуждается в определенных количествах воды, которые оно расходует в процессе своей жизнедеятельности на свое питание, построение органического вещества и транспирацию.

Количество потребляемой растениями воды зависит: 1) от условий внешней среды — температуры и влажности воздуха, наличия света, влажности, плодородия и свойств почвы и 2) от вида и свойств растений и от способов возделывания их. Наибольшее количество потребляемой растением воды расходуется на транспирацию, необходимую не только для питания

и развития ассимилирующей поверхности (листьев), но и особенно для регулирования (охлаждения) температуры наземных частей растений, и потому оно сильно зависит от температуры и относительной влажности воздуха, от скорости ветра и плодородия почвы. Изменяя условия среды, можно сильно влиять на водопотребление растений: повышение плодородия почвы, снижение температуры, увеличение влажности воздуха могут существенно снижать потребление воды растениями и обратно.

Количество потребляемой той или другой культурой воды может быть установлено: 1) непосредственно опытным путем по систематическим измерениям элементов водного баланса на занятых ею полях; 2) по величине урожая и транспирационного коэффициента, отвечающего этой урожайности при данных условиях, т. е. количества воды, расходуемого культурой на единицу урожая ее при определенных климатических условиях, уровне плодородия почвы, агротехники и урожайности; в зависимости от этих факторов транспирационный коэффициент обычно колеблется от 200 до 800 *кг* воды и более на 1 *кг* сухого вещества; 3) на основании учета прихода-расхода тепла в результате процессов радиации, конвекции при обмене масс и теплопроводности; однако метод этот пока еще недостаточно разработан для практических целей.

Значение транспирационного коэффициента зависит от климатических условий, характера агротехники, плодородия почвы и уровня урожая. Влияние условий внешней среды и особенно климатических условий на величину транспирационного коэффициента во многих случаях сказывается сильнее, чем различия в характере растений. Чем лучше агротехника и условия питания растений, чем выше урожай, тем меньше потребление воды на единицу сухого вещества урожая. Поэтому *значения коэффициента транспирации должны определяться опытным путем с обязательным учетом* климатических условий, свойств почвы, характера агротехники и урожайности.

Для примера приведены значения транспирационных коэффициентов яровой пшеницы в Заволжье, по данным Ершовского опытно-мелиоративного участка.

Формы удобрений	Урожай с 1 *га* (в %)	Транспирационный коэффициент (в %)
Без удобрений	100	100
P	121	91
NP	135	81

Транспирационный коэффициент, т. е. расход воды на транспирацию на единицу урожая, с увеличением плодородия почвы и урожая вследствие внесения удобрений уменьшается.

С ростом урожая, при определенном уровне плодородия почвы, потребление воды на единицу урожая падает; поэтому при учете потребности сельскохозяйственных культур в воде необходимо учитывать урожайность, состояние плодородия почвы и агротехники. Если требуемая урожайность культуры составляет Y *ц* с 1 *га*, а значение транспирационного коэффициента, соответствующее этой урожайности, равно ε_y (в $м^3$ воды на 1 *ц* урожая), то общее количество E непосредственно потребляемой растениями воды будет: $E = Y\varepsilon_y$ $м^3/га$. Это количество потребляемой растениями воды E на единицу площади с ростом урожайности Y увеличивается не пропорционально, а значительно медленнее роста урожайности. В естественных условиях количество потребляемой растениями воды E восполняется за счет использования 1) атмосферных осадков и конденсационной влаги вегетационного периода и 2) запасов почвенной влаги от предыдущих периодов и поступления влаги из нижних слоев. Если эти естественные ресурсы влаги, за вычетом испарения самой почвы, являются недостаточными для удовлет-

ворения потребности растений (E $м^3/га$) (что имеет место в засушливых районах), то необходимо добавочное увлажнение почвы, т. е. образующийся дефицит необходимой влаги для растений должен быть восполнен орошением. Чем больше потребность сельскохозяйственных культур в воде и испарение влаги самой почвой при данных условиях, с одной стороны, и чем меньше естественные ресурсы влаги, используемые растениями и почвой, с другой стороны, тем больше дефицит необходимой влаги и тем больше потребность в орошении. Она изменяется для одной и той же культуры не только в различных районах, но и в разные годы в одном и том же районе, в зависимости от степени засушливости их.

Степень засушливости какого-либо района или года для данной культуры при определенной агротехнике можно характеризовать соотношением между потребностью данной культуры в воде на транспирацию растений плюс испарение почвы за вегетационный период и наличными естественными ресурсами влаги (осадки плюс запасы почвенной влаги), могущими быть использованными за этот период. С увеличением засушливости (местности или года) возрастают потребность культуры в воде и испарение почвой и уменьшается количество доступных для использования естественных водных ресурсов, т. е. увеличивается разрыв между потребностью в воде и наличием ее, или дефицит необходимой влаги. В результате возникает потребность в орошении. Это положение можно иллюстрировать графической схемой (рис. 2), на которой абсциссы характеризуют степень засушливости различных районов или лет (для одного и того же района) в возрастающем порядке по засушливости (например, от лесостепных районов к степным и далее к полупустынным и т. д.), а ординаты — количество воды на единицу данной сельскохозяйственной площади.

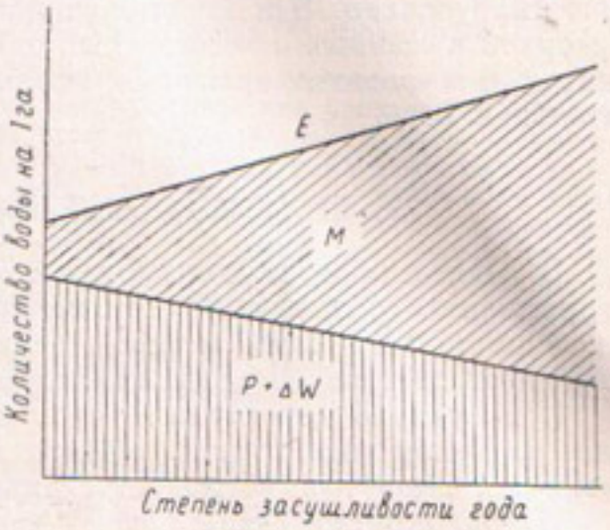


Рис. 2.
E — потребность растений в воде + испарение влаги почвой; M — потребность в орошении и необходимое количество воды; $P + \Delta W$ = осадки + запасы почвенной влаги.

Степень наклона и характер линий (схема, рис. 2) изменяются в зависимости от условий отдельных районов и от характера культуры и агротехники. Поэтому потребность в орошении определяется не только природными, но и сельскохозяйственными и экономическими условиями. Общее количество потребной на орошение воды равно дефициту потребности растений в воде и испарению почвы при данных условиях.

Чтобы уменьшить потребность в оросительной воде при получении заданной урожайности, необходимо: а) снижение потребления воды ε_y на единицу урожайности путем повышения плодородия почвы, агротехники и относительной влажности воздуха; б) повышение использования естественных ресурсов влаги атмосферных осадков, весеннего стока, запасов почвенной влаги; в) всемерное снижение испарения влаги почвой. Для этого необходимо изменение в благоприятную сторону условий внешней среды развития растений, а именно: 1) создание и поддержание комковатой структуры активного слоя почвы, повышающей плодородие и позволяющей наилучшим образом использовать и сберегать почвенную влагу, что достигается введением травопольных севооборотов или соответствующей системой обработки почвы; например, включение в хлопковые севообороты травосмесей на бесструктурных сероземах Средней Азии увеличивает содержание корневой массы в полуметровом слое почвы (на незасоленных почвах) до 15—20 $т$ на 1 га[1]; содержание водопрочных агрегатов ($d > 1$ $мм$) в пахотном слое увеличивается в 2—3 раза сравнительно с целиной; 2) устройство вдоль постоянных распределительных каналов и вокруг орошаемых участков защитных лесных полос, умеряющих силу ветра, снижающих энергию испарения и повышающих относительную влажность воздуха; 3) хорошая агро-

[1] По данным Ак-Кавакской опытной станции СоюзНИХИ. *Прим. автора.*

техника — глубокая вспашка, своевременная культивация почвы после поливов; 4) применение удобрений и т. д. Чем лучше проведены все эти мероприятия, тем меньше потребность в оросительной воде (в орошении) при прочих одинаковых условиях.

Особенно важно максимальное использование естественных ресурсов влаги; для этого применяются снегозадержание, уменьшение коэффициента стока, зяблевая вспашка, соответствующая обработка почвы, увеличение поглощения талых весенних вод при помощи нарезки водопоглощающих щелей и др., в зависимости от местных почвенных и климатических условий. Эти мероприятия имеют большое значение для борьбы с засухой в степных и лесостепных районах не только на неорошаемых землях, но и в условиях орошения, так как они уменьшают потребность в оросительной воде.

2. ВИДЫ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

В зависимости от сельскохозяйственных требований, предъявляемых к орошению, от характера источника орошения и положения орошаемой площади по отношению к нему, от климатических и почвенных условий различают следующие виды оросительных и обводнительных мелиораций.

I. Регулярно действующее орошение: а) самотечное и б) с механическим подъемом воды из рек, водохранилищ или за счет грунтовых вод; это орошение часто называется «правильным».

II. Однократно действующее орошение: а) паводковое (из каналов, работающих в период паводков в реке) и б) лиманное — путем задержания полых вод весеннего стока.

III. Обводнение местности посредством устройства водохранилищ или каналов, вода которых используется для хозяйственных нужд, сельскохозяйственного водоснабжения и орошения небольших участков.

Увлажнение почвы и снабжение растений доставляемой на орошаемую площадь водой может производиться следующими способами: 1) распределением воды по поверхности почвы (преобладающий способ); 2) распылением воды в форме дождя, увлажняющего не только почву, но и растения и приземный слой воздуха (при помощи особых агрегатов дождевания); 3) введением воды в почву снизу по трубам — подпочвенное орошение.

Орошение, служащее для увлажнения почвы и снабжения водой растений, является преобладающим видом.

Существуют и специальные виды орошения: а) удобрительное и окислительное орошение речными водами, применяемое обычно в целях окисления и заиления заболоченных почв (в сочетании с осушением их); б) удобрительное орошение сточными канализационными водами сельскохозяйственных земель вблизи городов и крупных поселений; в) отеплительное орошение с целью согревания почвы путем полива ее водой, более теплой, чем сама почва.

3. ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ВНЕШНЮЮ СРЕДУ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ И УРОЖАЙ

Действие орошения на развитие растений проявляется, во-первых, путем восполнения дефицитов необходимой для растений влаги и питательных веществ; во-вторых, путем влияния на микроклимат приземного слоя атмосферы, на температуру почвы и растений, на физико-химические и биологические процессы в почве.

Растения для успешного своего развития и образования высоких урожаев требуют одновременного и непрерывного полного притока необходимых им в каждую фазу развития количеств влаги, питательных веществ, тепла, света, почвенного воздуха.

Поэтому при орошении урожайность сельскохозяйственных культур определяется не одним только количеством даваемой воды, а совокупностью всех необходимых им факторов роста при данных условиях.

Если при определенных почвенных и климатических условиях и агротехнике, обеспечивающих растениям нужное количество тепла, света и питательных веществ, повысить количество даваемой оросительной воды, оставив без изменения остальные факторы развития, то урожаи сначала будут возрастать, а затем этот рост остановится и растения станут испытывать недостаток питательных веществ, почвенного воздуха или других факторов, необходимых им для того, чтобы создать еще большую продукцию.

Подача оросительной воды должна быть ограничена определенными пределами. При определенных почвенных, климатических и агротехнических условиях увеличение количеств оросительной воды сверх соответствующих этим условиям норм не только не полезно, но может быть даже вредно, так как: а) не повышает урожаев, б) представляет бесполезную затрату оросительной воды и труда, в) может вызывать нежелательный подъем уровня грунтовых вод. Поэтому, имея возможность путем орошения воздействовать на такой важный фактор жизни растений, как вода, необходимо соответственно обеспечивать при орошении одновременный приток и всех других факторов роста растений (питательный режим) применением высокой агротехники на орошаемых землях.

Увеличение количеств оросительной воды будет не только не повышать, но снижать урожай вследствие недостатка пищи и аэрации. Это положение можно иллюстрировать многими примерами из практики орошения.

Кроме повышения влажности, оросительная вода приносит с собой на поля растворенные и взвешенные вещества, среди которых имеются и нужные для растений. Вода растворяет также питательные вещества, находящиеся в почве и недоступные для растений в нерастворенной форме. Таким образом, орошение может повышать количество питательных веществ в данной почве.

Орошение должно производиться в строго нормированных количествах, исключающих возможность поверхностного сброса оросительной воды и просачивание ее в глубокие слои, ниже активного для растений слоя почвы. Просачивание оросительных вод в глубокие слои подпочвы недопустимо не только вследствие потерь воды и питательных веществ, но и потому, что оно может вызывать подъем уровня грунтовых вод, заболачивание (и засоление) почвы.

Избыточное количество даваемой на орошение воды, кроме того, задерживает сроки созревания некоторых культур (например, хлопчатника).

Нормирование орошения производится на основах планового водопользования.

Оросительная вода, повышая влажность почвы, влияет на протекающие в ней микробиологические процессы. Правильное применение орошения создает благоприятный водный и тепловой режимы в почве; в межполивной период аэробные процессы в почве усиливаются, вследствие чего происходит более или менее быстрое разложение органических остатков в почве. Микроорганизмы развиваются наиболее энергично при некотором определенном содержании влаги в почве.

По исследованиям М. М. Кононовой и других авторов, наилучшая влажность для процессов нитрификации составляет около 60% полной влагоемкости данной почвы. Как уменьшение, так и повышение влажности почвы против этой величины угнетает процесс нитрификации, причем действие высокой влажности проявляется резче, чем низкой. Вследствие этого в неорошаемых почвах засушливых районов процесс нитрификации идет только весной и осенью, а летом затухает. На орошаемых же почвах при правильном орошении процесс нитрификации идет в течение всего лета.

Динамика нитрификационных процессов на орошаемых почвах, по исследованиям Л. П. Розова, М. Ф. Перескокова, М. М. Кононовой, Ф. Ю. Гальцер на Ак-Кавакской опытной оросительной станции (Средняя Азия), слагается следующим образом.

После каждого полива влажность пахотного горизонта почвы (0—27 *см*) резко повышается, доходя непосредственно после полива до 80—90% полной влагоемкости почвы, а затем влажность начинает постепенно падать и к моменту следующего полива достигает низкой величины.

Вместе с влажностью изменяются тепловой и воздушный режимы почвы: с увеличением влажности температура почвы понижается, аэрация ухудшается вследствие вытеснения воздуха водой и набухания почвенных коллоидов.

Цикличность режима влажности и температуры орошаемой почвы создает и цикличность динамики нитратов непосредственно после поливов, когда влажность почвы очень высока и тепловые условия хуже, процесс нитрификации затухает, а ранее образовавшиеся нитраты начинают вымываться в более низкие горизонты почвы, денитрифицируются и переходят в белковые формы; вследствие этого после полива количество нитратов уменьшается в течение нескольких суток (2—6), пока под влиянием испарения водные и тепловые условия почвы не начнут приближаться к норме. После этого начинается процесс накопления нитратов, продолжающийся несколько дней; по мере высыхания почвы этот процесс постепенно затухает.

Вследствие такого хода процесса нитрификации при орошении (вымывание NO_3 в глубокие слои и редукция нитратов после поливов) содержание нитратов в верхних горизонтах орошаемой почвы при *неправильном, избыточном орошении* может понижаться по сравнению с неорошаемой.

Это обстоятельство (подавленный режим нитратов) и является, вероятно, одной из главных причин затрудненности азотистого питания растений при орошении, в связи с чем и требуется применение азотных удобрений на орошаемых землях; этим же объясняется и наблюдающееся иногда пониженное содержание азота в надземном урожае орошаемых культур.

Однако содержание и формы азота в почве очень сильно зависят от характера увлажнения почвы, т. е. от способов орошения. При некапиллярном увлажнении (поливы затоплением) значительно теряется нитратный азот и уменьшается содержание общего азота, т. е. происходит процесс денитрификации. При капиллярном же увлажнении почвы (бороздной полив) содержание общего азота остается неизменным. Это видно из данных таблицы 4 по исследованиям М. М. Кононовой на Ак-Кавакской станции (в миллиграммах на 1 *кг* сухой почвы).

Таблица 4

Формы азота	В начале опыта	В конце опыта		Потери	
		капиллярное	некапиллярное	капиллярное	некапиллярное
$N—NO_3$	100,3	94,5	14,9	—	—
$N—NH_3$	8,2	6,7	16,0	—	—
Минеральный N	108,5	101,2	30,9	7,3	77,6
Общий N (%)	0,133	0,133	0,124	—	0,009

Данные исследований Почвенного института Академии наук СССР в Заволжье (И. Н. Антипов-Каратаев, И. А. Красильников и др.) показывают, что орошение сильно увеличивает число некоторых микроорганизмов в почве, причем кривая роста, падающая непосредственно после полива, через 1—2 суток начинает резко подниматься, на 4—5-й день достигает максимума и затем медленно опускается до начального состояния. Наиболее резко реагируют на полив азотобактер, актиномицеты, денитрификаторы и бактерии, разрушающие клетчатку. Процессы нитрификации в орошаемых каштановых почвах Заволжья протекают медленнее, чем в сероземных почвах Средней Азии. Денитрификация и разрушение клетчатки наиболее интенсивно протекают при влажности почвы в 80% полной влагоемкости, т. е. вскоре после полива. Актиномицеты наилучшим образом развиваются при минимальной влажности (около 20% полной влагоемкости).

Оросительная вода, являющаяся сильным растворителем (особенно в присутствии CO_2), оказывает большое влияние на химические процессы в орошаемых почвах.

Прежде всего она растворяет водорастворимые вещества почвы, как вредные для растений, так и питательные. Это обстоятельство, с одной стороны, понижает концентрацию почвенных растворов и уменьшает количество вредных для растений солей в верхнем слое почвы; с другой стороны, может обеднить почву питательными веществами (вымывание нитратов, фосфатов). Содержание водорастворимого гумуса в почве при орошении убывает с увеличением оросительных норм; валовое же содержание органического вещества под влиянием орошения изменяется мало.

Общая щелочность почвы под влиянием орошения повышается и тем больше, чем больше влажность почвы; с увеличением содержания в почве растворимых хлористых и сернокислых солей щелочность понижается.

Под влиянием оросительной воды несколько увеличивается растворимость фосфорной кислоты и уменьшается количество легкорастворимых фосфатов почвы.

По исследованиям Почвенного института Академии наук СССР, в Заволжье (И. Н. Антипов-Каратаев) орошение повышает доступность для растений почвенного калия.

Однако при *неправильном, избыточном расходовании воды* орошение может оказывать и неблагоприятное действие: 1) подъем уровня грунтовых вод и содержащихся в них растворимых солей, что может повлечь засоление почвы; 2) разрушение коллоидов и осолодение почвы.

Цикличность режима влажности и температуры орошаемой почвы создает и цикличность динамики нитратов непосредственно после поливов, когда влажность почвы очень высока и тепловые условия хуже, процесс нитрификации затухает, а ранее образовавшиеся нитраты начинают вымываться в более низкие горизонты почвы, денитрифицируются и переходят в белковые формы; вследствие этого после полива количество нитратов уменьшается в течение нескольких суток (2—6), пока под влиянием испарения водные и тепловые условия почвы не начнут приближаться к норме. После этого начинается процесс накопления нитратов, продолжающийся несколько дней; по мере высыхания почвы этот процесс постепенно затухает.

Вследствие такого хода процесса нитрификации при орошении (вымывание NO_3 в глубокие слои и редукция нитратов после поливов) содержание нитратов в верхних горизонтах орошаемой почвы при *неправильном, избыточном орошении* может понижаться по сравнению с неорошаемой.

Это обстоятельство (подавленный режим нитратов) и является, вероятно, одной из главных причин затрудненности азотистого питания растений при орошении, в связи с чем и требуется применение азотных удобрений на орошаемых землях; этим же объясняется и наблюдающееся иногда пониженное содержание азота в надземном урожае орошаемых культур.

Однако содержание и формы азота в почве очень сильно зависят от характера увлажнения почвы, т. е. от способов орошения. При некапиллярном увлажнении (поливы затоплением) значительно теряется нитратный азот и уменьшается содержание общего азота, т. е. происходит процесс денитрификации. При капиллярном же увлажнении почвы (бороздной полив) содержание общего азота остается неизменным. Это видно из данных таблицы 4 по исследованиям М. М. Кононовой на Ак-Кавакской станции (в миллиграммах на 1 *кг* сухой почвы).

Таблица 4

Формы азота	В начале опыта	В конце опыта		Потери	
		капиллярное	некапиллярное	капиллярное	некапиллярное
$N—NO_3$	100,3	94,5	14,9	—	—
$N—NH_3$	8,2	6,7	16,0	—	—
Минеральный N	108,5	101,2	30,9	7,3	77,6
Общий N (%)	0,133	0,133	0,124	—	0,009

Данные исследований Почвенного института Академии наук СССР в Заволжье (И. Н. Антипов-Каратаев, И. А. Красильников и др.) показывают, что орошение сильно увеличивает число некоторых микроорганизмов в почве, причем кривая роста, падающая непосредственно после полива, через 1—2 суток начинает резко подниматься, на 4—5-й день достигает максимума и затем медленно опускается до начального состояния. Наиболее резко реагируют на полив азотобактер, актиномицеты, денитрификаторы и бактерии, разрушающие клетчатку. Процессы нитрификации в орошаемых каштановых почвах Заволжья протекают медленнее, чем в сероземных почвах Средней Азии. Денитрификация и разрушение клетчатки наиболее интенсивно протекают при влажности почвы в 80% полной влагоемкости, т. е. вскоре после полива. Актиномицеты наилучшим образом развиваются при минимальной влажности (около 20% полной влагоемкости).

Оросительная вода, являющаяся сильным растворителем (особенно в присутствии CO_2), оказывает большое влияние на химические процессы в орошаемых почвах.

Прежде всего она растворяет водорастворимые вещества почвы, как вредные для растений, так и питательные. Это обстоятельство, с одной стороны, понижает концентрацию почвенных растворов и уменьшает количество вредных для растений солей в верхнем слое почвы; с другой стороны, может обеднить почву питательными веществами (вымывание нитратов, фосфатов). Содержание водорастворимого гумуса в почве при орошении убывает с увеличением оросительных норм; валовое же содержание органического вещества под влиянием орошения изменяется мало.

Общая щелочность почвы под влиянием орошения повышается и тем больше, чем больше влажность почвы; с увеличением содержания в почве растворимых хлористых и сернокислых солей щелочность понижается.

Под влиянием оросительной воды несколько увеличивается растворимость фосфорной кислоты и уменьшается количество легкорастворимых фосфатов почвы.

По исследованиям Почвенного института Академии наук СССР, в Заволжье (И. Н. Антипов-Каратаев) орошение повышает доступность для растений почвенного калия.

Однако при *неправильном, избыточном расходовании воды* орошение может оказывать и неблагоприятное действие: 1) подъем уровня грунтовых вод и содержащихся в них растворимых солей, что может повлечь засоление почвы; 2) разрушение коллоидов и осолодение почвы.

Нужно так организовать и вести орошение, чтобы не допускать возможных вредных действий воды на почву и максимально усиливать ее полезное влияние.

Орошение оказывает влияние и на физические свойства и структуру почвы.

1. Под влиянием воды может разрушаться комковатая структура почвы. Комочки почвы (d=2—5 *мм*), непосредственно соприкасаясь с капельножидкой водой, могут разрушаться и распадаться на мелкие ($d < 1$ *мм*) агрегатные элементы вследствие как набухания почвенных коллоидов и ослабления сил сцепления, так и механического воздействия.

В результате разрушения комковатой структуры верхних слоев почвы, соприкасающихся с водой, образуется поверхностная корка и скважность почвы значительно уменьшается.

Разрушения комковатой структуры почвы при соприкосновении с водой можно избежать. Для этого, как показали исследования Г. И. Павлова на Ак-Кавакской оросительной станции, необходимо, чтобы комочки почвы смачивались капиллярными токами воды. Поэтому полив по бороздам малой и постепенно увеличивающейся струей, дающий постепенное капиллярное увлажнение почвы, позволяет сохранять структуру почвы (кроме дна борозд); наоборот, полив сплошным затоплением разрушает структуру почвы на всей площади.

Другими приемами орошения, сохраняющими структуру почвы, являются подпочвенное орошение и дождевание (при малой интенсивности дождя).

2. В ряде почв в результате орошения на известной глубине (от 0,50 до 2 *м*) образуется очень плотный, почти непроницаемый для воды слой грунта (мощность 10—45 *см*); он сцементирован карбонатами Ca и Mg, гидратами полуторных окислов и SiO_2 в результате молекулярных процессов. Плотные слои образуются также путем вмывания сверху (при просачивании почвенных растворов) илистых и коллоидных частиц, механически задерживающихся в тяжелых и средних почвах или выпадающих в виде осадка — в присутствии электролитов.

Образование непроницаемых для воды слоев может иметь неблагоприятные последствия — застой воды и образование верховодок. Поэтому почвы с такими слоями должны орошаться умеренными дозами.

3. Орошение изменяет силу сцепления почвенных частиц — чем больше влаги, тем глины становятся мягче, а песчаные почвы тверже; наиболее благоприятно для обработки состояние почвы при содержании влаги в 50—60% полной влагоемкости.

Орошение влияет также на тепловые условия растений и почвы. Под влиянием орошения (особенно дождевания) температура растения понижается, что в жаркие периоды весьма благоприятно. Теплоемкость почвы вследствие увлажнения повышается: почва, насыщенная водой, для своего нагревания требует больше тепла и при испарении влаги охлаждается сильнее; поэтому в теплое время года влажные почвы холоднее сухих, а в холодное время — теплее сухих. Теплопроводность влажных почв больше, чем сухих.

Температура почвы при орошении снижается также за счет более мощного развития растений (особенно травостоя) на орошаемых землях. Поэтому *орошение понижает температуру почвы.*

Изменение температуры почвы до и после полива (в 14 часов) на землях колхоза имени Сталина в Мервском районе Татарской АССР по опытам ВНИИГиМ показано в таблице 5.

Таблица 5

Срок наблюдений	Глубина почвы (в *см*)				
	2	10	20	50	100
До полива 20 августа	43,0	31,2	25,9	23,3	22,0
После полива 27 августа (через 5 суток)	32,8	25,0	23,0	22,8	22,0

Особенно велика разница температур неорошаемой и орошаемой почвы на поверхности, где она достигает 20° С и более. С глубиной разница температур постепенно уменьшается.

В условиях засушливых районов понижение высоких температур почвы в определенных пределах для большинства культур оказывается благоприятным. Очень высокие температуры нарушают обмен веществ в растениях, создают условия для преобладания процессов дыхания над ассимиляцией и, следовательно, трату образовавшегося ранее органического вещества и сильно повышают расходование воды. Повышение температуры почвы увеличивает коэффициент транспирации растений и ухудшает условия использования питательных веществ в почве.

Например, в опытах В. В. Буткевича на удобренном фоне повышение температуры почвы до 35° С понижало урожай зерна пшеницы, а понижение до 20° С повышало его.

Понижение урожая с повышением температуры почвы имело место и в опытах С. К. Кондрашева с овсом, причем высокая влажность почвы смягчала угнетающее действие высокой температуры почвы.

Однако понижение температуры почвы не должно переходить определенных границ, так как при этом уменьшается растворимость и биологическая мобилизация питательных веществ почвы и снижается процент белкового азота в урожае.

Улучшая водный, тепловой, микробиологический и солевой режимы почвы, *орошение сильно влияет на направление почвообразовательного процесса*. Советское почвоведение имеет значительные материалы по этому вопросу; продолжение исследований должно дать в конечном счете такие методы проектирования и строительства орошения, которые обеспечат в каждом конкретном случае наиболее благоприятное его влияние на развитие почвообразовательного процесса, в нужном для нашего хозяйства направлении.

Орошение влияет также на микроклимат орошаемой территории: значительная часть солнечной энергии, затрачиваемая на испарение воды почвой и на транспирацию растений, не идет на нагревание воздуха; вследствие этого температура воздуха над орошаемой площадью понижается, а относительная влажность его повышается по сравнению с неорошаемой площадью. Например, на Валуйской опытной оросительной станции (Саратовская область) в 1920—1921 гг. понижение температуры воздуха над орошаемой площадью доходило до 3—6°, а повышение относительной влажности воздуха до 30% по сравнению с неорошаемой степью. То же получено и на Ак-Кавакской опытной оросительной станции близ Ташкента: там понижение температуры над орошаемыми полями (люцерна, хлопок), по сравнению с неорошаемыми площадями, доходило до 4—5°, а повышение относительной влажности воздуха до 30—50%, причем это влияние сказывалось в нижних слоях атмосферы и затухало на высоте около 2 *м* от поверхности.

Очень благоприятное влияние на микроклимат в отношении понижения температуры и повышения относительной влажности воздуха оказывает дождевание.

Для иллюстрации можно привести данные влияния дождевания и бороздного полива на микроклимат на Безенчуке (Куйбышевская область) с 1 по 20 июля (по опытам ВНИИГиМ) (табл. 6); данные наблюдений в 13 часов, на высоте 100 *см*.

Таблица 6

Условия опыта	Средняя температура воздуха (в °С)	Относительная влажность воздуха (в %)	Дефицит влажности (в *мм*)	Испарение (по Вильду)
Дождевание	27,6	51	14,7	97
Бороздной полив	28,3	42	18,1	114
Без орошения	29,6	38	21,1	131

Повышение влажности воздуха и снижение его температуры уменьшает величину транспирационного коэффициента, увеличивает интенсивность ассимиляции и повышает урожай растений.

Исследования влияния орошения на микроклимат почвы и приземного слоя воздуха, проведенные Агрофизическим институтом ВАСХНИЛ в 1951 г. на Энгельсской опытно-мелиоративной станции в Саратовской области, позволили более детально осветить отмеченные выше положения. Эти исследования показали следующее.

1. Разница в относительной влажности воздуха на участке полива по полосам достигает на высоте 0,5 *м* 33% по сравнению с неорошаемой площадью, на высоте 1 *м* — 24% и на высоте 2 *м* — 15%. Увеличение влажности воздуха с высотой уменьшается, так как оно происходит в основном под влиянием увлажнения поверхности почвы. На поле до полива днем во время испарения влаги градиенты влажности воздуха направлены вверх от испаряющей поверхности почвы и растений. После полива эти градиенты уменьшаются и постепенно достигают начальных значений, бывших до полива. Вечером, ночью и к утру градиенты влажности воздуха меняют свой знак, т. е. они становятся направленными сверху вниз и вместо испарения в большинстве случаев происходит конденсация влаги в почве, что приводит к добавочному нагреву поверхности орошаемой почвы ночью.

2. Снижение максимальной температуры воздуха над орошаемой площадью на высоте 0,5 *м* достигает 4,8—5,4°, а на высоте 1 *м* —4,1—4,3°; снижение $t°$ воздуха удерживается после полива 7—10 суток, в течение которых разница температур сглаживается.

Температура воздуха снижается в дневные часы, ночью же над орошаемой площадью она повышается (до 3°) по сравнению с неорошаемой. Это происходит от того, что благодаря большей влажности и повышенной теплопроводности орошаемой почвы идет приток тепла из глубинных слоев к поверхности почвы; поэтому поверхность орошаемой почвы ночью нагревается сильнее, чем неорошаемой, что повышает температуру приземного слоя воздуха. Вследствие такого колебания температуры воздуха днем влага испаряется, ночью же в большинстве случаев конденсируется в почве.

3. Если на поверхности неорошаемого поля максимальная $t°$ почвы держится на уровне 45—55°, то на поверхности орошаемого поля $t°$ почвы не превышает 30°. Колебания $t°$ верхних слоев почвы в течение суток на неорошаемом поле достигают 25—30°, а на орошаемом — только 10—15°.

Еще большее влияние оказывает орошение на изменение микроклимата (повышение относительной влажности и снижение температуры воздуха) при создании на орошаемой площади полезащитных лесных полос.

При определенных условиях орошение может являться одним из средств борьбы с весенними и осенними заморозками, так как: 1) с водой вносится добавочное количество тепла, ибо в холодное время вода теплее почвы и воздуха; 2) повышение влажности воздуха при поливе снижает излучение тепла в атмосферу; 3) при смачивании почвы выделяется теплота смачивания; 4) влажная почва днем поглощает больше тепла, а ночью она отдает его в верхние слои почвы и в приземный слой воздуха.

Благоприятно действуя на почвенные и микроклиматические условия, орошение оказывает весьма положительное влияние на развитие растений и на урожай.

Изучение данных по урожайности показывает, что средняя многолетняя урожайность на орошаемых землях значительно выше, чем на неорошаемых, к тому же она гораздо более устойчива; влияние орошения особенно сильно сказывается в сухие годы.

Изменяя условия плодородия почвы и микроклимата, *орошение влияет не только на количество, но и на качество урожая*: на содержание в растениях зольных элементов, белков, сахара, жиров, углеводов, крахмала.

С увеличением количеств оросительной воды, при неизменности остальных факторов, процентное содержание золы в надземных частях растений возрастает. Чем больше употреблено воды на орошение, тем больше питательных веществ поглощается растением из почвы на каждую единицу сухого вещества урожая и тем меньше сухого вещества получается на каждую единицу затраченной воды. Таким образом, увеличение количеств оросительной воды без одновременного и соответствующего увеличения притока других факторов, в частности пищи, понижает эффективность использования как воды, так и питательных веществ.

Процентное содержание белков в растениях увеличивается с уменьшением количества оросительной воды (при неизменности остальных факторов).

Объяснение этого явления можно искать в указанном выше режиме нитратов на орошаемых землях и во влиянии орошения на снижение температуры почвы.

Существует мнение, что орошение вообще понижает процентное содержание белков, в растениях по сравнению с неорошаемой культурой. Однако опыты показывают, что орошение, проводимое небольшими поливными нормами (например, путем дождевания) и при хорошей агротехнике (в частности, внесении азотистых удобрений), не только не снижает процентного содержания белков в растениях, но даже повышает его.

В таблице 7 приведены данные Ершовского опытно-мелиоративного участка в Заволжье, показывающие процентное содержание белкового азота в зерне пшеницы при орошении.

Таблица 7

Условия опытов	Сорта пшеницы			
	№ 010	№ 0841	№ 0341	Саррубра
Без орошения и без удобрений . . .	3,27	2,90	3,05	3,09
Самотечный полив без удобрений	3,15	2,72	2,57	2,56
Дождевание без удобрений	3,42	3,02	3,15	3,12
Самотечный полив с удобрениями	3,36	3,14	3,16	2,72
Дождевание с удобрениями	3,73	3,36	3,28	3,65

Другие опыты показывают, что надлежащим выбором числа, сроков полива и величины поливных норм можно повышать белковость зерна и при самотечном поливе.

Общее содержание углеводов в растении с орошением увеличивается. Что же касается отдельных углеводов, то для них может быть иное соотношение; например, процентное содержание сахара в урожае свеклы оказывается наибольшим при определенном количестве оросительной воды (в данных условиях) и дальше снижается.

Наибольший процент сахаристости в сухом веществе фруктов получается также при некоторых определенных в данных условиях количествах воды.

Процент крахмала в картофеле при орошении, особенно в сухие годы, увеличивается, но при избыточном количестве оросительной воды этот процент может и падать; общий же выход крахмала с 1 *га* картофеля при орошении значительно (в 2—$2^1/_2$ раза) возрастает вследствие увеличения не только процента крахмала, но и общей урожайности.

Таким образом, орошение повышает плодородие почвы, улучшает микроклимат орошаемой территории засушливых районов, в благоприятном

направлении изменяет физико-химические, тепловые и биологические свойства почвы, в результате всего этого оказывает крупнейшее положительное влияние на развитие растений и увеличение урожаев. Однако благоприятное действие орошения проявляется в полной мере только в том случае, если оно осуществляется правильно и в комплексе с соответствующей агротехникой, когда оросительная вода дается в количествах и в сроки, отвечающие потребности растений и наличию всех других факторов развития растений и особенно питательных веществ; при неправильном и главным образом при избыточном орошении оно может не только не оказывать нужного эффекта, но иногда давать и отрицательные результаты.

Отрицательные явления возникают при бесплановом водопользовании, когда не регулируются количества расходуемой на орошение воды. Отсюда в зарубежной литературе возникло мнение о некоторых «неизбежных» отрицательных последствиях орошения. В действительности, если эти «последствия» и проявляются, то они являются результатом не орошения как такового, а неправильного его применения и особенно бесплановой и чрезмерного расходования оросительной воды.

4. КАЧЕСТВО ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Оросительная вода содержит в себе взвешенные частицы или наносы и растворенные соли в тех или иных количествах, в зависимости от характера источника. Грунтовые воды почти не содержат взвешенных частиц, но зато имеют высокую минерализацию. Речные воды отличаются очень слабой минерализацией, но зато содержат большие количества взвешенных веществ. Воды, получаемые из водохранилищ, занимают среднее положение.

Оставляя взвешенные вещества и растворенные соли в том или ином количестве в каналах оросительной сети и в орошаемой почве, оросительная вода оказывает, таким образом, кроме увлажнительного, и добавочное действие. В одних случаях, при известных количествах и качествах оставляемых в почве веществ, это добавочное действие благоприятно (например, удобряющее и окисляющее действие воды, отложение плодородного ила на полях, кольматирование и уменьшение потерь воды в каналах), в других же случаях, когда растворенные в воде соли вредны для растений и содержатся в воде в большом количестве, когда наносы песчанисты и бедны питательными веществами, когда они отлагаются в большом количестве, указанное добавочное действие воды может оказаться неблагоприятным, и против него необходимы специальные меры.

Содержание и характер взвешенных и растворенных в речной воде веществ не остается постоянным и колеблется в широких пределах — от 20—30 до 80 тыс. частей на 1 млн. частей воды по весу, в зависимости: 1) от характера почвы и грунтов водосборного бассейна реки, 2) от колебаний расходов воды в реке по времени года и 3) от колебаний скоростей течения воды.

Общее количество взвешенных наносов в речной воде некоторые авторы определяют следующей формулой:

$$g = \alpha I,$$

где g — средняя годовая мутность реки в данном сечении;
I — средний гидравлический уклон реки в этом сечении;
α — коэффициент, зависящий от характера почв бассейна.

Если мутность g выражена как отношение веса наносов к весу воды, то значение α равно от 1 до 9, в зависимости от степени размываемости почв бассейна; для горных рек $\alpha = 8 - 12$. Если мутность g выражена в килограммах в 1 $м^3$ воды, то $g = 1000 \cdot \alpha \cdot I$ $кг/м^3$.

Количество взвешенных наносов в речной воде тем больше, чем больше расход воды в реке и скорость воды; поэтому в половодье оно значительно больше, чем в меженное время. Для среднеазиатских рек была найдена такая линейная зависимость между средней мутностью воды в процентах по объему M и средним годовым расходом воды в реке Q:

$$M = 0{,}03 + 0{,}0022Q.$$

Примеры содержания наносов в килограммах на 1 $м^3$ расхода воды даны ниже.

Реки	В половодье	В межень
Аму-Дарья (Чарджоу)	5,0	0,40
Сыр-Дарья (Запорожский пункт) . .	1,4	0,27
Волга (низовья)	0,2—0,5	0,01—0,05

Если расход воды в реке составляет Q $м^3/сек$, содержание наносов равно g $кг/м^3$, то проносимый рекой расход наносов равен:

$$\text{от } \frac{gQ}{2000} \text{ до } \frac{gQ}{250} \; м^3/сек,$$

так как вес единицы объема сырых наносов колеблется от 2000 до 250 $кг/м^3$.

Из приведенных данных видно, какие громадные количества наносов несет речная вода, особенно в периоды паводков. Однако в деле орошения важно не одно лишь количество наносов, но и их качество, механический и химический состав.

Наносы, состоящие из частиц крупнее 0,10 *мм*, особенно крупнее 0,15 *мм* (гидравлическая крупность 20 *мм/сек*), вредны, так как они легко отлагаются в оросительных каналах. Наносы с диаметром частиц от 0,10 до 0,005 *мм* могут оказывать положительное влияние на физические свойства почвы, уменьшая ее связность, но питательное значение их невелико. Мелкие наносы, с диаметром частиц меньше 0,005 *мм*, особенно же меньше 0,001 *мм*, обладают большой питательной ценностью, но зато, если их много и они в обилии отлагаются на полях, могут ухудшать физические свойства почв, уменьшая их водопроницаемость и аэрацию.

Механический состав наносов в речной воде сильно колеблется и во времени и для разных рек. Так, среднее соотношение между крупными (>0,01 *мм*) и мелкими наносами составляет: в р. Аму-Дарье — 9 и 91%; в р. Сыр-Дарье — 12 и 88; в р. Волге — 10 и 90%; в р. Куре — 30 и 70%; в р. Араксе — 44 и 56%.

Химический состав взвешенных наносов близок к составу глин: преобладают кремнезем, глинозем, органическое вещество, затем содержатся соли Ca, Mg, K и Na, угольная и фосфорная кислоты. Для разных рек и для одной и той же реки по времени года состав наносов меняется, становясь более плодородным в периоды половодья.

Для характеристики приведем состав наносов в процентах для рр. Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи (табл. 8).

Таблица 8

Вещества	р. Сыр-Дарья	р. Аму-Дарья
SiO_2	41,1	54,0
Al_2O_3 и Fe_2O_3	23,9	17,4
CaO	9,2	7,3
K_2O	3,5	2,1
MgO	5,6	2,3
Na_2O	2,0	1,6
P_2O_5	Следы	Следы
Органическое вещество + химическая вода	14,7	15,3

Запасы минеральных веществ, особенно калия, фосфорной кислоты, поступающие с наносами на орошаемые поля, пополняют потребность растений в питательных веществах.

Кроме взвешенных наносов, в речной воде содержатся растворенные соли и газы. В 1 $м^3$ содержится около 40—55 $см^3$ растворенных газов, из которых около 20 $см^3$ — CO_2, около 15—20 $см^3$ — азота и около 8—12 $см^3$ — кислорода. Содержание газов больше зимой, чем летом, причем чем больше в воде CO_2, тем сильнее растворяющая способность речной воды.

Растворенные соли в речной воде составляют в среднем около 0,20—0,70 $г/л$, с сильным колебанием в зависимости от характера размываемых пород, от колебаний расхода воды в реке и климата: чем суше климат и меньше расход воды в реке, тем содержание солей в воде (концентрация) больше. Пример химического состава растворенных солей (в $мг/л$) в воде некоторых рек дан в таблице 9.

Таблица 9

Реки	Плотный остаток		Cl		SiO_2		K_2O		CaO		MgO		Na_2O	
	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето
Волга у Астрахани . .	306	—	18	7	78	—	—	—	64	35	14	7	20	10
Сыр-Дарья	500	290	42	23	145	74	11	9	100	70	45	25	55	24
Аму-Дарья	530	320	110	50	103	68	12	8	120	78	28	17	90	40

В местностях с влажным климатом воды рек содержат меньше солей, чем воды рек в сухих местностях, причем в первом случае преобладают карбонаты, а во втором — сульфаты и хлориды.

Грунтовые воды как поливной материал характеризуются: 1) значительной чистотой в отношении взвешенных частиц (не заиляются каналы, безопасно всасывание насосами с клапанами); 2) высокой минерализацией, часто делающей эти воды вредными для растений и недопустимыми в орошении.

Минерализация грунтовых вод, помимо состава водоносных грунтов, очень сильно зависит от глубины залегания и климатических условий. Чем ближе к поверхности залегание грунтовых вод (особенно выше 2,5—3,5 $м$ по глубине), чем суше климат, чем слабее скорость оттока, тем выше минерализация грунтовых вод (при прочих одинаковых условиях). Минерализация грунтовых вод зависит также от положения их на разных высотах рельефа долины, увеличиваясь от водораздела к низовьям (проф. К. И. Лисицын). В зависимости от вышеуказанных условий общее содержание солей в грунтовых водах составляет от 1 $г/л$ и меньше до 150 $г/л$ и выше. При слабой минерализации в грунтовых водах преобладают карбонаты; по мере роста минерализации начинает возрастать содержание сульфатов и затем хлоридов. Минерализация глубоких артезианских вод, не подверженных обычно действию испарения, обусловливается главным образом геологическими факторами и колеблется в значительных пределах.

Воды озер и водохранилищ занимают среднее по качеству положение между речными и грунтовыми водами. Чем мельче водоем, выше температура и чем дольше стоит вода, тем концентрация солей больше. В засушливых степных районах, при наличии засоленных почв на водосборе и на дне водохранилища, содержание солей в воде водохранилища изменяется и по временам года, снижаясь весной и повышаясь осенью.

Вопрос о содержании растворимых солей в оросительной воде является весьма важным, так как при содержании вредных для растений солей выше известной величины вода становится непригодной для орошения (без разбавления пресной водой).

Допустимое для растений и почвы содержание растворимых солей в оросительной воде составляет от 0,10 до 0,15% (от 1 до 1,5 $г/л$), причем и при такой концентрации солей нужно осторожное орошение этой водой, так как при содержании солей в воде 1 $г/л$ в почву поступает около 1000 $кг$ солей на каждые 1 000 $м^3$ воды. При содержании растворимых солей в воде от 0,15 до 0,3% (3 $г/л$) необходим анализ химического состава солей, так как вредное действие различных солей на растения и почву неодина-

ково. Оно зависит также от характера почвы: на хорошо проницаемых почвах считается допустимым содержание солей

$$Na_2CO_3 < 0{,}1\%;\quad NaCl < 0{,}2\%;\quad Na_2SO_4 < 0{,}5\%,$$

при одновременном присутствии этих солей эти пределы уменьшаются. Если все или большинство солей составляют хлористый или сернокислый натрий (NaCl или Na_2SO_4), то применение такой воды возможно только на легких или дренированных почвах или же требует особых мер предосторожности. Вода с преобладанием Na и не содержащая Ca для полива нежелательна, так как может повлечь возникновение явлений солонцеватости почвы. Если в составе солей преобладает сода (Na_2CO_3), то такая вода непригодна для орошения без внесения гипса для превращения соды в Na_2SO_4.

Пригодность воды для орошения иногда устанавливают по соотношению содержания в ней отдельных видов растворимых солей. Вопрос этот имеет значение главным образом при использовании на орошение подземных вод, отличающихся более или менее значительной минерализацией[1].

Степень допустимости применения соленых вод на орошение зависит не только от содержания солей, но и от ряда других условий.

Допустимое содержание солей в воде при прочих одинаковых условиях может быть превышено в следующих условиях:

1) на хорошо проницаемых почвах, не подстилаемых близко водоупорным слоем или безотточными грунтовыми водами, где не происходит накопления солей;

2) если применяются небольшие оросительные нормы и поливы даются малыми нормами, но более часто, чтобы не вводить в почву много солей и в то же время не создавать в верхних слоях почвы высокой концентрации почвенного раствора;

3) если применяется хорошая агротехника, позволяющая создавать и поддерживать комковатую структуру почвы и накоплять в почве атмосферную влагу, снижающую концентрацию солей (травопольный севооборот с большим процентом трав, применение навозного и зеленого удобрений, зябь и др.);

4) если в данной местности после оросительного сезона выпадают осадки, достаточные для естественной промывки накопляющихся в почве солей.

Если соли, вносимые с соленой оросительной водой, не имеют естественной промывки, приходится прибегать к искусственной промывке почвы.

При соблюдении указанных условий в крайних случаях допускают орошение водой с содержанием солей до 5—6 *г/л*. Очень соленые грунтовые воды при необходимости употребления их на орошение надо по возможности разбавлять пресной речной водой.

Имеет значение и температура оросительной воды. В случае применения на орошение очень холодной грунтовой или артезианской воды сильное охлаждение почвы может оказаться вредным для некоторых культур; в этих случаях очень холодную воду летом следует предварительно несколько прогревать в открытых бассейнах.

5. СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрение отдельных видов оросительных систем начнем с регулярно действующих систем орошения.

Основной признак этих систем состоит в том, что вода может доставляться ими на орошаемые земли в любое время, когда в ней имеется потребность, и в определенных нужных количествах. Вода из источника орошения (реки, водохранилища и др.) посредством головного сооружения забирается в главный (магистральный) канал системы, который подает ее к орошаемым массивам. Из магистрального канала вода поступает в проводящие распределительные каналы, которые распределяют ее: а) между отдельными орошаемыми массивами и хозяйствами (колхозами и совхозами) в системе (межхозяйственная сеть) и б) между отдельными полями и оросительными каналами внутри хозяйства (внутрихозяйственная сеть).

Внутрихозяйственные каналы, подающие воду на отдельные укрупненные поливные участки, делают постоянными; все остальные каналы,

[1] В. А. Приклонский. Изучение физических свойств и химического состава подземных вод, 1949. *Прим. автора.*

распределяющие воду внутри каждого поливного участка, устраивают временными, ежегодно нарезаемыми на период поливов и заравниваемыми на время механизированных сельскохозяйственных работ (вспашка, посев, обработка, уборка урожая), т. е. вся оросительная регулирующая сеть делается временной и состоит из временных оросителей, выводных борозд

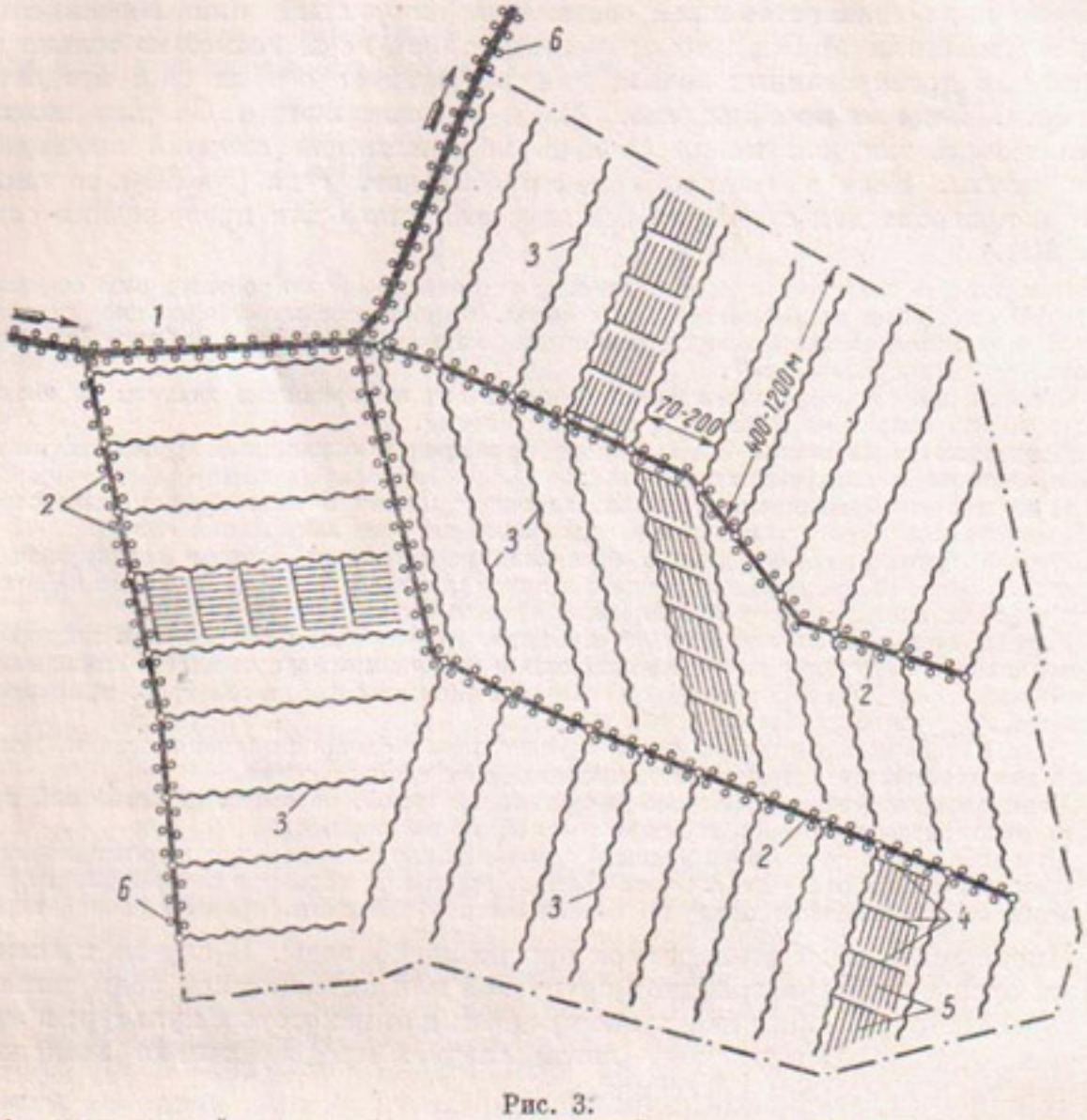


Рис. 3.
1 — магистральный канал; *2* — распределительный канал; *3* — временный ороситель; *4* — выводные борозды; *5* — поливные борозды; *6* —насаждения вдоль каналов.

из них и поливных борозд или полос, из которых вода поступает на полив. Схема новой системы орошения с временными оросительными каналами показана на рисунке 3.

Таким образом, более или менее крупная оросительная система обычно включает в себя следующие основные части:

1) источник орошения (река, озеро, водохранилище, каптированные грунтовые воды);

2) головное сооружение, забирающее воду из источника орошения в магистральный канал в потребных для орошения количествах и в нужные сроки, в соответствии с планом водопользования;

3) главный (магистральный) оросительный канал, доставляющий воду на подлежащие орошению земельные массивы и состоящий из холостой части — от головного сооружения до начала распределительных каналов, и рабочей части, где от магистрального канала отходят распределительные каналы;

4) распределительные проводящие каналы: а) межхозяйственные, распределяющие воду, подаваемую магистральным каналом, между всеми хозяйствами системы, и б) хозяйственные, подающие воду каждому хозяй-

ству, а при больших размерах хозяйств — на отдельные крупные поливные участки, не стесняющие механизацию сельскохозяйственных работ и допускающие перекрестную обработку пропашных культур;

5) временная оросительная регулирующая сеть внутри крупных поливных участков, состоящая из временных, ежегодно устраиваемых оросителей, выводных борозд и поливных борозд и полос, распределяющая воду на полях и переводящая ее при поливе в почвенную влажность нужной величины; оросительная регулирующая сеть может также состоять из закрытых или передвижных трубопроводов и передвижных дождевых агрегатов, а при подпочвенном орошении — из подземных трубопроводов;

6) водоотводная сеть: а) сбросная, служащая для удаления с орошаемых площадей излишней поверхностной воды (образующейся при опоражнивании каналов, при авариях, при ливнях и др.) и располагаемая по пониженным отметкам орошаемых земель, и б) дренажная сеть, устраиваемая на орошаемых землях с близким залеганием соленых грунтовых вод;

7) искусственные сооружения, представляющие собой арматуру на всех каналах для регулирования и управления движением воды в системе.

Распределительная и регулирующая оросительная сеть являются основным аппаратом распределения воды в системе, создания и регулирования нужного водного режима почв на орошаемых землях. Эта сеть распределяет подаваемую в систему из источника орошения воду между хозяйствами и внутри хозяйств, между орошаемыми полями и на полях, в соответствии с планом водопользования.

Задачи, принципы действия и проектирования проводящих — магистрального и распределительных — каналов и регулирующих оросительных каналов различны между собой и должны быть рассмотрены отдельно.

Проводящие распределительные каналы могут быть нескольких порядков по своей пропускной способности и размерам. Они работают в течение оросительного периода непрерывно или длительными тактами.

Регулирующая оросительная сеть является временной, передвижной или закрытой. Она состоит из временных оросительных каналов и борозд или передвижных трубопроводов, распределяющих воду на орошаемых полях. Эта сеть обеспечивает и регулирует нужный режим орошения и почвенной влажности непосредственно на полях и работает прерывисто — короткими тактами.

Оросительная и распределительная сеть через магистральный канал и головное сооружение соединена с источником орошения, питающим ее водой; водоотводная сеть должна быть соединена главным коллектором с соответствующим водоприемником, которым может быть или особый водоток, или та же река, но ниже системы.

Рассмотрение вопросов о размерах, расположении, устройстве и условиях работы всех составляющих оросительную систему элементов начнем с оросительной сети, после чего перейдем к проводящим распределительным каналам и магистральному каналу и затем уже остановимся на вопросах водозабора и головных устройств при разных источниках орошения. Такой порядок принят по следующим соображениям: 1) каждая оросительная система должна удовлетворять определенным хозяйственным задачам и отвечать условиям орошаемых полей; сообразно этому каждый элемент системы должен находиться во взаимосвязи с предыдущим элементом; только зная потребность в воде на полях, можно правильно подойти к проектированию магистрального канала и забора в него воды из источника орошения; 2) внутрихозяйственная оросительная регулирующая сеть в наибольшей мере отражает целевые задания данной орошаемой площади и определяет действие всех остальных проводящих каналов оросительной системы; 3) главнейшие вопросы, с которыми приходится иметь дело при рассмотрении работы и расчете каналов оросительной системы, являются общими при разных видах источников орошения, головные же сооружения связаны с характером последних.

Глава вторая

СОЗДАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ НУЖНОГО ВОДНОГО РЕЖИМА ПРИ ОРОШЕНИИ. ОРОСИТЕЛЬНАЯ РЕГУЛИРУЮЩАЯ СЕТЬ

1. РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ И ЕГО ДИНАМИКА

На орошаемых полях необходимо создавать и регулировать определенный, нужный для растений при данных климатических и агротехнических условиях водный режим почвы, влияющий, в свою очередь, на солевой, питательный и тепловой режимы ее. Это достигается применением необходимых режима и техники орошения, т. е. установлением соответствующих сроков поливов и количеств подаваемой на поля воды, способов подачи и распределения ее по полю при определенной агротехнике; эти задачи осуществляются посредством оросительной регулирующей сети, которая, чтобы не стеснять механизацию сельскохозяйственных работ и не терять полезной площади под каналы, делается *временной*, ежегодно нарезаемой машинами на время поливов и заравниваемой на время производства сельскохозяйственных работ, или *подвижной* — в виде передвижных трубопроводов, например при орошении дождеванием, или же *закрытой* в виде устройства подземных труб.

Внутрихозяйственная оросительная регулирующая сеть представляет собой совокупность временных оросителей и борозд (или передвижных трубопроводов и дождевых или поливных агрегатов), имеющих задачей равномерно распределять по полю подаваемую на орошение воду, переводить ее из состояния водяных токов в каналах в состояние почвенной влажности нужной величины на полях, т. е. в усвояемую растениями форму, и таким образом создавать (вместе с другими агротехническими мерами) необходимый для растений водный режим, повышать плодородие почвы и урожаи. Все это должно достигаться с максимально высоким коэффициентом полезного использования воды на полях — не меньше 0,95. Устройство оросительной регулирующей сети связано со способом орошения и с агротехникой на полях.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ

Существуют три способа подачи и распределения воды на орошаемых полях.

Первый способ — распределение оросительной воды по поверхности почвы, причем вода поступает в почву путем поглощения сверху (орошение поверхностное).

Второй способ — распыление воды в виде дождя над орошаемой площадью при помощи особых аппаратов и увлажнение, таким образом, не только почвы, но и наземных частей растений; этот способ носит название дождевания.

Третий способ — подведение воды не с поверхности, а снизу по заложенным в земле трубам и увлажнение активного слоя почвы за счет главным образом всасывающей силы почвы; это способ подпочвенного орошения

Самым распространенным во всех странах является способ поверхностного орошения (первый), затем дождевание и, наконец, подпочвенное орошение.

Сообразно принципам и технике подачи и распределения воды, указанные способы орошения имеют свои характерные особенности в почвенно-гидрологическом и физиологическом отношениях.

Прежде всего нужно отметить, что в способах поверхностного и подпочвенного орошения увлажняется только почва (и корневая система растений), при дождевании орошаются также и наземные органы растений, что является положительной стороной физиологического действия этого способа орошения на растения. Затем указанные способы орошения различаются по характеру создаваемого ими водного режима в почве, по глубине промачивания и характеру увлажнения поверхностных слоев почвы.

Для способа поверхностного орошения характерны: а) возможность получения различных глубин увлажнения почвы; б) более или менее сильное гравитационное промачивание верхних слоев почвы и *аккумуляция в них определенных запасов воды*; в) режим орошения с большими колебаниями влажности почвы вследствие трудности производства частых поливов малыми нормами.

Способ орошения дождеванием, кроме увлажнения наземных частей растений, отличается: а) меньшей глубиной получаемого увлажнения почвы; б) более слабым гравитационным промачиванием верхних слоев; в) возможностью подачи небольших поливных норм, но более частых поливов, что позволяет при соответствующих климатических условиях обеспечивать более равномерный режим увлажнения; г) более сильным влиянием на микроклимат приземного слоя воздуха.

Способ подпочвенного орошения позволяет: а) получать только капиллярное увлажнение верхних слоев почвы; б) поддерживать определенную глубину увлажнения почвы; в) сохранять более прочный запас влаги в почве; г) обеспечивать, в случае надобности, непрерывное водоснабжение растений, сообразно водопотреблению.

В первых двух способах орошения необходимый режим потребления воды растениями и почвой обеспечивается периодическими поливами, т. е. аккумулированием в активном слое почвы определенных количеств воды (поливных норм), которые и расходуются в течение более или менее длительных межполивных периодов. Различие между поверхностным орошением и дождеванием при этом заключается в том, что при дождевании возможны более частые поливы, но меньшими нормами по сравнению с поверхностным орошением, т. е. дождеванию больше отвечает принцип удовлетворения текущих потребностей в воде, чем принцип аккумуляции влаги в почве.

Подпочвенное орошение при соответствующей технике его (вакуумные способы) позволяет обеспечивать необходимый режим водопотребления растений и почвы путем непрерывного поступления в почву переменных расходов воды, изменяющихся в соответствии с изменениями потребления (на транспирацию и испарение).

Таким образом, в основе двух первых способов лежит принцип периодического снабжения водой на базе предварительной аккумуляции влаги в почве (более глубокой, но редкой — при поверхностном орошении и менее глубокой, но более частой — при дождевании); при третьем же способе можно осуществлять и принцип непрерывного снабжения растений водой.

Непрерывное водоснабжение — в соответствии с ходом текущего водопотребления растений и почвы — представляет существенное значение. Однако технически непрерывное водоснабжение без ненужных затрат и потерь воды возможно только при вакуумной системе подпочвенного орошения, требующей сложных устройств. Особенно велики затраты

(потери) воды при осуществлении непрерывной водоподачи поверхностным способом орошения[1].

Таким образом, в настоящее время в орошении преобладают методы, основанные на принципе периодической аккумуляции влаги в почве путем периодических поливов, осуществляемых поверхностными способами или дождеванием. Периодичность (сроки) и размеры поливов в каждом конкретном случае должны быть таковы, чтобы, во-первых, поддерживать необходимый водный и связанные с ним солевой, питательный и тепловой режимы в почве, наиболее близко отвечающие потребностям растений при данных условиях; во-вторых, осуществлять его с наиболее высоким коэффициентом использования воды, т. е. с минимальными потерями и с меньшими затратами труда. Это достигается установлением такого режима орошения (сроков и норм полива) каждой культуры, какой наиболее соответствует местным климатическим и почвенным условиям, с одной стороны, и характеру культуры, агротехники и производительности труда — с другой.

Что касается создаваемой при поливах глубины увлажнения почвы, то поверхностные способы орошения позволяют получать бо́льшую величину увлажнения по сравнению с дождеванием, что важно, например, при необходимости предварительной влагозарядки почв или при промывке засоленных почв. Наоборот, небольшая глубина промачивания почвы при дождевании имеет большое значение при орошении земель с близкими грунтовыми водами и засоленных почв. Поверхностные способы полива для рационального использования воды требуют ровной поверхности (с определенным уклоном) и связаны поэтому с планировочными работами; дождевание же позволяет орошать земли и с более или менее сложным микрорельефом. Дождевание позволяет применять очень небольшие поливные нормы и быстро корректировать недостатки естественных дождей; это делает его особенно ценным в районах периодической засушливости.

В отношении влияния орошения на сохранение структуры почвы преимущество принадлежит тем способам орошения, при которых почва увлажняется капиллярным путем; на первом месте здесь надо поставить подпочвенное орошение, затем дождевание (при интенсивности дождя, отвечающей проницаемости почвы) и бороздные способы при поверхностном орошении. Полив затоплением отрицательно влияет как на структуру почвы, так и на создаваемые в почве водно-воздушный и питательный режимы и потому не должен допускаться (кроме поливов риса непрерывным затоплением и промывки засоленных почв).

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И РАСТЕНИЙ ПРИ ОРОШЕНИИ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ

Одновременно с регулированием водного режима почвы при орошении оказывается влияние на связанные с ним солевой, питательный, тепловой режимы, а следовательно, на плодородие почвы, развитие растений и сроки созревания. Поэтому необходимо знать тот водный режим почвы, какой нужно создавать и поддерживать на орошаемых полях как в течение вегетационного периода, в различные стадии и фазы развития и роста растений, так и в другие периоды года для получения требуемых урожаев и лучшего использования земли. Потребность растений в воде при данных внешних условиях в различные стадии и фазы их развития изменяется определенным образом в связи с комплексом остальных факторов развития.

«Развитие растения состоит из отдельных разнокачественных этапов, стадий развития. Для прохождения разных стадий развития растений требуются и разные внешние условия (разное питание, освещение, температура и пр.)... Комплексы внешних условий, необходимые растению для прохождения стадии развития и для роста, происходящего на той или иной стадии развития, часто не совпадают»[2].

Если необходимые для растения на каждой стадии его развития условия не созданы, растение не сможет перейти из предыдущей в следующую

[1] Например, непрерывное водоснабжение при орошении риса, осуществляемое способом длительного поверхностного затопления, влечет очень большие бесполезные потери воды на фильтрацию и сильно увеличивает расходование воды на орошение. *Прим. автора.*

[2] Т. Д. Лысенко. Агробиология. Сельхозгиз, М., 1946, стр. 26 и 51. *Прим. автора.*

стадию развития и в конечном счете плодоносить. Поэтому необходимо знать требования растений к комплексу внешних условий и, в частности, к фактору влаги на каждой стадии и фазе развития.

«Одно из основных условий, определяющих ту или иную величину потребности растений в воде, — пишет В. Р. Вильямс,— *продолжительность* так называемых *критических фаз развития растений*»[1]. Обычно различают четыре фазы развития—прорастание, кущение цветение и созревание. Для установления поливного режима данной культуры необходимо знать требования ее к воде в разные фазы развития в течение вегетационного периода при данных агротехнических, почвенных и климатических условиях. Эти сведения могут быть получены на основе работ сельскохозяйственных опытных учреждений и передовиков орошаемого земледелия в соответствующих районах.

Потребность различных растений в воде в разные фазы развития неодинакова. Например, наибольшее потребление воды у злаков приходится на фазы кущения и выколашивания; у хлопчатника наибольшее потребление воды (60—70% общего) происходит в фазу цветения. В период созревания потребность в воде сокращается и в конце его совершенно падает. Изменения потребности растений в воде в различные фазы развития их при данных агротехнических и природных условиях для разных уровней урожайности могут быть установлены на основании опытных данных.

Характер кривой потребления воды растениями в течение их вегетации отражает внешние условия их развития и изменяется вместе с ними. В качестве примера характера кривых потребности в воде различных сельскохозяйственных культур в течение их вегетационного периода на рисунке 4 представлены схематизированные кривые (по В. Р. Вильямсу).

Требования различных культур к запасу влаги в почве в процентах от полной влагоемкости (скважности) В. Р. Вильямс характеризует такими цифрами: зерновые хлеба товарного значения — 40—50%; зерновые бобовые — 50—60; технические растения и корнеплоды —60—70; многолетние травы. злаки и бобовые — 70—80%. Ход водопотребления растений определяет режим потребной влажности почвы во времени.

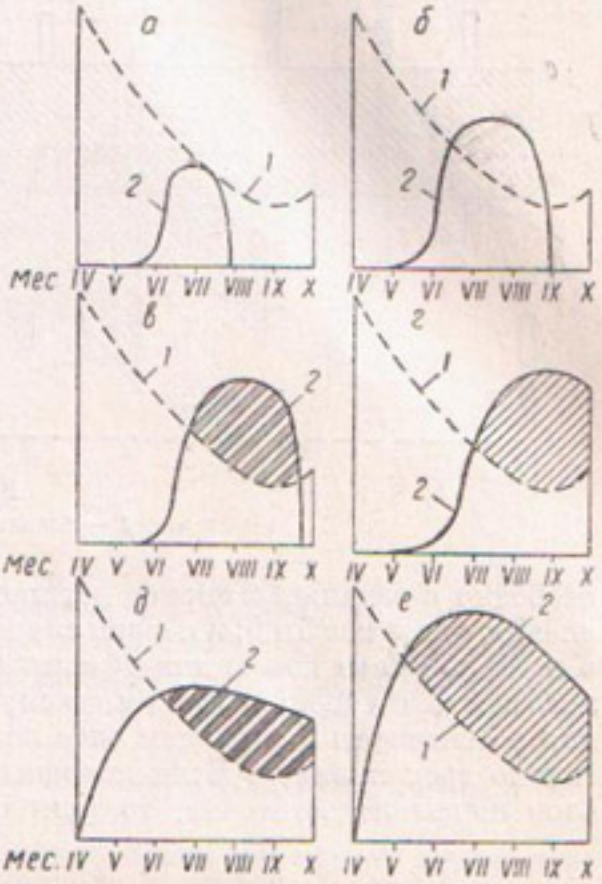


Рис. 4.

1 — кривая влажности почвы; *2* — кривая потребности в воде: *а* — скороспелые полевые кормовые растения и скороспелые хлеба; *б* — позднеспелые хлеба; *в* — технические растения; *г* — корнеплоды технического, пищевого и кормового значения; *д* — посевные многолетние травы полевой культуры; *е* — посевные многолетние травы луговой культуры.

Положим, что потребный режим влажности в активном слое почвы для данной культуры в течение вегетационного периода ее характеризуется пунктирной кривой B (рис. 5)[2]. Естественный же режим влажности почв в том же слое в этот период в засушливый год (определенной обеспеченности) характеризуется кривой A. Сопоставление этих режимов (кривых B и A) показывает имеющиеся дефициты необходимой влаги для растений, их размеры и изменения во времени. Если эти дефициты более или менее значительны по величине и устойчивы во времени (по годам), то они восполняются путем орошения. При способах орошения, основанных на принципе аккумуляции влаги в почве, дефициты влаги восполняются путем периодических поливов, при которых в почву дается определенное количество

---

[1] В. Р. Вильямс. Земледелие с основами почвоведения. Сельхозгиз, М., 1949, стр. 282. *Прим. автора.*

[2] Эта кривая в отдельные фазы развития может иметь пики особо острой потребности в воде при определенных климатических условиях (высокая температура и низкая влажность воздуха). *Прим. автора.*

воды, расходуемое на транспирацию растений и испарение почвы в течение определенного (межполивного) периода времени.

Число поливов, которое приходится давать в течение вегетационного периода, и сроки их — при прочих одинаковых условиях — зависят от величины исходных запасов влаги в активном слое почвы к началу вегетационного периода. С увеличением исходных допосевных запасов влаги в почве дефициты влаги и число необходимых вегетационных поливов,

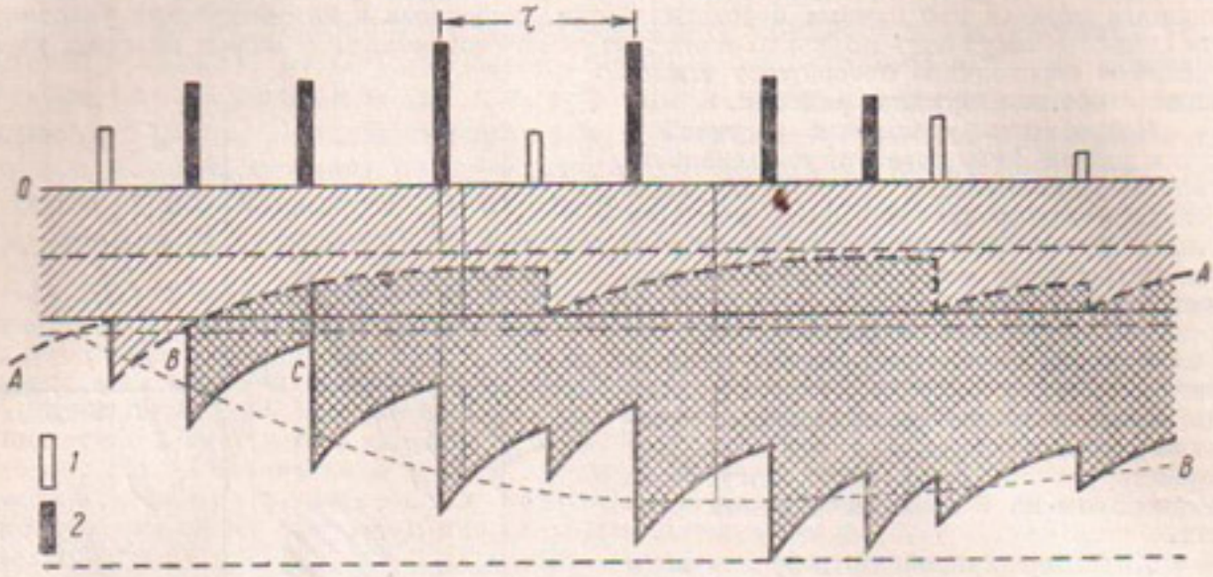


Рис. 5.
1 — осадки; *2* — поливы.

особенно в начальный период вегетации, сокращаются. Это видно из сопоставления рисунков 5 и 6; в первом случае при небольшом исходном запасе влаги в активном слое почвы для обеспечения нужного режима влаги *B* потребовалось шесть поливов; во втором же случае при большем исходном запасе влаги для обеспечения в активном слое почвы нужного режима влаги *B* достаточно только трех поливов. Если исходный естественный запас влаги в активном слое почвы недостаточен, то (для обеспечения всходов семян, понижения концентрации почвенных растворов, уменьшения числа вегетационных поливов) прибегают к увеличению этого исходного запаса влаги путем дачи *допосевного, так называемого влагозарядочного, или запасного*, полива, делаемого осенью или весной, в зависимости от местных условий. Таким образом, поливы делаются не только в вегетационный, но и в допосевной период.

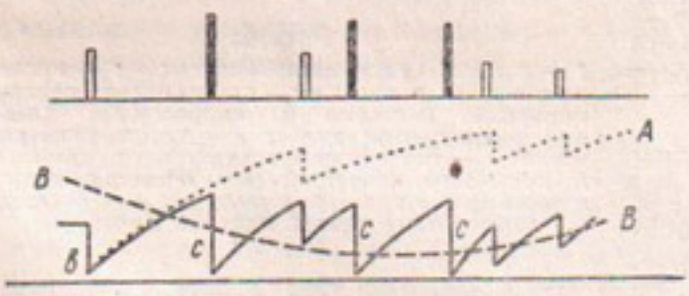


Рис. 6.

Из вышеприведенных рисунков 5 и 6 видно, что создаваемый путем периодических поливов водный режим в активном слое почвы изменяется не по плавной кривой *B*, а по некоторой ступенчатой кривой *C*, колеблющейся около этой кривой *B*. При этом максимумы создаваемой кривой влажности *C* получаются выше, а минимумы ниже ординат кривой *B*. Таким путем поливами создается в почве вместо режима влаги, имеющего место без орошения (кривая *A*), новый режим влажности (кривая *C*), имеющий определенные колебания, но приближающийся к потребному для растений режиму при данных условиях.

Поливы должны быть так установлены по величине и по времени, чтобы новый режим влаги (кривая *C*) возможно лучше и равномернее приближался

к требуемому (кривая *B*) и чтобы как верхний, так и нижний запасы влаги в активном слое почвы, около которых колеблется создаваемый поливами новый режим влаги, не превосходили определенных допустимых величин.

При установлении числа и сроков поливов нужно учитывать также сроки созревания растений (например, для хлопчатника очень ранние сроки до бутонизации и большие нормы поливов хлопчатника могут задержать раскрытие коробочек); чем меньшими нормами, но чаще делаются поливы, тем точнее регулируется водный режим почвы, т. е. тем лучше создаваемый режим влаги приближается к потребному, однако с учащением поливов возрастают затраты труда.

Пределы запасов влаги, в каких может колебаться водный режим почвы при прерывистом орошении, зависят от ряда условий.

При максимальном запасе влаги в активном слое почвы должно оставаться определенное количество воздуха, необходимое для дыхания корней, жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, обеспечения аэробных процессов и усвояемой формы питательных веществ.

Максимальный запас воды в почве регулируется прежде всего свойством самой почвы — ее потенциальной полевой влагоемкостью, составляющей около 60—80% полной скважности почвы. Полевая влагоемкость структурных почв по абсолютной величине в 1,25—1,6 раза больше влагоемкости бесструктурных, и запас воды в структурных почвах более прочный.

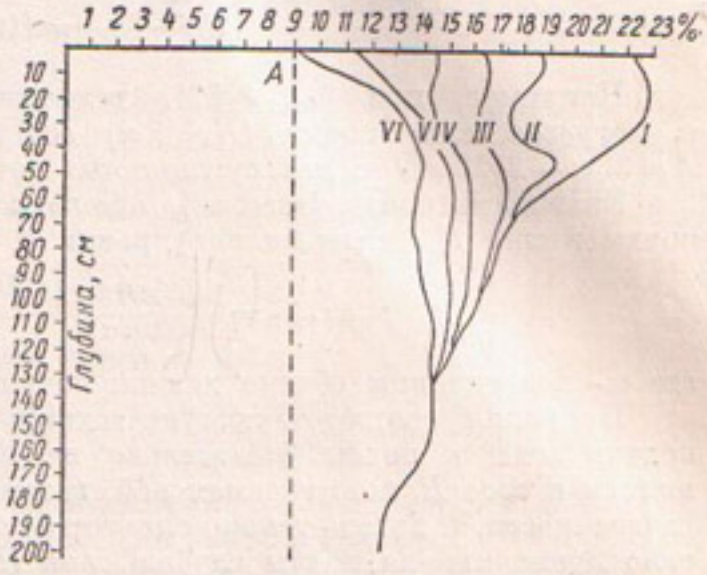


Рис. 7. Расход почвенной влаги на поле под озимой пшеницей с 1 апреля по 16 мая 1952 г.

A — граница недоступной воды; *I* — влажность на 2 апреля; *II* — влажность на 11 апреля; *III* — влажность на 20 апреля; *IV* — влажность на 29 апреля; *V* — влажность на 7 мая; *VI* — влажность на 16 мая.

Величина потенциальной полевой влагоемкости почвы, называемой иногда предельной влагоемкостью, кроме свойств почвы, зависит от глубины увлажняемого слоя почвы и глубины залегания грунтовых вод. Кроме того, она связана с характером или скоростью поступления и размещения воды в почве; чем быстрее и в бóльших количествах поступает вода в почву, тем быстрее почва достигает наибольшей величины своей потенциальной влагоемкости в верхних слоях; это обычно имеет место при затоплении почвы сверху или при даче больших количеств воды. Давая воду в почву более медленно и меньшими расходами (например, путем дождевания малой интенсивности или по сквозным бороздам), можно влажность почвы в активном слое *H* после полива не доводить до максимальной величины потенциальной влагоемкости, что позволяет обеспечить лучшую аэрацию почвы, особенно важную при поливе тяжелых почв. Таким образом, путем надлежащих скорости и способа подачи воды в почву можно, в известной мере, регулировать величину запасов воды в активном слое почвы *H* после полива W_{max}, не доводя их до максимальной величины потенциальной влагоемкости этого слоя. Если же, наоборот, в слой почвы *H* дается большее количество воды, чем отвечающее полевой влагоемкости его, то весь излишек против этой величины уйдет в нижележащие слои (ниже *H*) и может поступить на питание грунтовых вод, что не должно допускаться. Как изменяются во времени запасы воды в почве после полива при разных скоростях и расходах поступления воды в почву, схематически показано на рисунке 7. При быстрой подаче воды в почву распределение почвенной влажности в слое *h* переходит от слоя *h* по кривой *1* — непосредственно после полива, до кривой *2* — спустя некоторое время; кривая *2'* отвечает наибольшей потенциальной влагоемкости данной почвы в слое h_1. Всякая дальнейшая прибавка воды в почву сверх этой величины не будет уже повышать влажность в этом слое h_1, а поступит в нижние слои. Под влиянием испарения влажность почвы начинает уменьшаться, изменяясь по определенным кривым (например, *3*).

Вода в почве по глубине после полива распределяется по некоторой кривой, и связь между количеством воды *m*, даваемым в почву сверху, и глубиной увлажненного им слоя *H* может быть выражена в следующем виде:

$$m = \delta A H^n,$$

где A — скважность данной почвы, определяемая опытным путем;

δ — разность между потенциальной влагоемкостью и наличной влажностью почвы в момент полива в процентах от объема полной скважности, т. е. $\delta = \beta_{max} - \beta_0\%$.

Величина показателя степени n зависит от свойств почвы и скорости подачи воды в почву; в ряде наблюдений он оказался равным от 1 до 1,2 — при мощности увлажняемого слоя H не больше 1 *м*.

Максимальный запас воды в слое почвы мощностью H *м*, отвечающий ее потенциальной влагоемкости, на площади в 1 *га* равен:

$$\frac{10\,000}{100} H^n \frac{\beta_{max} A}{100} = H^n \beta_{max} A \, м^3$$

Например, при $\beta_{max} = 80\%$ величина максимального запаса влаги в метровом слое почвы ($H = 1$ *м*) составляет для песчаных почв при $A = 30\% - 2400$ *м*^{3}/*га*; для суглинистых почв при $A = 50\% - 4000$ *м*^{3}/*га*.

Влажность почвы (весовая), отвечающая потенциальной влагоемкости почвы в слое H (после полива), равна:

$$r_{max} = \frac{\beta_{max} A H^n}{10\,000 H \alpha} 100 = \frac{\beta_{max} A H^{n-1}}{100\alpha},$$

где α — вес единицы объема данной почвы.

Применяя соответствующую технику полива и небольшую скорость подачи воды в почвы, желательно не доводить влажность почвы после полива в слое H до максимальной величины, отвечающей ее предельной влагоемкости, а давать такое количество воды за полив, чтобы оно не вызывало промачивания почвы глубже слоя H.

Минимальный допустимый запас влаги в слое почвы H при орошении определяется так, чтобы растения не страдали от недостатка влаги и от высокой, опасной для растений, концентрации почвенного раствора, что особенно важно при орошении засоленных почв, и чтобы питательные вещества находились в усвояемой растениями форме. Поэтому значение β_{min} зависит от состояния и фазы развития растений и от свойств почвы и регулируется продолжительностью времени между поливами.

Абсолютно минимальное содержание влаги в почве, до которого никогда нельзя доводить влажность почвы при орошении, определяется, как известно, *коэффициентом увядания* растений, который колеблется от полуторной до двойной гигроскопичности данной почвы, что соответствует влажности от 3 до 13—14% объема для разных почв.

Недоступная для растений влажность почвы (или «коэффициент увядания») зависит от свойств почвы, концентрации почвенного раствора и от вида и возраста растений. Вода может поступать в растение, если осмотическое давление почвенного раствора не будет превышать сосущей силы растений, т. е. осмотического давления их клеточного сока, уменьшенного на 3 *атм* (тургора клеток). Отсюда и определяется минимальная, недоступная для растений влажность почвы при разных условиях.

С уменьшением влажности почвы и повышением осмотического давления почвенного раствора растения должны увеличивать сосущую силу своих корневых волосков, чтобы поглощать воду из почвы. Поэтому по величине сосущей силы растений можно судить о степени влажности почвы и доступности ее для растений. Этот принцип успешно применен Л. Л. Голодковским (САНИИРИ) для определения в полевых условиях сроков полива хлопковых полей.

Эти работы показали, что при сосущей силе листьев хлопчатника не свыше 14 *атм* влажность почвы достаточна; повышение сосущей силы до 16—18 *атм* указывает на недостаточную влажность, а при сосущей силе листьев 18—20 *атм* хлопчатник требует полива. Потребность культур в поливе (при эксплуатации) можно установить также по определению концентрации клеточного сока растений в поле (М. Лобов, И. Елсуков).

Наименьшее (недоступное растениям) количество влаги в слое почвы H *м* может быть определено также следующим образом:

$$\beta_{min} A H^n \, м^3/га,$$

где $\beta_{min} = 20 - 25\%$ полной влагоемкости данной почвы.

На засоленных почвах минимальный запас влаги в слое H определяется допустимой для растений концентрацией почвенного раствора. Концентрация раствора при минимальной влажности не должна быть выше допустимой, зависящей от характера солей и растений (в пределах 0,05 — 0,5%, чаще 0,3%). Для этого влажность почвы не должна опускаться ниже величины

$$r = 100\frac{S}{\lambda}\ \%$$ к весу сухой почвы,

где S — весовой процент содержания воднорастворимых солей в активном слое почвы, легко переходящих в водную вытяжку;

λ — величина допустимой концентрации раствора солей в почве в весовых процентах.

Если данная почва содержит в среднем $S\%$ легкорастворимых в воде вредных солей, то вес солей на 1 *га* в слое почвы в H *м* будет равен $100\ Ha S$ *кг*.

Вес воды в означенном объеме почвы при влажности $r\%$ будет:

$$10\,000H\frac{ar}{100}\ кг/га.$$

Весовая концентрация раствора солей в почве:

$$\lambda = 100\frac{\text{вес солей}}{\text{вес влаги в почве}} = 100\frac{100HaS100}{10\,000Har} = 100\frac{S}{r},$$

откуда и получается приведенное выражение для r. Величина r должна быть не меньше физиологически доступной для растений влаги.

При минимальных запасах влаги растения страдают от недостатка воды или высокой концентрации почвенного раствора, поэтому минимальные запасы влаги в почве при орошении никогда не должны опускаться до критических величин. И наука и практика передовиков показывают, что для получения высоких урожаев минимальные запасы влаги на орошаемых землях не должны сильно отклоняться от запасов, определяющих наилучший режим почв при данных условиях. Эти запасы составляют обычно от 50 до 65 — 75% полной влагоемкости (скважности) почвы.

Соотношение между основными формами влаги в почве (по отношению к ее объему) зависит от характера почвы — размера почвенных частиц, коллоидных свойств и структуры почвы. Размер почвенных частиц обусловливает молекулярные силы почвы, так как от него зависит величина поверхности почвенных частиц, заключающихся в единице объема почвы; эта поверхность тем больше, чем меньше диаметр почвенных частиц. Если средний действующий диаметр почвенных частиц равен d_0 *мм*, то поверхность почвенных частиц, заключающихся в 1 *г* почвы, равна:

$$S = \frac{60}{gd_0}\ см^2,$$

где g — удельный вес частиц почвы.

Эта поверхность, обусловливающая размеры поверхностных молекулярных сил почвы, оказывает большое влияние на водные свойства почвы: гигроскопичность, влагоемкость, капиллярность, водопроницаемость. Это можно видеть из таблицы 10, где приведены данные, показывающие соотношение водных свойств разных почв (по механическому составу).

Из данных таблицы 10 видно, что чем больше поверхность почвенных частиц и скважность почвы, тем больше гигроскопичность, потенциальная влагоемкость и капиллярная скважность почвы, тем больше процент недоступной для растений влаги.

Указанные показатели связаны между собой рядом переходов для разных видов и состояний почв. Прочная мелкокомковатая структура почв, соединяя мелкие частицы в более крупные агрегаты, увеличивает количество крупных некапиллярных пор в почве и вследствие этого существенно изменяет водно-физические свойства почвы: понижает капиллярность, гигроскопичность суглинистых и глинистых почв, увеличивает влагоемкость более легких почв, поддерживает более прочно водный запас в почве при одновременной аэрации ее; таким образом, комковатая структура придает почвам наиболее благоприятные водно-физические свойства, уменьшая отрицательные свойства как тяжелых, так и легких почв. Соотношение между основными формами воды в почвах, разных

Таблица 10

Почва	Процент содержания частиц <0,01 мм	Поверхность почвенных частиц ($м^2$ в 1 г)	Скважность почвы A (в % объема)	Максимальная гигроскопичность почвы (в % от объема)	Капиллярная скважность почвы (в % от объема)	Потенциальная влагоемкость почвы (в % от объема)*	Максимальная молекулярная влагоемкость (в % от объема)
Песчаная	2—10	<0,20	30—40	1—3	12—18	12—20	4—8
Супесчаная . . .	10—25	0,20—0,50	40—45	3—5	18—23	20—30	8—12
Суглинистая . .	25—45	0,50—1,30	45—50	5—8	23—27	30—35	12—18
Глинистая	45—75	1,30—2,0	50—55	8—12	27—30	35—45	18—30
Тяжелая глина	75	>2,0	55—65	12—16	30—35	45—55	30—40

по механическому составу, схематично представлено на рисунке 8; для илистых почв все кривые идут еще дальше.

Содержание воды в почве в отношении водного, воздушного и пищевого режимов является наилучшим, когда заполнена вся гигроскопическая, пленочная и часть капил-

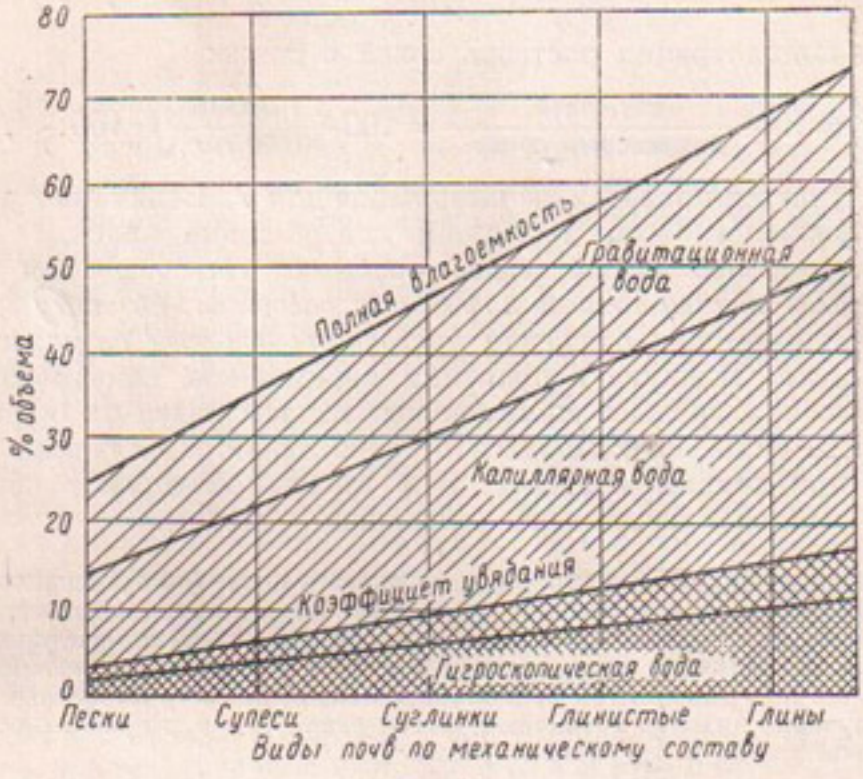


Рис. 8.

лярной влажности, а все некапиллярные и более крупные капиллярные промежутки почвы не заняты водой и в них циркулирует воздух. Это будет при содержании воды около 50—75% полной влагоемкости почвы, в зависимости от характера растений; этот процент для хлебных злаков имеет меньшее, а для технических культур, корнеплодов и трав — большее значение.

Таким образом, минимальный запас влаги в слое H нужно поддерживать близким к величине:

$$W = HA\beta_н \; м^3/га,$$

где $\beta_н = 50 - 75\%$.

Такое содержание влаги в почве обеспечивает необходимый водно-воздушный режим и лучшее протекание микробиологических процессов, обусловливающих усвояемую форму питательных веществ. В сочетании

* В слое почвы 0—50 *см*; при увеличении слоя от 50 до 100 *см* потенциальная влагоемкость уменьшается на 1—2% на каждые 10 *см* глубины. *Прим. автора.*

с агротехникой это дает необходимый комплекс всех факторов развития растений. Для получения высоких урожаев при орошении необходимо путем соответствующего режима поливов поддерживать в течение вегетационного периода каждой культуры такое содержание влаги в активном слое почвы, которое отвечает потребности растений в данную фазу развития, допуская отклонения от него в сторону максимума и минимума не больше определенных размеров.

Ориентировочные средние значения максимального, абсолютно минимального и эффективного запасов влаги в почве в $м^3/га$ (в числителе) и в процентах от веса сухой почвы в слое толщиной 1 $м$ (в знаменателе) для разных почв приведены в таблице 11 (при максимальном запасе 80% от полной скважности почвы).

Таблица 11

Запас воды	Объемный удельный вес a и скважность почвы A (в %)					
	a=1,80	1,70	1,55	1,43	1,30	1,17
	A=30	35	40	45	50	55
Максимальный, отвечающий предельной влагоемкости почвы	2400 / 13,3	2800 / 16,4	3200 / 20,6	3600 / 25,2	4000 / 30,7	4400 / 37,6
Обеспечивающий необходимый почвенный режим	1800 / 10,0	2100 / 12,3	2400 / 15,5	2700 / 18,9	3000 / 23,1	3300 / 28,2
Абсолютно минимальный, недоступный растениям	600 / 3,3	700 / 4,1	800 / 5,2	900 / 6,3	1000 / 7,7	1100 / 9,4

Глубина активного слоя почвы H, в котором нужно обеспечивать соответствующее содержание влаги, определяется в зависимости от ряда требований.

Глубина увлажнения почвы при орошении должна отвечать следующим условиям: 1) соответствовать развитию активной корневой системы растений в каждую фазу развития; 2) обеспечивать приведение в усвояемую для растений форму необходимого количества питательных веществ почвы; 3) не превышать размеров, при которых может начаться подъем грунтовых вод или вредных растворимых солей в верхние слои почвы, что особенно опасно при орошении земель с близкими грунтовыми водами или угрожаемых засолением почв; при допосевных поливах (влагозарядочные и запасные поливы, промывочные поливы на засоленных почвах, лиманное орошение) глубина увлажняемого слоя должна быть таковой, чтобы она позволяла создать достаточный запас влаги в почве для последующего использования растениями (и в ряде случаев может превышать нормальную глубину активного слоя), но не вызывала опасного подъема уровня грунтовых вод.

Опыты показывают, что при достаточном увлажнении почвы более полно используются растениями как питательные вещества нижних слоев почвы, так и вносимые в нее удобрения. Поэтому уже к началу вегетационного периода должно быть обеспечено необходимое увлажнение достаточного по глубине слоя почвы H. Это важно и потому, что в начале вегетации нужно обеспечить достаточный запас влаги в верхних слоях почвы, так как они быстро иссушаются под влиянием испарения почвы, и неразвитая в глубину корневая система молодых растений может остаться без воды. В результате понизится деятельность первичных зародышевых корней растений, что отрицательно скажется на урожае.

В зависимости от характера климатических и почвенных условий и свойств растений глубина увлажнения почвы H в начале вегетационного периода составляет от 0,3 $м$ (овощные культуры) до 0,5—0,7 $м$ (большинство полевых культур и трав).

При близком залегании от поверхности растворимых солей или засоленных грунтовых вод глубина увлажнения H должна быть меньше глубины

залегания солей или капиллярной каймы грунтовых вод, чтобы не происходило смыкания оросительных вод с горизонтами солей и грунтовых вод и подъема последних.

Таким образом, с самого начала вегетационного периода должна быть обеспечена достаточная влажность почвы в активном ее слое *H*. В одних климатических и почвенных условиях это достигается естественным путем или же путем соответствующих агротехнических мероприятий по накоплению в почве запасов влаги осенне-зимнего периода или весеннего таяния; в других случаях для необходимого начального увлажнения почвы приходится прибегать к осенним или весенним допосевным влагозарядочным поливам, необходимо только, чтобы глубина увлажнения при этих поливах не оказывала вредного влияния на подъем грунтовых вод и солевой режим почвы.

В результате на фоне достаточного общего запаса влаги в слое почвы H легче в течение вегетационного периода поддерживать потребную в каждую фазу развития растений влажность почвы в активном в эту фазу слое почвы. По мере развития растений мощность активного слоя возрастает, приближаясь к полной величине *H*; эта величина у различных культур достигается в следующие фазы и имеет такие размеры: хлопчатник — цветение 0,80—0,90 *м*, многолетние травы — отрастание после укоса 0,70—0,80 *м*, зерновые — трубкование 0,60—0,70 *м*, сахарная свекла — образование корнеплодов 0,60—0,70 *м*, овощные и картофель 0,40—0,50 *м*, сады и виноградники 0,80—1 *м*.

С глубиной увлажнения почвы *H* связана величина поливных норм и частота поливов. Чем меньше глубина увлажнения почвы *H*, тем меньше может быть поливная норма *m*, но тем быстрее иссушается увлажненный слой и чаще надо давать поливы. Комковатая структура орошаемой почвы, снижающая интенсивность испарения, позволяет дольше сохранять влагу в почве и иметь менее напряженный поливной режим. При неглубоком увлажнении почвы надо тщательно следить за своевременностью поливов и давать их малыми нормами, но достаточно часто, что увеличивает затраты труда на полив. При большей глубине увлажнения почвы *H* поливы могут даваться реже, что уменьшает затраты труда, однако требуются более высокие поливные нормы *m* и возникает опасность переувлажнения почвы и подъема грунтовых вод (при близком их залегании), что недопустимо.

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ (ПОЛИВОВ) ОТДЕЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Режим орошения (совокупность числа, сроков и норм поливов) должен обеспечивать в почве нужный для данной культуры водный режим при конкретных климатических и агротехнических условиях. Режим поливов каждой культуры орошаемого севооборота при данных агроклиматических условиях должен отвечать следующим требованиям:

1) соответствовать потребностям растений в воде в каждую фазу развития, обеспечивать получение высоких урожаев данной культуры при определенной агротехнике с внесением удобрений и необходимые сроки созревания;

2) осуществлять наиболее точно требуемое регулирование водного и связанных с ним питательного, солевого и теплового режимов почвы;

3) повышать плодородие орошаемых земель, не допуская эрозии, заболачивания и засоления почвы;

4) отвечать плановым заданиям, организации труда в хозяйстве и повышать производительность труда.

В соответствии с изменениями климатических, сельскохозяйственных и агротехнических условий поливной режим каждой культуры подвержен значительным колебаниям по годам и отдельным периодам года. При проектировании орошения важно знать возможные размеры этих колебаний. Поэтому до установления поливного режима каждой культуры нужно знать то общее количество воды, которое потребно этой культуре за весь вегетационный период ее, при определенной агротехнике и данных внешних при-

родных условиях, для создания требуемого урожая. Это количество воды может быть установлено на основании данных опытных учреждений и практики передовиков орошаемого земледелия для соответствующих районов; оно зависит от уровня агротехники, плодородия почвы и высоты урожая (при данных природных условиях).

Как уже ранее указывалось, общее количество потребляемой растениями воды может быть выражено так:

$$E = Y\varepsilon_y \ м^3/га,$$

где Y — требуемая урожайность данной культуры (в $ц$ с 1 $га$);

ε_y — коэффициент потребления воды (в $м^3$ воды на 1 $ц$ урожая) данной культурой, отвечающий определенным условиям среды развития растений — климатическим условиям, уровню плодородия почвы, агротехнике и урожайности — и получаемый на основе опытных данных.

Величина ε_y — потребление воды на единицу урожая при данных климатических условиях — уменьшается с повышением плодородия почвы, увеличением урожая с единицы площади; чем выше плодородие почвы, лучше условия питания растений, лучше агротехника, чем больше урожай и лучше структура почвы, тем меньше потребление воды на единицу урожая. Это вытекает из закона незаменимости факторов жизни растений.

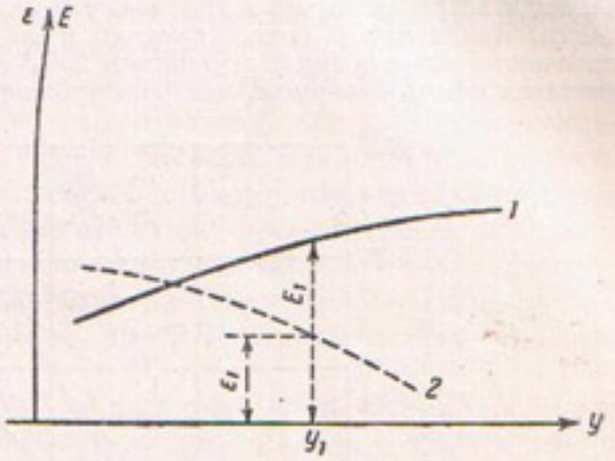


Рис. 9.

В силу сказанного, *общее потребление воды E за весь вегетационный период культуры на единицу площади при данных климатических условиях, равное произведению Y на ε_y, с повышением плодородия почвы и увеличением урожаев возрастает не пропорционально росту урожайности, а более замедленно* (рис. 9); после определенного уровня обеспеченности водой (например, E_1 при определенном уровне плодородия) дальнейший рост урожаев выше Y_1 может достигаться улучшением агротехники и дальнейшим повышением плодородия почвы и при близкой общей величине водопотребления.

Опыты показывают, что одно и то же общее водопотребление в условиях высокого плодородия почвы при хорошей агротехнике обеспечивает значительно более высокие урожаи, чем в условиях низкого плодородия почвы.

На рисунке 10 показана связь между общим водопотреблением орошаемой культуры (яровой пшеницы), уровнем плодородия почвы и урожайностью. При низком уровне плодородия почвы связь между урожайностью и общим потреблением воды выражается левой кривой *I*. При высоких уровнях плодородия почвы эта связь выражается правой кривой *III*. При этом видно, что с повышением плодородия почвы при одном и том же водопотреблении получаются более высокие урожаи. Чем выше уровень плодородия почвы, тем ниже значение коэффициентов водопотребления на единицу урожая (кривые ε_y); поэтому с повышением плодородия почвы и урожайности общее водопотребление увеличивается слабее роста урожая.

В таблице 12 дан пример увеличения использования воды растениями при повышении плодородия почвы и урожайности на Ак-Кавакской опытной станции по хлопчатнику (по данным СоюзНИХИ).

В таблице 12 показаны средняя оросительная норма и средний урожай хлопка-сырца на поливной площади хлопчатника на станции (около 36 $га$) с 1926 по 1940 г. Под

Таблица 12

Годы	Средний урожай хлопка (в ц с 1 га)	Средняя оросительная норма (в м³/га)	Коэффициент транспирации
1926	11,0	4400	1651
1928	14,9	5000	1278
1930	15,7	5360	1252
1932	15,3	5800	1404
1935	21,5	6160	947
1936	37,5	7200	736
1937	40,2	7280	723
1938	39,4	7920	694
1939	43,6	7560	602
1940	44,6	7290	620

влиянием введения хлопково-люцернового севооборота, внесения удобрений и улучшения агротехники урожаи повысились в 4 раза, общее же водопотребление на единицу площади возросло только в 1,5 раза, так как в 2,6 раза снизился коэффициент транспирации. Аналогичные данные имеются и по другим культурам. Они показывают, что количество потребляемой растениями воды с ростом урожайности увеличивается в значительно меньшей степени, чем рост урожая.

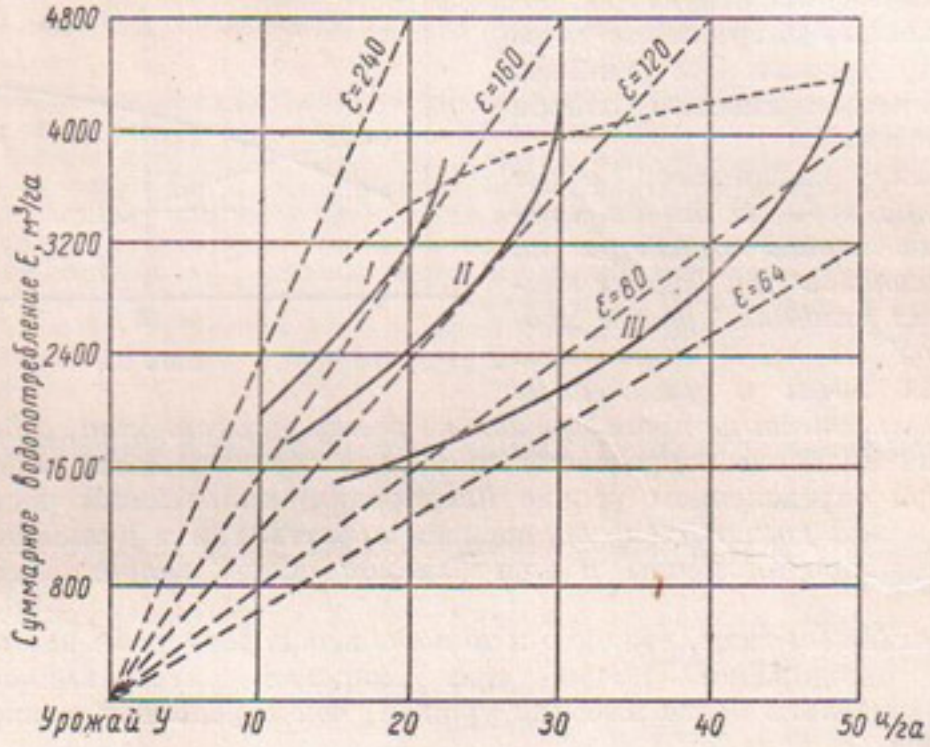


Рис. 10.

I — невысокий
II — средний
III — высокий
} уровень плодородия почвы.

Что касается испарения с поверхности почвы E_0, то при данных климатических условиях оно уменьшается с развитием растений, вследствие большего затенения почвы, с улучшением структуры почвы и агротехники. Соотношение между испарением почвы E_0 и транспирацией растений E колеблется от 0,2 до 0,5. Хорошей агротехникой и обеспечением комковатой структуры почвы надо всемерно снижать величину E_0, так как она повышает затраты оросительной воды M. Вследствие связи величины E_0 с развитием и уровнем урожайности растений иногда расходование воды орошаемой культурой (на транспирацию растений и испарение почвы), т. е. $E + E_0$, определяют суммарно, в зависимости от уровня урожая (при данных условиях), т. е. $E + E_0 = У\varepsilon_у$, где $\varepsilon_у$ — суммарный коэффициент расхода воды

на транспирацию и испарение почвы, величина которого на единицу урожая уменьшается с ростом урожайности культуры.

Для иллюстрации уменьшения коэффициента расхода воды ε_y (в $м^3$ на 1 $ц$ урожая) с ростом урожайности $У$ в таблице 13 приведены данные для среднезасушливого года по достижениям передовиков сельского хозяйства и опытных учреждений.

Таблица 13

Сельскохозяйственные культуры и районы	Урожай (в $ц$ с 1 $га$)				
	30	40	50	100	200
Хлопчатник (Средняя Азия)	180—150	140—120	110—90	70—55	—
Зерновые (Заволжье, Украина)	110—80	90—70	70—55	—	—
Многолетние травы (Средняя Азия)	—	—	100—90	70—60	50—40
Многолетние травы (Заволжье)	—	—	90—70	55—40	40—30

При высокой агротехнике и урожаях свыше 40 $ц$ с 1 $га$ приведенные значения коэффициента водопотребления снижаются на 15—25%.

После известного уровня водопотребления дальнейший рост урожаев достигается не увеличением количества оросительной воды, а повышением агротехники и плодородия почвы; получение высоких урожаев есть не только следствие, но и один из путей повышения плодородия почвы; *непрерывный рост урожаев* не связан с пропорциональным увеличением количеств оросительной воды, а требует одновременного и взаимоувязанного притока всех факторов, необходимых для развития растений (воды, питательных веществ, тепла и света), что достигается правильным сочетанием режима орошения и агротехники.

Путем орошения должны быть восполнены дефициты потребности растений в воде в засушливых районах, т. е. разница между водопотреблением растений и теми естественными ресурсами влаги, какими могут располагать растения в данном районе в течение их вегетации.

Поэтому количество воды M, которое должно быть дано определенной культуре за весь вегетационный период, или величина оросительной нормы ее, определяется следующим уравнением:

$$M = E - P_0 - \Delta W + E_0,$$

где E — общее водопотребление — транспирация культуры;
P_0 — количество осадков, поступающее в активный слой почвы в течение вегетационного периода;
E_0 — испарение с поверхности почвы за тот же период;
ΔW — используемые внутренние запасы влаги в почве за этот период.

$$\Delta W = W_0 - W + K,$$

где W_0 — запас влаги в активном слое в начале вегетационного периода;
W — запас влаги в этом слое в конце периода (эта величина не должна быть меньше минимально доступного растениям запаса влаги в данной почве);
K — количество капиллярной влаги, могущей поступать в активный слой почвы снизу от грунтовых вод при близком их залегании; величина K при глубине грунтовых вод менее 2,5 $м$ составляет 5 — 50% от $(E + E_0)$, в зависимости от глубины их, а при глубине более 2,5 $м$ — меньше 5%.

Вся величина оросительной нормы (M) должна размещаться в активном слое почвы данной культуры без потерь на просачивание в нижележащие слои. *Поэтому величину M на землях с близкими грунтовыми водами нужно уменьшать.*

Правильные севообороты на орошаемых землях и обеспечение высокой агротехники, повышая плодородие почвы, снижают коэффициент водопотребления растений ε и общее водопотребление E при одинаковой урожайности и, уменьшая капиллярность почвы, сокращают потери воды на испарение с поверхности почвы E_0. В результате этого величина оросительной нормы (при правильной технике полива) уменьшается.

Создание лесных защитных полос на орошаемых землях, повышая относительную влажность воздуха, умеряя скорость ветра, снижает водопотребление растений E и испарение почвы E_0 (на общую величину порядка 7—14%).

Из вышеприведенного выражения для M видно, что общее количество потребной оросительной воды на единицу площади, или оросительная норма M, сильно зависит от количества используемых запасов почвенной влаги ΔW: чем больше эта величина ΔW, тем меньше при прочих равных условиях может быть величина оросительной нормы M. Поэтому на орошаемых землях нужно стремиться максимально увеличивать внутренние запасы используемой почвенной влаги ΔW и, в частности, всемерно повышать исходный допосевной запас влаги в почве к началу вегетационного периода (не переходя допустимых размеров по условиям глубины грунтовых вод и сроков созревания). Для этого необходимо уменьшение коэффициента стока, проведение водозадержания, глубокая зяблевая вспашка и другие меры, повышающие усвоение почвой атмосферных осадков осенне-зимнего периода.

Влагозарядочные допосевные поливы. Если все указанные меры не могут при данных условиях обеспечить нужный начальный естественный запас влаги в почве W_0, то для его увеличения к началу вегетационного периода дают допосевной влагозарядочный полив. Такой полив позволяет: 1) обеспечить в очень засушливых районах в начале вегетационного периода влажность верхних слоев почвы, необходимую для прорастания семян и для обработки почвы, и 2) уменьшить дефициты влаги в вегетационный период за счет использования созданного влагозарядкой запаса влаги растениями в последующий период их развития и, следовательно, сократить число вегетационных поливов, что повлечет экономию затрат труда на поливы и в ряде районов лучшее использование водных ресурсов.

В тех случаях, когда дается влагозарядочный полив, режим орошения слагается из совокупности допосевного влагозарядочного и вегетационных поливов, а полная оросительная норма представляет сумму поливных норм влагозарядочного и вегетационных поливов. Так как и водопотребление растений и количество усвояемых атмосферных осадков изменяются как по отдельным районам, так и по годам, то величина оросительных норм каждой культуры также не остается постоянной. В степных и лесостепных районах периодической засушливости (центрально-черноземные области, Поволжье, Северный Кавказ, Украина) колебания оросительных норм (в связи с изменением естественных ресурсов влаги) могут быть весьма значительными. В этих районах в годы с достаточным количеством атмосферных осадков в вегетационный период, особенно для озимых зерновых культур, может быть достаточным только влагозарядочный полив без применения вегетационных поливов.

Влагозарядочный допосевной полив делается осенью — после уборки предшествующей культуры — или весной — до посева данной культуры (не ближе 5—6 дней до начала сева), в зависимости от характера культуры и климатических условий.

Почва при влагозарядочном поливе увлажняется на глубину 1—1,5 *м*, в зависимости от характера корневой системы растений, свойств почвы и глубины залегания грунтовых вод. Глубина влагозарядки почвы может быть тем больше, чем больше мощность почвенного слоя, чем больше глубина корневой системы данной культуры, чем больше капиллярность почвы и чем глубже залегают грунтовые воды. Количество воды, даваемое при влагозарядке, не должно повышать уровень грунтовых вод и вызывать потери воды ниже подлежащего увлажнению слоя, т. е. оно не должно превышать дефицита влажности этого слоя до потенциальной полевой влагоемкости. Поэтому норма влагозарядочного полива определяется следующим образом:

$$M_з = W_0 - W - (P_1 - E_1 + K_1),$$

где W_0 — потенциальная полевая влагоемкость увлажняемого слоя почвы при влагозарядке. Например, на черноземах юга Украины предельная величина W_0 в метровом слое почвы составляет от 3300 до 3900 *м³/га*, из которых доступны для растений от 1600 до 2100 *м³/га*; в 1,5-метровом слое предельный запас W_0 составляет от 4800 до 5600 *м³/га*, из них доступны для растений от 3100 до 3400 *м³/га*;

W — фактическое содержание влаги в этом слое в момент влагозарядки;

P_1 — количество атмосферных осадков, поступающее в почву, т. е. за вычетом стока за время T от момента влагозарядки до начала вегетационного периода;

E_1 — испарение влаги за то же время;

K_1 — капиллярное поступление влаги в почву от грунтовых вод при близком их залегании (ближе 2,5 — 3 *м* от поверхности) за время T.

Таким образом, при рассчитанной величине M_3 корнеобитаемый слой почвы к началу весенней вегетации будет увлажнен до предельной влагоемкости. При осенней влагозарядке время T включает соответствующее число дней осенне-зимне-весеннего периода от влагозарядки до начала весенней вегетации озимых или до посева яровых. При весенней влагозарядке время T включает соответствующее число дней только весеннего периода от влагозарядки до посева.

В зависимости от глубины и свойств почвы увлажняемого слоя (W_0), степени иссушения его в момент зарядки (W) и от естественного поступления влаги ($P_1 - E_1 + K_1$) в последующий период T, величина нормы влагозарядки обычно колеблется по годам и районам от 600—800 до 1200—1500 *м³/га*. При установлении нормы влагозарядки на каждый год M_3, особенно на землях с близкими грунтовыми водами, очень *важно не преувеличить этой нормы M_3 и не вызвать опасного подъема грунтовых вод.*

Влагозарядочный полив дается или после вспашки почвы, или же, если почвы тяжелые, а нормы влагозарядки небольшие,— перед вспашкой (после лущения стерни).

Так как влагозарядочные допосевные поливы даются на полях, не занятых культурой, производство их легче по сравнению с вегетационными и, кроме того, они позволяют сократить число вегетационных поливов; то и другое способствует уменьшению затрат труда на поливы, что имеет большое хозяйственное значение. Влагозарядочные поливы в наших степных районах для ряда культур (особенно озимых зерновых) в некоторые годы позволяют избежать вегетационных поливов и в последнее время широко рекомендуются для этих районов Т. Д. Лысенко, П. П. Мажаровым, И. А. Шаровым и другими специалистами.

Потребление воды растениями в течение вегетационного периода изменяется (по определенной кривой) в соответствии с фазами их развития; сообразно с этим распределяется во времени и общее количество даваемой воды в период вегетации.

Поэтому оросительная норма вегетационного периода распределяется в течение его отдельными поливными нормами m, т. е. $M = \Sigma m$, где поливная норма m есть количество воды, даваемое в почву, занятую данной культурой, на 1 *га* за один полив. При каждом поливе нужно дать в почву количество воды, равное разности между нужным для растений и наличным запасом воды в подлежащем увлажнению слое почвы в данный момент.

Количество воды, которое можно дать за один вегетационный полив, вместе с наличным запасом воды в почве перед поливом не должно превышать после полива потенциальной влагоемкости увлажняемого слоя данной почвы, так как иначе весь избыток воды сверх влагоемкости этого слоя почвы уйдет в нижележащие слои.

Если запас воды, создаваемый при поливе и отвечающий потенциальной влагоемкости слоя H_1, обозначим через W_1, наличный же запас воды перед таким поливом — W_0, то необходимое за первый полив количество воды на единицу площади, или поливная норма m_1, должно быть:

$$m_1 \leqslant W_1 - W_0.$$

Запас воды в слое почвы H_1 после полива, равный W_1 $м^3/га$, сейчас же начнет расходоваться на испарение и транспирацию. Если суточный расход влаги на транспирацию и испарение почвы с 1 $га$ данной культуры в этот период равен ε_1 $м^3/сут$, то через τ суток после первого полива запас влаги в почве будет (рис. 11):

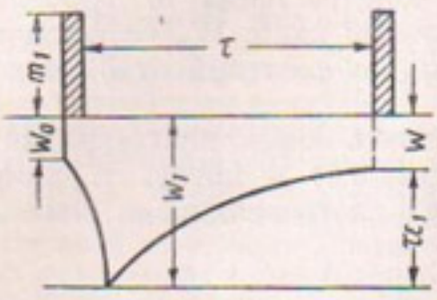


Рис. 11.

$$W = W_1 - \tau\varepsilon_1.$$

Этот запас влаги W должен быть не меньше минимально допустимого содержания влаги в активном слое почвы, т. е. $W \geqslant W_{min}$.

Минимальный потребный запас воды в почве W перед вторым поливом можно определить некоторым процентом допустимого отклонения $\delta\%$ от нужного содержания воды $W_н$ в почве, т. е.:

$$W = W_{min} = W_н\left(1 - \frac{\delta}{100}\right) = H_2^n A\beta_н\left(1 - \frac{\delta}{100}\right) м^3/га,$$

где H_2 — активный слой почвы в фазу развития культуры перед вторым поливом;

A — полная влагоемкость данной почвы;

$\beta_н$ — 50 — 75%.

При этом условии поливная норма второго полива должна быть равна:

$$m_2 = W_{max} - W_{min} = AH_2^n\left[\beta_{max} - \beta_н\left(1 - \frac{\delta}{100}\right)\right] = AH_2^n(\beta_{max} - \beta_0),$$

где β_0 — допустимая влажность почвы перед поливом.

Для вегетационного полива величина поливной нормы в общем виде выражается:

$$m = AH^n\left[\beta_{max} - \beta_н\left(1 - \frac{\delta}{100}\right)\right],$$

где H — глубина активного слоя, отвечающего фазе развития растений в период этого полива, в $м$;

A — полная влагоемкость данной почвы, в %;

β_{max} и $\beta_н$ — выражены в объемных процентах от полной влагоемкости;

$\tau\varepsilon$ — потребление влаги растениями и испарение почвой за межполивной период τ в рассматриваемую фазу развития культуры.

Иначе величину поливной нормы в общем виде можно написать так (при $n = 1{,}0$):

$$m = AH(\beta_{max} - \beta_0).$$

На структурных мелкокомковатых почвах величина ε при прочих одинаковых условиях меньше и, следовательно, при надлежащей технике полива меньше может быть величина m — при одинаковом τ, или больше τ — при одинаковой величине m.

Таким образом, величина поливной нормы зависит от потребления воды растениями в данную фазу развития ε и, следовательно, состояния агротехники и плодородия почвы; от свойств орошаемой почвы — ее влагоемкости и структуры; от нужной глубины увлажнения почвы в данную фазу H; от характера культуры, определяющей допустимую величину $\beta_н$, и, наконец, от точности регулирования водного режима и техники полива.

Величина поливной нормы, при прочих одинаковых условиях, тем больше, чем больше энергия водопотребления растений в данную фазу развития, чем больше глубина увлажнения и влагоемкость почвы (для глинистых почв m может быть больше, чем для песчаных), чем меньше точность регулирования водного режима и хуже техника полива.

Так как величина $\beta_н$, по предыдущему, для технических культур и трав больше, чем для хлебных злаков, то поливы первых культур приходится делать чаще, чем вторых, при прочих одинаковых условиях.

Что касается значения β_{max}, то путем подачи воды в почву с небольшой скоростью (например, дождевание с малой интенсивностью дождя, бороздные поливы небольшой струей) можно получать величину β_{max} меньше предельной влагоемкости почвы (на 25—40%) и таким образом достигать нужной глубины увлажнения H при меньшей величине m. Поэтому величина поливной нормы должна быть увязана также с техникой полива.

Чем меньше значение δ, тем точнее регулируется водный режим почвы, поэтому величину δ следует принимать не больше 10—15%, что подтверждает опыт. Отсюда величина поливной нормы, в зависимости от потенциальной влагоемкости почвы, техники полива (значение β_{max}) и от точности регулирования водного режима почвы, колеблется от $m = 10H^n A$ до $m = 20\ H^n A$ *м*³/*га*, где A выражено в процентах, а H — в метрах; обычно m равно от 500 до 800 *м*³/*га*.

Показатель степени n указывает, что между величиной поливной нормы и глубиной промачивания почвы после полива в общем случае нет прямой пропорциональности. Величина его зависит от свойств почвы и техники полива. При $H \leqslant 1$ *м* значение n составляет от 1 до 1,2.

Установленная выше величина поливной нормы определена так, чтобы не превышать дефицита потенциальной влагоемкости активного слоя почвы H, чтобы после полива вода не уходила в нижележащие слои почвы и в грунтовые воды, что влечет двоякий вред— потерю оросительной воды и подъем грунтовых вод на орошаемой площади.

Приведенные значения поливной нормы относятся к землям с глубиной залегания грунтовых вод $H_1 > H + H_0$, где H — мощность активного слоя почвы, а H_0 — высота капиллярного поднятия воды в данном грунте, составляющая на лессовых почвах 2,5—3 *м*. На землях с близкими грунтовыми водами, когда $H_1 < H + H_0$, величина поливных норм должна снижаться, так как при этих условиях: 1) меньше дефицит влаги в активном слое почвы H вследствие поступления в него капиллярной влаги от грунтовых вод и 2) особо легко могут повышаться грунтовые воды при всяком превышении влажности почвы слоя H над его предельной влагоемкостью — путем капиллярного сброса. Снижение величины поливных норм при близких грунтовых водах может быть сделано путем умножения величины m на коэффициент $\left(\frac{H_1}{H + H_0}\right)^{\alpha} < 1{,}0$, где $\alpha = 0{,}4—0{,}6$.

По данным СоюзНИХИ, при близком залегании грунтовых вод водопотребление хлопчатника снижается следующим образом.

Глубина грунтовых вод (в *м*)	> 3	2—3	1,5—2,0	1,0—1,5	0,5—1,0
Снижение водопотребления (в %)	0	15	26—35	35—45	45—60

Чем точнее регулируется водный режим почвы, т. е. чем чаще делаются поливы, но меньшими нормами, тем благоприятнее условия развития растений, меньше потери воды на просачивание в глубокие слои почвы (и в грунтовые воды) и, следовательно, меньше опасность заболачивания и засоления земель при орошении. Однако при очень малых поливных нормах и большом числе поливов может возрастать процент потерь воды на испарение из почвы, нужна сложная техника полива (при поверхностных способах орошения), большие затраты труда и может запаздывать созревание культур.

Связь между величиной поливных норм и частотой поливов или длительностью межполивных периодов определяется из следующего условия (рис. 11):

$$m = \tau\varepsilon = W_1 - W,$$

где ε — среднесуточное расходование влаги на испарение с почвы и транспирацию за период τ, отвечающее определенной фазе развития культуры;

Величина ε в течение вегетационного периода растений изменяется по фазам их развития и определяется на основе опытных данных для каждой культуры при конкретных природных условиях, агротехнике и урожайности. Поэтому распределение воды (т. е. сроки и число поливов) должно быть согласовано с фазами развития растений; например, излишние поливы хлопчатника в фазу до бутонизации могут задержать созревание и раскрытие коробочек хлопка. Характер кривых водопотребления культур показан на рисунке 4.

Если между двумя поливами выпадают осадки P в усвояемой почвой форме, то длина межполивного периода увеличивается, становясь равной:

$$\tau = \frac{m + \mu P}{\varepsilon},$$

где коэффициент μ равен единице минус коэффициент стока.

Длина межполивного периода τ увеличивается и в том случае, когда в межполивной период используется вода из запасов почвы или из грунтовых вод.

Длина межполивных периодов зависит от солевого режима орошаемых почв. При орошении земель с более или менее повышенным содержанием солей необходимо поддерживать в почве допустимую концентрацию почвенных растворов. По этим условиям минимальный запас влаги в активном слое почвы H в конце межполивного периода не должен опускаться ниже величины: $10^4 H a \frac{S}{\lambda}$ *м³/га*.

Поэтому длина межполивного периода для поддержания допустимой концентрации почвенного раствора должна быть:

$$\tau \leqslant 100 \frac{Ha}{\varepsilon}\left(r_{max} - 100\frac{S}{\lambda}\right) + \frac{10 P_0}{\varepsilon},$$

где a — вес единицы объема почвы в слое H;

ε — среднесуточный за время τ расход воды на транспирацию растений и испарение почвы, в *м³/га*;

r_{max} — весовой процент влажности почвы после полива, соответствующий потенциальной влагоемкости слоя H;

S — процентное содержание солей в слое H в конце межполивного периода;

λ — допустимая концентрация почвенного раствора в весовых процентах; она составляет от 0,05 до 0,5%, в зависимости от характера солей, вида растений и климатических условий;

P_0 — усвояемое почвой количество осадков за время τ, в *мм*.

Поэтому на засоленных почвах нужно поддерживать комковатую структуру почвы и производить рыхление, чтобы уменьшить ε.

Величина ε суточного расходования влаги на транспирацию растений и испарение почвы зависит от следующих факторов:

1) климатических условий орошаемой местности, влажности воздуха, солнечной радиации, температуры;

2) культуры, фазы ее развития, состояния культуры, плодородия почвы и уровня агротехники;

3) свойств и состояния почвы; на структурной комковатой почве при хорошей и глубокой обработке, рыхлении междурядий после поливов величина ε значительно меньше (за счет снижения испарения почвы); поэтому комковатая структура орошаемых почв и рыхление почвы после поливов имеет исключительно важное значение.

Например, средняя величина ε (в *м³/га* в сутки) для хлопчатника в Средней Азии, по данным СоюзНИХИ, в течение вегетационного периода изменяется по фазам развития следующим образом (рис. 12): до цветения 30—40 *м³/га*, в фазу цветения и плодообразования 85—95, в фазу созревания 45—60 *м³/га*, в зависимости от климатических условий и агротехники; с повышением агротехники величина ε, при прочих равных условиях, снижается.

Общее водопотребление хлопчатника (E), по данным СоюзНИХИ, по фазам развития его распределяется таким образом: до цветения 10—15%, в фазу цветения 60—70 и в фазу созревания 15—20%; на испарение же почвы за соответствующую фазу приходится: в первую фазу 60—65%, во вторую фазу 25—30 и в третью фазу около 20—25% от общего водопотребления за данную фазу; всего на испарение почвы падает 30—35% от суммарного водопотребления за весь вегетационный период.

Испарение с почвы идет тем энергичнее, чем больше в ней содержится воды; наиболее велико оно в первые дни после полива, поэтому нельзя запаздывать с рыхлением.

Все факторы, уменьшающие величины суточного расходования влаги, позволяют, при прочих одинаковых условиях, сокращать величину поливных норм или удлинять межполивной период и снижают общее расходование воды на орошение.

При установлении режима поливов культуры, кроме указанных факторов, приходится учитывать также характер режима водоисточника.

Длина оросительного периода, в течение которого нужно поддерживать требуемый режим влаги в почве, тем больше, чем длиннее вегетационный период данной культуры и чем меньше выпадает осадков в начальные и конечные месяцы этого периода в данной местности.

При проектировании орошения для установления поливного режима каждой культуры необходимо проанализировать его: 1) для самых засушливых и среднезасушливых лет в данной местности, 2) для средних лет и 3) для средневлажных лет.

При выборе расчетного режима необходимо знать степень повторяемости разных лет в данной местности. При этом важно знать не только количество и распределение осадков в течение вегетационного периода, но и установить для разных лет те запасы влаги в почве, какие остаются в ней к началу вегетационного периода от предшествующего осенне-зимнего периода. Такой анализ имеет особенно важное значение для районов периодической засушливости.

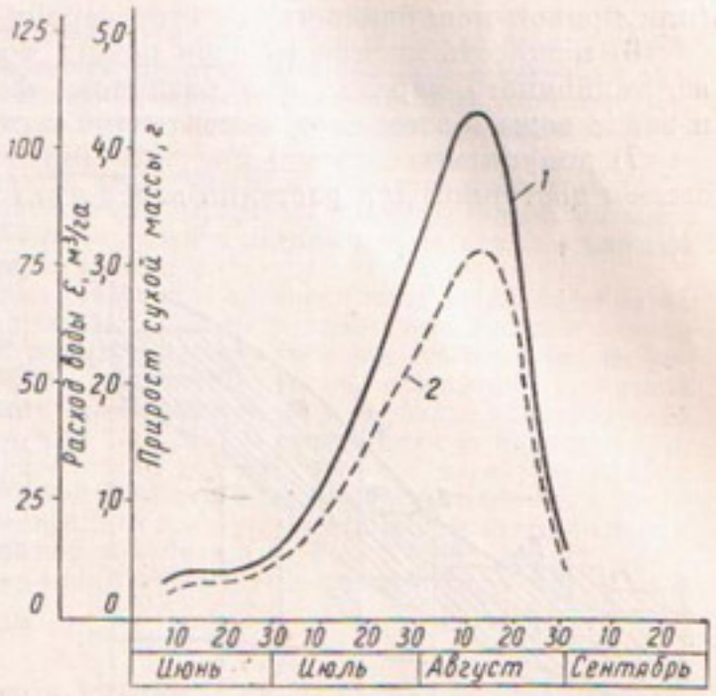


Рис. 12.

1 — расход воды, в м³/га; *2* — прирост сухой массы, в г.

В качестве расчетного должен быть принят режим поливов, обеспечивающий получение с орошаемой площади высоких и устойчивых урожаев, высокой производительности труда и эффективное использование водных и земельных ресурсов.

Установление режима поливов сельскохозяйственных культур. Поливной режим какой-либо культуры, т. е. величину поливных норм, число и распределение поливов по фазам развития и срокам при определенных природных и агротехнических условиях и уровне урожайности, можно установить на основе данных опытных учреждений или обобщения опыта передовиков орошаемого земледелия для данной местности.

Однако нередко, особенно при проектировании орошения в новых районах, непосредственные опытные данные по режиму орошения отсутствуют или недостаточны. В этих случаях поливной режим каждой культуры севооборота устанавливают аналитическим путем с максимальным учетом опытных данных. Полученный таким путем поливной режим нужно корректировать данными передовой практики в аналогичных условиях.

Для разработки поливного режима необходимо на основании предварительно собранных материалов установить и проанализировать следующие данные:

1) общую потребность культуры в воде при данной агротехнике для создания требуемого урожая (т. е. $E = Y\varepsilon_y$) и ее изменения в течение вегетационного периода;

2) испарение влаги почвой E_0 и его изменения во времени;

3) естественные запасы влаги в активном слое почвы H к началу вегетационного периода данной культуры и возможности повышения их как путем использования атмосферных осадков и весеннего стока, так и применения допосевной влагозарядки почвы (осенней или весенней) в разные по засушливости годы;

4) количество и распределение поступающих в почву атмосферных осадков в течение года и вегетационного периода и их изменение по годам и размеры возможного накопления в почве осенних и зимних осадков на орошаемых землях;

5) динамику изменений суточного потребления влаги данной культурой по фазам развития ее при определенной агротехнике и урожайности; при отсутствии непосредственных опытных данных это может быть сделано аналитическим путем — разложением по длине вегетационного периода данной культуры общего водопотребления данной культуры E, отвечающего требуемой урожайности, пропорционально ординатам кривой потребления воды (или кривой испаряемости) за этот период по фазам развития;

6) мощность активного слоя почвы, требующего увлажнения к началу вегетационного периода и в различные фазы развития данной культуры, и запас воды в этом слое, отвечающий потенциальной влагоемкости почвы;

7) допустимые нижние пределы, ниже которых не должны опускаться запасы доступной для растений влаги в активном слое почвы в течение вегетационного периода в разные фазы развития растений.

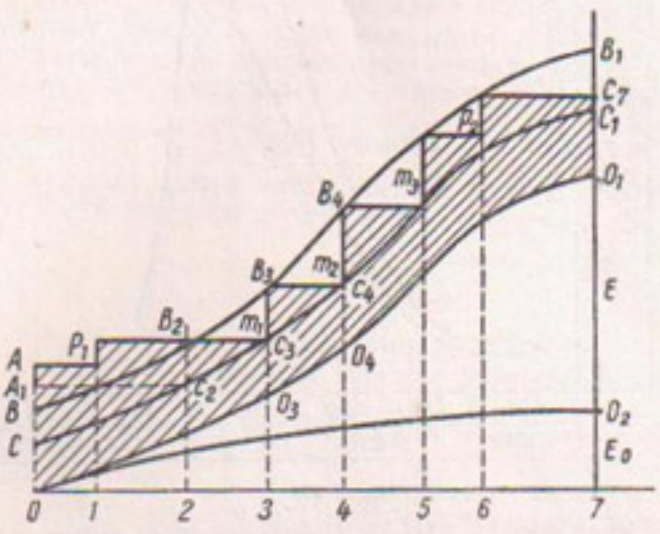


Рис. 13.

Если нужное содержание влаги в активном слое H к началу вегетационного периода не обеспечивается естественными ресурсами, то, как сказано выше, оно создается путем соответствующего влагозарядочного допосевного полива, время дачи которого зависит от местных природных и агротехнических условий.

На базе достаточного исходного запаса влаги в почве к началу вегетационного периода, созданного путем накопления естественной влаги и, если нужно, дополнительной влагозарядки, дальше требуемый водный режим почвы поддерживается путем вегетационных поливов на основе знания динамики водного режима. Весенний предпосевной полив делается в том случае, если в почве не имеется достаточного количества влаги, нужного для прорастания семян или успешной обработки почвы.

Динамику водного режима учитывают путем суммирования значений приходных и расходных элементов баланса влаги в активном слое почвы в последовательные моменты времени по отдельным фазам развития культуры. Это суммирование можно вести аналитически или графически путем построения интегральных кривых прихода и расхода влаги (рис. 13). Увеличение увлажненного слоя почвы H к началу вегетационного периода позволяет сдвинуть вправо сроки последующих вегетационных поливов.

* Положим, что запас влаги в активном слое почвы H, созданный в результате накоплений естественных ресурсов или путем влагозарядки, составляет к началу вегетационного периода величину, измеряемую ординатой OA. Суммарное расходование воды на испарение почвы и транспирацию растений в течение вегетационного периода данной культуры (O—7) характеризуется интегральной кривой O—O_1, общая конечная ордината которой (7—O_1) определяет суммарный расход воды на транспирацию растений и испарение почвы ($E+E_0$) за вегетационный период этой культуры. Расход воды только на испарение почвы (E_0) за вегетационный период измеряется ординатой (7—O_2), а ход его характеризуется интегральной кривой OO_2. Построение интегральных кривых OO_1 и OO_2 делается (при отсутствии непосредственных полевых данных) на основе знания величины E и E_0 и раскладки их в соответствии с суммарной кривой водопотребления — данной культуры или испаряемости (за период O—7). Если мощность корнеобитаемого слоя почвы в течение вегетационного периода изменяется от H_0 в начале до H в конце его, то максимальный запас влаги в этом слое, отвечающий его потенциальной влагоемкости, измеряется ординатами OB — в начале и O_1B_1 — в конце вегетационного периода, а мини-

мальный запас влаги в этом слое соответствует ординатам OC — в начале и O_1C_1 — в конце вегетационного периода. Созданный к началу вегетации в слое почвы $H > H_0$ запас влаги $OA > OB$ и пополнившийся в момент (*1*) за счет поглощения атмосферных осадков P_1, будет в течение периода *О—3* расходоваться на испарение и транспирацию, причем за это время израсходуется запас воды, измеряемый ординатой ($3—O_3$); в момент (*3*) запас влаги в корнеобитаемом слое почвы достигнет минимально допустимой величины O_3C_3, определяемой пересечением линий остающегося запаса воды с линией минимально допустимого запаса CC_1. В это время нужно давать полив и такой величины $m_1 = B_3C_3$, чтобы запас влаги в корнеобитаемом слое почвы в этот момент не превышал максимально допустимого запаса влаги в этом слое (O_3B_3), т. е. его потенциальной влагоемкости (определяемой пересечением линии запаса с кривой BB_1, чтобы не было потерь воды ниже активного слоя почвы и задержки созревания. Запас влаги O_3B_3 в течение времени (*3—4*) будет расходоваться на испарение и транспирацию и в момент (*4*) достигнет минимально допустимой в это время величины O_4C_4, вследствие чего в этот момент нужно давать второй полив нормой $m_2 = B_4C_4$, измеряемой ординатой B_4C_4, чтобы запас воды в активном слое почвы после полива O_4B_4 не превысил потенциальной влагоемкости этого слоя и не создал потерь воды в нижележащие слои; аналогичным путем могут быть определены сроки и нормы последующих поливов. В конце вегетационного периода в момент (*7*) в активном слое почвы в нашем примере останется запас влаги, измеряемый ординатой O_1C_7, немного превышающий минимальный запас O_1C_1. Ординаты заштрихованной площади на рисунке 13 показывают изменения запасов влаги в активном слое почвы в каждый момент времени в течение вегетационного периода.

Если к началу вегетационного периода весной в активном слое почвы будет запас влаги $OA_1 < OA$, то для поддержания нужного водного режима, при котором запасы влаги не опускаются ниже допустимых величин, необходимо, как это показано на рисунке 13 пунктиром, дать еще один полив в момент (*2*) нормой, измеряемой ординатой (C_2B_2), т. е. вместо трех дать четыре полива. На рисунке 13 дан только схематический пример методики установления сроков и норм поливов. В зависимости от вида культур, метеорологических, почвенных и агротехнических условий, т. е. от характера кривых OO_1, BB_1, CC_1 и создаваемого начального запаса влаги в почве, будут изменяться число и сроки вегетационных поливов. В зависимости от этих условий и длины вегетационного периода число вегетационных поливов может изменяться от 1 до 8. Для озимых зерновых при достаточной влагозарядке и наличии летних осадков вегетационные поливы могут не потребоваться вовсе.

Так как режим водопотребления связан с фазами развития растений, имеет свои критические периоды и зависит от агротехнических и природных условий, при изложенном методе нужно использовать все материалы опытных станций и передовиков орошаемого земледелия, работающих в аналогичных условиях, касающиеся водопотребления, сроков отдельных фаз развития растений, схем полива каждой культуры, обеспечивающих получение наиболее высоких урожаев при разных условиях.

При установлении режима поливов нужно также определить *длину поливных периодов t, т. е. те агротехнически допустимые сроки*, в течение которых в хозяйстве или системе может производиться каждый полив данной культуры. *Эта величина должна быть увязана с плановым заданием поливных площадей и с организацией труда в хозяйстве.* Увеличение t допускает менее форсированную работу оросительных каналов и уменьшает напряжение трудовых затрат в хозяйстве, но может ухудшать агротехнические условия; сжатые сроки посева культур также не позволяют растягивать время t. Сокращение t позволяет дать поливы в лучшие агротехнические сроки, но создает большее напряжение труда и требует увеличения расходов воды в каналах. Поэтому величину t надо увязывать с агротехническими условиями, с наличием рабочей силы, организацией труда в хозяйстве и размерами хозяйства.

Длина поливных периодов колеблется от 3 до 12—15 и более дней, в зависимости от сельскохозяйственных и климатических условий.

Режим поливов связан также со способами орошения. Например, при дождевании легче увеличить число поливов, чем при самотечном орошении и т. д.

Режим поливов каждой культуры севооборота при эксплуатации определяется в соответствии с конкретными агротехническими и климатическими условиями данного года; при проектировании режим орошения должен устанавливаться для годов разной засушливости, в основу проектирования оро-

шения кладутся режимы поливов, отвечающие годам определенной расчетной степени засушливости, например среднезасушливого года[1].

Ниже приведены некоторые ориентировочные сведения о режиме поливов главнейших орошаемых культур.

Так, при орошении хлопчатника общее число поливов в районах Средней Азии и Закавказья в среднем колеблется от 3—4 до 8—9, в зависимости от климатических условий, свойств почвы и агротехники в данном совхозе или колхозе. На землях с близкими грунтовыми водами число поливов уменьшается и, наоборот, на землях с глубокими грунтовыми водами или проницаемыми почвами оно увеличивается. Рыхление и междурядная обработка хлопка позволяют сокращать число вегетационных поливов. До цветения обычно дается 1—2 полива, в период цветения — от трех до шести поливов и, наконец, в период созревания коробочек —1—2 полива. Увеличение поливов до бутонизации может задержать созревание и раскрытие коробочек.

В районах с глубокими грунтовыми водами при сильном иссушении почвы с осени или при малом количестве осадков весной даются осенние запасные или весенние (на более легких почвах) предпосевные поливы, повышающие влажность почвы для возможности правильной обработки ее или для получения хороших всходов. Норма этих поливов определяется на основе вышеуказанных соображений для влагозарядочных поливов. На землях с близкими грунтовыми водами эти поливы не даются.

На водопроницаемых почвах, при посевах хлопка по пласту трав и при близких грунтовых водах, СоюзНИХИ рекомендует первые 1—2 вегетационных полива хлопчатника давать через одно междурядье, когда каждый ряд увлажняется только с одной стороны; этот способ позволяет сократить поливную норму на 30—35%.

При орошении люцерны применяются чаще такие схемы поливов: а) на легких, сильно проницаемых почвах и в районах, обеспеченных водой, дается три полива за каждый укос: в фазе отрастания, начала бутонизации, начала цветения; б) на среднепроницаемых почвах и в районах, недостаточно обеспеченных водой,— по два полива за укос: в фазы отрастания и бутонизации; в) для бедных водой районов и во влажные годы дается один полив за каждый укос — в период бутонизации.

Для зерновых хлебов очень важно обеспечение растений нужной им влагой с начала развития и затем в фазы кущения, колошения и формирования зерна. Поэтому для зерновых хлебов необходимо давать влагозарядочный допосевной полив, который чаще делается с осени. Для озимых хлебов во многих степных и лесостепных районах один осенний влагозарядочный полив, позволяющий создать увлажнение почвы на глубину 1—1,5 *м*, оказывается достаточным, чтобы обеспечить в средневлажные годы растения влагой и в последующий весенний и летний периоды без дополнительных вегетационных поливов. Для яровых зерновых культур, кроме осеннего влагозарядочного полива, в большинстве случаев требуется еще 1—2 вегетационных полива, в зависимости от засушливости года. Поздние поливы зерновых (в конце налива и в фазу созревания) могут вызывать полегание.

Овощные культуры поливают обычно от четырех до двенадцати раз и более, но небольшими нормами. Особенно напряженными являются поливы после посадки овощей, когда приходится давать 2—3 полива через короткие промежутки времени (до 2—3 дней). В первые фазы развития поливы делаются реже, а в период созревания — чаще.

Картофель, кормовая свекла получают обычно 2—4 полива — на более или менее тяжелых почвах и от 4 до 6 поливов — на легких проницаемых почвах. На сухих почвах нужен полив перед посадкой. В течение первых периодов развития растений особенно важно рыхление почвы[2].

Кукуруза при орошении в период вегетации с апреля по август получает от 3—4 до 5—7 поливов, в зависимости от метеорологических и почвенных условий.

В зависимости от климатических, почвенных и агротехнических условий величины оросительных норм (нетто) по разным районам и годам колеблются в таких размерах (в среднем): пшеница 600—2000 *м*³/*га*, хлопчатник 3000—6000, люцерна 2000—6000, сады 1000—4000, пропашные 1600—3500, кукуруза 2000—5000 *м*³/*га*. В зависимости от местных условий и способа полива могут быть отклонения в обе стороны от этих цифр.

Опыт показывает, что для получения высоких урожаев необходимо: 1) давать поливы в соответствии с фазами развития, состоянием растений и климатическими условиями каждого года и небольшими нормами; 2) со-

---

[1] Данные об определении общего водопотребления при орошении, принимаемые в США, см. в Transactions American Society of Civil Engineers, vol. 117, 1952, pp. 948—1023 и отдельно—Paper № 2524, Consumptive of water, где указана и литература. *Прим. автора.*

[2] Данные о режиме полива главнейших культур приводятся в книге проф. С. К. Кондрашева «Орошаемое земледелие», Сельхозгиз, М., 1948, а также в трудах опытных учреждений орошаемых районов СССР. *Прим. автора.*

четать поливы с поддержанием комковатой структуры орошаемой почвы и бороться с образованием корки путем соответствующей техники полива, обработки почвы, нужных рыхлений и пр.; 3) сочетать поливы с хорошей агротехникой: правильный севооборот, внесение минеральных и органических удобрений (подкормки), посев сортовыми семенами в нужные сроки и надлежащей густоты, борьба с сорняками и т. д.; 4) не затягивать поливами сроков плодообразования и созревания. При соблюдении этих условий передовики орошаемого земледелия получают высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Режим орошения риса. В большинстве районов рисосеяния рис орошают путем непрерывного (или длительного) затопления орошаемой поверхности определенным слоем воды (меняющимся по фазам развития растений), хотя многие сорта риса допускают и периодическое орошение. Рис орошают непрерывным затоплением, главным образом в целях борьбы с сорняками и для поддержания более равномерного теплового режима на рисовых полях, так как затопление уменьшает амплитуду суточных температур почвы, понижая максимальную дневную и повышая минимальную ночную температуры почвы.

Режим непрерывного орошения риса слагается из двух основных стадий: 1) создания на поверхности необходимого слоя воды и 2) поддержания этого слоя путем восполнения текущего расходования воды почвой и растениями.

Необходимый расход воды, подаваемой в первую стадию, определяется в зависимости от размеров создаваемого слоя воды и времени, в течение которого это должно быть сделано. Расход же во вторую стадию определяется величиной потребления воды растениями и фильтрацией в почву в течение оросительного периода. Эта величина в каждый момент времени слагается из суммы расходов воды на транспирацию растений, испарение почвы и водной поверхности, просачивание воды в нижележащие слои почвы.

Рис сеют в незатопленную почву и в период от посева до появления полных всходов для увлажнения почвы дают 2—3 полива. Затем после появления полных всходов риса чеки затопляются водой на глубину 10—12 *см*; если поля не засорены, затопление делается постепенно, по мере роста риса; если же поле сильно засорено, оно должно быть затоплено слоем в 10—12 *см* в течение 1—2 суток, и затем с ростом сорняков слой воды повышается (до 25 *см*), чтобы заглушить их рост.

Как только сорняки погибают, слой затопления снижается; к началу кущения риса он должен быть около 5 *см* и поддерживаться на этом уровне в течение периода кущения; затем слой воды повышается до 12—15 *см* и поддерживается таким до конца молочной спелости, после чего подача воды прекращается; к стадии восковой спелости вся вода из чеков должна быть спущена для просыхания почвы.

Иногда рис сеют в предварительно затопленную почву. Тогда от посева до всходов риса поддерживается слой воды в 5—10 *см*, а на засоренных полях — до 15—20 *см*. К периоду кущения риса слой воды снижается до 5 *см*, а затем повышается опять до 10—12 *см* и поддерживается таковым до конца молочной спелости, как и в первом случае.

Кроме поддержания слоя воды, на сильно засоленных почвах осуществляют и непрерывный сброс части воды (проточность) для регулирования солевого режима, однако проточность сильно увеличивает расход воды на орошение риса.

При непрерывном орошении риса, меняя слой воды, можно регулировать нужный для риса водный, солевой и тепловой режимы почвы.

При затоплении риса вода идет на постепенное накопление требуемого слоя h и на поглощение воды в почву за время затопления.

Скорость поглощения воды в ненасыщенную почву тем больше, чем крупнее механический состав почвы и больше ее водопроницаемость, чем суше почва, чем глубже залегают грунтовые воды; скорость поглощения воды изменяется во времени, постепенно уменьшаясь по определенной кривой от более или менее значительной величины в начале процесса до постоянной величины K_Φ, равной коэффициенту фильтрации этой почвы, спустя известный период времени T (рис. 14).

Если площадь в 1 *га* затопляется слоем воды h *см* в течение времени $t_{1сут}$, а средняя скорость поглощения воды за это время (рис. 14) составляет σ *см/сут*, то за время затопления будет израсходовано следующее количество воды (пренебрегая испарением):

$$W = 100\,(h + \sigma t_1)\ м^3/га.$$

Процесс постепенного накопления слоя воды h на поверхности почвы виден на рисунке 15, где представлены суммарные кривые подачи (сплошная линия) и поглощения воды в почву (пунктирная линия).

Разница ординат кривых *Оа* и *Об* показывает накопление слоя воды в разные моменты времени.

Поглощенный почвой объем воды увлажняет до потенциальной влагоемкости слой почвы глубиной H_1 *см*, которая может быть определена из следующего уравнения:

$$\sigma t_1 = H_1 A\delta, \quad \text{откуда} \quad H_1 = \frac{\sigma t_1}{A\delta},$$

где A — полная влагоемкость (скважность) данного почвогрунта в долях объема грунта;

δ — разница между потенциальной влагоемкостью и наличной влажностью грунта в долях от A.

Чтобы уменьшить количество воды, расходуемое на насыщение почвогрунта, рисовые поля целесообразно закладывать на тяжелых почвах и на землях с близким залеганием водоупора или бессточных грунтовых вод.

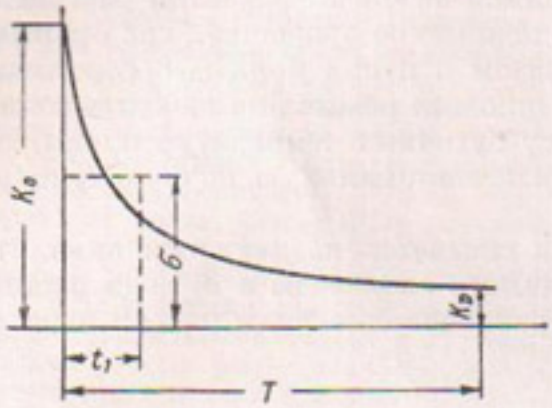


Рис. 14.

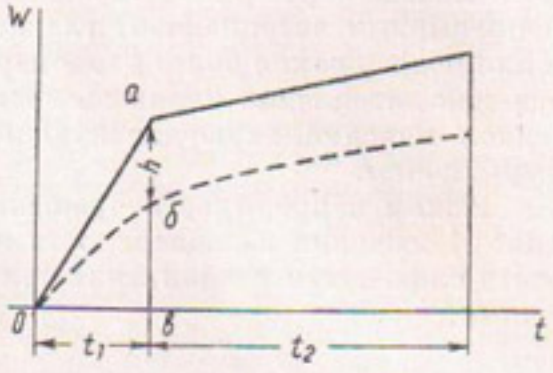


Рис. 15.

Вторая стадия орошения риса t_2 состоит в поддержании на рисовом поле нужного слоя воды h. Подача воды в этот период должна восполнять следующие статьи расхода рисового поля:

1) транспирацию и испарение с водной поверхности e, которые суммарно для риса колеблются от 4 до 10—12 *мм/сут*. В таблице 14 показаны средние значения суточного расхода воды рисовым полем для нескольких районов.

Таблица 14

Показатели (в *мм*/сутки)	Каратал, Казахская ССР	Дальний Восток	Самарканд	Украинская ССР
Испарение	4,7	3,6	4,5	5,2
Транспирация	3,6	1,5	2,2	1,8

При существующей агротехнике на испарение и транспирацию риса расходуется от 4 до 7 тыс. $м^3/га$ за 100 суток оросительного периода;

2) фильтрацию воды в почву и отток фильтрационных вод с рисового массива, что является обычно основным фактором расходования воды при орошении риса и повышает грунтовые воды на соседних землях. Скорость фильтрации в общем виде характеризуется величиной $\sigma = k\,I$, где k — коэффициент фильтрации почвогрунта, I — градиент фильтрационного потока, который постепенно уменьшается по мере бокового растекания.

Значение σ определяется в зависимости от гидрогеологических условий данного массива, на основании принципов, излагаемых ниже, при рассмотрении режима грунтовых вод под орошаемыми массивами;

3) поддержание проточности γ, т. е. постоянный сброс с рисовых полей расхода воды в размере от 10 до 30% подачи, для обеспечения ежедневной смены до 0,25 объема воды в чеках. Создание проточности сильно (до 50%) повышает оросительную норму риса и на незасоленных почвах едва ли целесообразно;

4) потери на фильтрацию через внешние валики Δ, составляющие от 10 до 20% подачи.

Таким образом, расход воды в течение периода t_2, идущий на потребление влаги растениями и поддержание слоя затопления h, равен сумме расходов: на испарение растений и с водной поверхности, на фильтрацию в почву и отток, на проточность, если таковая имеется, и на потери через валики.

Таковы основные расходные элементы рисового поля. Приходными элементами, кроме подачи воды, являются атмосферные осадки, выпадающие в течение оросительного периода в данной местности, за вычетом стока (P_0 *мм*).

На основании изложенного оросительная норма риса при поливе длительным затоплением получается равной (при выражении σ, γ и Δ в *л/сек* с 1 *га*):

$$M = 100\,[H_1 A\,(\beta_{max} - \beta_0) + h] + 10 \cdot t_2 \varepsilon_0 + 86{,}4 \cdot t_2\,(\sigma + \gamma + \Delta) - 10 P_0\ м^3/га,$$

где H_1, h — в *см*.

Если полив производится без проточности, то в приведенном выражении $\gamma = 0$.

В зависимости от конкретного выражения всех указанных факторов оросительная норма риса M при существующей практике орошения риса непрерывным затоплением колеблется в значительных пределах: от 6 до 30 тыс. $м^3/га$ и более, т. е. в 5—8 раз превышает нормы орошения других культур, орошаемых периодическими поливами.

На почвах, подстилаемых водонепроницаемыми слоями, и в местностях со значительным количеством летних осадков (например, на Дальнем Востоке) оросительная норма риса значительно ниже, чем на землях с глубоким водоупором и постоянным оттоком грунтовых вод и особенно при поливе с проточностью. Расход воды на увлажнительные поливы риса определяется обычным, изложенным выше, способом. Затраты воды на затопление рисовых полей слоем воды h *см* составляют на гектар орошаемой площади (по предыдущему):

$$m_0 = 100\,[H_1 A\,(\beta_{max} - \beta_0) + h]\ м^3/га.$$

Период t_0, в течение которого должно быть закончено затопление на всей площади, равен от 1—2 до 10—12 суток, в зависимости от засоренности полей; причем пуск воды для поддержания нужного слоя начинается или сейчас же после затопления, или через 2—7 суток.

Если вся орошаемая площадь риса равна ω *га*, то ежедневно должна заливаться площадь $\frac{\omega}{t_0}$ *га*, и в течение t_0 суток потребный расход будет равен: $\frac{\omega m_0}{86{,}4 t_0}$ *л/сек*.

На $t_1 + 1$ сутки, кроме затопления новой площади $\frac{\omega}{t_0}$ *га*, будет нужен расход воды для поддержания слоя на площади, затопленной в первый день, равный $1\frac{\omega}{t_0} q'$ *л/сек*, где $q' = \left(\frac{\varepsilon'}{86{,}4} + \sigma' + \gamma + \Delta'\right)$ — расход на поддержание слоя, слагающийся из покрытия: испарения ε' в *мм* в сутки, проточности γ, потерь через валики Δ, фильтрации и оттока σ', выраженных в *л/сек* с 1 *га*; значок $'$ указывает на изменяемость всех этих элементов в течение периода орошения риса.

Подача воды должна быть равна:

в $(t_1 + 1)$ сутки: $\frac{\omega m_0}{86{,}4 t_0} + \frac{\omega q'}{t_0}$ *л/сек*;

в $(t_1 + 2)$ сутки: $\frac{\omega m_0}{86{,}4 t_0} + \frac{2 q' \omega}{t_0}$ *л/сек*;

в (t_0) сутки: $\frac{\omega m_0}{86{,}4 t_0} + \frac{\omega q'}{t_0}(t_0 - t_1)$ *л/сек*.

В этот день будет затопляться последняя часть площади $\frac{\omega}{t_0}$ *га* и требуется наибольший расход воды, после чего он падает, так как на $(t_0 + 1)$ сутки подаваемый расход должен быть равен $\frac{\omega q'}{t_0}(t_0 - t_1 + 1)$ *л/сек*.

На $(t_0 + 2)$ сутки расход будет равен: $\frac{\omega q'}{t_0}(t_0 - t_1 + 2)$ *л/сек* и т. д. Наконец, на $(t_0 + t_1)$ сутки после начала затопления полей нужно будет подавать воду для поддержания слоя на всей площади ω, т. е. расход воды будет равен $\omega q'$, и таковым он будет оставаться до конца оросительного периода. Изменения потребного расхода воды в течение периода $(t_0 + t_1)$ схематически показаны на рисунке 16 пунктирной линией.

Если затопление в течение периода t_0 суток вести не равными, а постепенно уменьшающимися площадями, то можно выравнять значения расхода в этот период — сплошная линия на рисунке 16.

График режима орошения риса имеет в период производства затопления большие ординаты (порядка 3—4 *л/сек* на 1 *га*), которые потом, во время поддержания слоя, опускаются (до величины порядка 1,5—2 *л/сек* на 1 *га*).

Так как рис занимает в севообороте 40—60%, то значения расхода воды, отнесенные на единицу орошаемой площади всего севооборота, будут соответственно меньше, т. е. порядка 1,6—2,5 *л/сек* в период затопления и 0,7—1,2 *л/сек* — в период поддержания слоя.

В первые годы расход воды на орошение рисовых площадей затоплением больше, чем в последующие; поэтому, чтобы не увеличивать излишние размеры каналов, прибегают к форсированной подаче воды в первые годы, к растяжке сроков затопления и предпосевным поливам.

Полезное потребление воды рисом, как сказано выше, составляет около 4—7 тыс. *м³/га*; весь остальной расход воды приходится на непроизводительные потери. Поэтому способ орошения риса непрерывным затоплением требует больших затрат воды и неблагоприятно влияет на грунтовые воды соседних земель. Главнейшие пути сокращения расхода воды на орошение риса при поливе сплошным затоплением следующие:

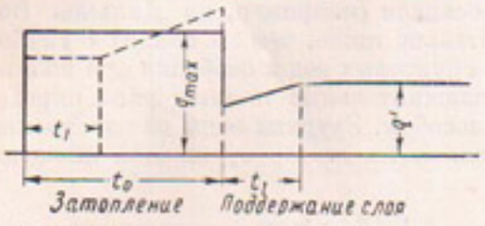


Рис. 16.

1) выбор под рисовую культуру площадей с более тяжелыми почвами и с малым оттоком грунтовых вод; при этом площади рисового севооборота должны располагаться не среди других орошаемых площадей, а изолированно в нижней части систем;

2) удлинение периода от посева до начала сплошного затопления (однако с принятием мер борьбы с сорняками) на 20—30 дней и удлинение в допустимых пределах времени t_0;

3) уменьшение фильтрации воды через валики;

4) недопущение проточности, когда фильтрация воды в грунт обеспечивает достаточную смену воды;

5) введение прерывистой подачи воды на затопленные площади с таким расчетом, чтобы слой воды между двумя напусками не опускался больше допустимой величины.

Наиболее же существенный путь снижения оросительных норм риса — это периодическое орошение его (при подборе менее требовательных к водному режиму сортов риса).

При периодическом орошении рис в течение вегетационного периода получает определенное число поливов, но несколько увеличенное по сравнению с другими культурами. Опыты ЮжНИИГиМ (Новочеркасск) показывают, что при периодических поливах оросительная норма риса составляет около 5—7 тыс. *м³/га* при урожаях 35—50 *ц* с 1 *га*.

При периодическом орошении под посевы риса могут использоваться различные почвы, кроме заболоченных, засоленных и очень тяжелых глинистых почв, так как рис, особенно при прорастании, нуждается в достаточной аэрации почвы. При периодическом орошении риса исключительно важное значение имеет борьба с сорняками; для этого должны проводиться 2—3 культивации почвы до посева и затем рыхления почвы после каждых 2—3 поливов, прополки сорняков, причем основным средством должна быть правильная система обработки почвы. Рис периодически поливают по неглубоким бороздам при широкорядном или ленточном 2—3-строчном посеве (на более засоренных землях); по полосам (шириной 3,6 *м*) при сплошном рядовом посеве на незасоренных землях; дождеванием, дающим значительную экономию воды и облегчающим борьбу с сорняками. По данным Всесоюзной рисовой опытной станции в Краснодаре, при периодическом орошении риса нужно поддерживать достаточную влажность почвы: в фазу всходов в слое 0—30 *см*, а в последующие фазы в слое 0—60 *см*. Влажность почвы должна быть: в фазу всходов 50%, от всходов до кущения — 55—60% от полевой влагоемкости почвы; в фазу от кущения до начала восковой спелости 70—80% от полевой влагоемкости; в соответствии с этим определяются число поливов и размеры поливных норм по фазам развития риса.

По данным Б. А. Шумакова, лучшим способом периодического полива риса является полив по проточным бороздам; борозды нарезают по уклону после сплошного сева риса (по горизонталям). Число поливов составляет 12—16, распределяемых следующим образом: от посева до кущения 2—3 полива; от кущения до начала молочной спелости 10 поливов — через 4—5 дней; от начала молочной спелости до полного созревания 2—3 полива. Поливные нормы порядка 350 *м³/га*.

Иногда поливы даются от посева до начала кущения, а затем до созревания поля периодически затапливают на 5—10 суток, с перерывами на просушку по 5—10 суток.

Практика показывает, что периодическое орошение риса позволяет значительно снижать расходы оросительной воды на 1 *га* риса, приближая их к остальным культурам, но требует бóльших затрат труда (на борьбу с сорняками).

Периодическое орошение риса и подбор соответствующих сортов заслуживают самого серьезного внимания, так как снижение оросительных норм риса является важнейшей задачей во всех орошаемых районах в интересах как экономии водных ресурсов, так и улучшения санитарных условий и предупреждения подъема грунтовых вод.

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ СОВОКУПНОСТИ КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТЕ И В ХОЗЯЙСТВЕ

Выше были рассмотрены принципы и методы установления поливного режима отдельных сельскохозяйственных культур. Теперь рассмотрим принципы установления режима орошения площадей, занятых совокупностью культур, составляющих определенный севооборот. Режим орошения отдельной севооборотной площади должен учитывать: 1) потребности в воде каждой культуры севооборота при определенной агротехнике ее; 2) почвенные, гидрогеологические и прочие условия каждого поля севооборота; 3) плановые задания по поливным культурам и условия организации труда в хозяйстве.

Режим орошения севооборотной площади получается в результате суммирования режимов орошения полей всех культур севооборота. Поливной режим как каждого поля, так и всего севооборота должен быть проанализирован в отношении выполнения плана поливных культур, затрат труда, необходимых на производство поливов, последующих обработок и других работ, связанных с орошением. Затраты труда на орошение по своим размерам и срокам должны быть увязаны с общей организацией и нагрузкой рабочих бригад в данном хозяйстве. Неувязка поливов с организацией труда может вызывать недопустимые разрывы между поливами и обработкой почвы; совпадение в одно время поливов нескольких трудоемких культур может создавать большое напряжение в использовании имеющихся трудовых ресурсов и т. д. Все это влечет снижение качества работ и урожайности, непроизводительное использование водных ресурсов, не позволяет осуществлять рациональное плановое водопользование в хозяйстве.

Если фактически орошаемая площадь земель данного севооборота равна ω *га*, а часть этой площади, занимаемая данной культурой, $\alpha\omega$, то при поливной норме m *м*^{3}/*га* объем воды, необходимый для одного полива данной культуры на всей ее площади, будет равен $\alpha\omega m$ *м*^{3}.

Величина α есть отношение числа полей данной культуры в севообороте к общему числу полей севооборота (при равновеликости полей).

При продолжительности поливного периода в t суток и при условии, что поливы ведутся круглосуточно, потребный расход воды для полива данной культуры в период t, согласно установленному режиму орошения ее, должен быть равен:

$$Q_1' = \frac{\alpha\omega m}{t}\ м^3/сутки = \frac{\alpha\omega m}{86{,}4\,t}\ л/сек.$$

Подобным образом для второго полива той же культуры, продолжительность которого равна t_1, согласно поливному режиму ее, а поливная норма m_1, получим:

$$Q_2' = \frac{\alpha\omega m_1}{86{,}4t_1}\ л/сек$$

и т. д.

Для другой культуры севооборота, которая составляет β часть всей севооборотной площади и имеет поливную норму m_2 *м*^{3}/*га* и поливной

период t_2 суток, потребный расход воды для полива ее в этот период должен быть равен:

$$Q_1'' = \frac{\beta \omega m_2}{86{,}4 t_2} \text{ л/сек}$$

и т. д.

Продолжительность поливных периодов t суток, в течение которых должен быть закончен полив площади каждой культуры севооборота, определяется, во-первых, агротехнически допустимыми сроками полива, как это указано выше, и, во-вторых, плановыми заданиями поливных посевных площадей этой культуры в хозяйстве, планом водопользования и соответствующей организацией труда в хозяйстве.

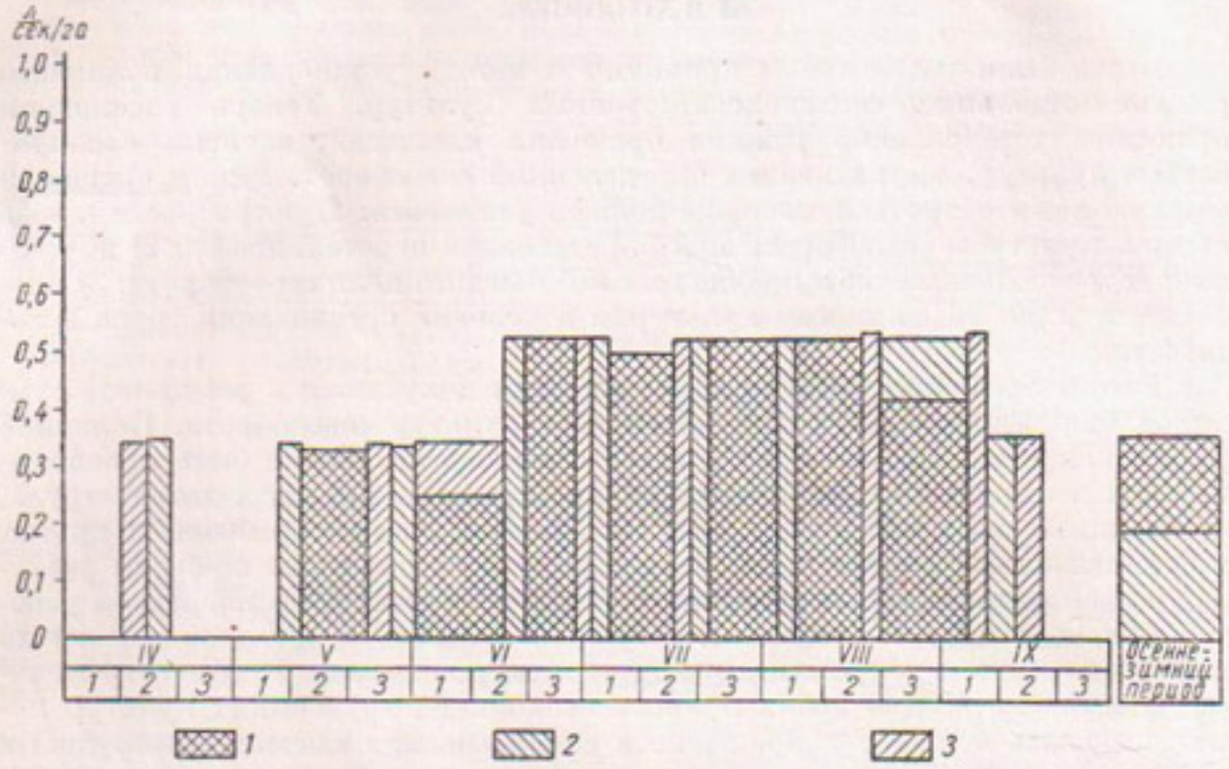


Рис. 17.

1 — хлопчатник; *2* — травосмесь второго года; *3* — травосмесь первого года.

Если данная культура занимает n полей в севообороте и они поливаются одновременно, то расходы Q', Q'' и т. д. распределяются между этими полями по соответствующим каналам.

Таким путем определяются количества (расходы) воды, необходимые в разные периоды для орошения каждой культуры данного севооборота. Для получения общего количества (расхода) воды, необходимого для орошения всей севооборотной площади, нужно *просуммировать в одновременные сроки* соответствующие расходы для каждой культуры, и эти суммы дадут нам потребные количества (расходы) воды на орошение данной площади в соответствующие моменты времени. *Это суммирование удобно сделать путем построения графика, в котором по оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат откладываются соответствующие расходы воды, причем одновременные расходы складываются.*

Полученный график дает динамику изменений потребных количеств (расходов) воды, необходимых для орошения данной площади севооборота в разные сроки в течение всего вегетационного периода.

В качестве примера на рисунке 17 показан график режима орошения хлопково-люцернового севооборота на площади 600 *га* в одном из наших хлопковых районов.

Если в состав севооборота входит рис, поливаемый путем непрерывного затопления, то такой севооборот должен закладываться изолированно от остальных орошаемых площадей вследствие неблагоприятного влияния

затопленных рисовых полей на грунтовые воды соседних земель. Режим орошения такого севооборота получается суммированием во времени расходов воды, подаваемых на рисовые поля и на остальные культуры рисового севооборота.

Режим орошения каждого поля и совокупности полей севооборота должен отвечать динамике потребности культур в воде и их агротехнике и быть согласован с производственным планом хозяйства и организацией труда в нем. Установленная по плану площадь поливных посевов каждой культуры в хозяйстве Ω и агротехнически требуемые сроки полива ее T определяют необходимую площадь суточного полива этой культуры $\omega_{сут} = \frac{\Omega}{T}$ в хозяйстве. Если число полей данной культуры в севообороте равно n, а площадь одного поля $\omega = \frac{\Omega}{n}$, то продолжительность полива одного поля данной культуры t должна быть равна: $t = \frac{\omega}{\omega_{сут}} n'$ сутки, где n' — число одновременно поливаемых полей данной культуры $\left(n' = n \frac{t}{T} \right)$. Продолжительность полива поля должна быть увязана с продолжительностью обработки этого поля при соответствующей механизации сельскохозяйственных работ и организации труда в данном хозяйстве. Нужно обеспечить условие:

$$t = \frac{\omega}{\omega_{сут}} n' = \frac{\omega}{N_п \omega_п} = \frac{\omega}{N_о \omega_о} \pm a,$$

где $N_п$ и $N_о$ — число рабочих и машин, работающих ежесуточно на поливе $N_п$ и на обработке $N_о$ площади поля ω;

$\omega_п$, $\omega_о$ — нормы выработки рабочего и машины на поливе $\omega_п$ или обработке $\omega_о$ *га* в сутки за смену;

a — допустимое время растяжки полива пропашных культур (+) в сравнении с временем механизированной обработки их или ускорения полива (—) по сравнению с временем ручного рыхления почвы площади поля; величина a не должна превышать 1—2 суток, чтобы почва обрабатывалась в состоянии нужной спелости или не потеряла много влаги испарением после полива до культивации.

Число рабочих N, работающих в сутки на данной площади ω на поливе ее, равно произведению числа смен в сутки (обычно 2) на число бригад, одновременно работающих на площади ω, и на число рабочих в каждой бригаде в смену (на поливе).

Хозяйство может иметь несколько (2—3) севооборотов, в этом случае для каждого составляется свой режим поливов, учитывающий конкретные условия каждого севооборота.

Режим орошения сельскохозяйственных площадей в каждом хозяйстве (колхозе или совхозе) получается путем суммирования во времени режимов орошения севооборотных и других орошаемых площадей данного хозяйства. На этой основе устанавливается внутрихозяйственный план водопользования и режим работы хозяйственного распределителя.

Полученные изложенным путем суммарные графики режима орошения отдельного хозяйства должны подвергнуться некоторому укомплектованию. Это укомплектование необходимо в следующих отношениях.

График режима орошения в первом его построении может иметь сильные колебания расходов воды (пики и провалы). Укомплектование графика должно сгладить эти пики и провалы, не выходя за допустимые сроки поливов.

Благодаря этому максимальные ординаты графика могут быть значительно снижены (на 20—30% и более), в результате чего: 1) снижаются расчетные расходы, уменьшаются размеры канала; 2) работа канала становится более равномерной во времени; 3) достигается лучшая увязка с системным планом водопользования и пропускной способностью каналов.

Укомплектованный график режима орошения должен содействовать выполнению плана суточных площадей полива, для чего необходима соответствующая организация рабочей силы и механизация сельскохозяйственных работ.

Желательно также соответствие графика режима орошения в хозяйствах и особенно на всей орошаемой площади с гидрологическим режимом источника воды для орошения (многолетним и годовым).

Если укомплектование графика связано с изменением сроков полива, то оно возможно только в размерах, допускаемых агротехническими условиями данной культуры.

Желательно также, чтобы режим орошения был увязан с водооборотом в хозяйстве, чтобы расход воды в проводящих распределительных каналах был кратным поливному расходу во временных оросителях.

Укомплектованные режимы орошения осуществляются в хозяйстве путем организации соответствующего плана внутрихозяйственного водопользования и распределения воды между бригадами.

При установлении режима орошения в хозяйстве нужно различать расчетный режим оросительных каналов и сооружений при проектировании их и режим для производства поливов в каждом конкретном году при эксплуатации оросительной системы.

Для проектирования должны быть проработаны режимы орошения в данном хозяйстве в годы расчетной степени засушливости при принятых сельскохозяйственных и агротехнических условиях. Для эксплуатации должны составляться эксплуатационные режимы орошения в каждом конкретном году, в связи с оперативным планом водопользования на этот год; они должны учитывать конкретные климатические, гидрологические (водообеспеченность) и агротехнические условия данного года.

Режим орошения как отдельных культур, так и всей площади севооборота, кроме указанных выше факторов, связан также с техникой орошения.

2. ТЕХНИКА ОРОШЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ОРОСИТЕЛЬНОЙ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СЕТИ

После рассмотрения принципов установления нужных режимов орошения необходимо рассмотреть те способы, какими можно осуществлять эти режимы и давать на орошаемые поля нужные количества воды и равномерно распределять их по площади поля.

Выбор способа орошения обусловливается хозяйственными и техническими требованиями (а также климатическими, топографическими и почвенными условиями).

Каждому способу орошения присуще определенное устройство оросительной регулирующей сети и соответствующая техника полива, т. е. способы переведения подаваемой воды из состояния водяного тока в оросительной сети в состояние почвенной влажности на орошаемых полях, нужной для растений.

Вопросы техники полива имеют громадное значение для правильного и успешного освоения орошаемых земель и эффективного использования воды.

Устанавливать технику орошения нужно во взаимосвязи со следующими главнейшими требованиями:

1) поддерживать в почве требуемый водный и связанный с ним воздушный, питательный, солевой и тепловой режимы, обеспечивающие в комплексе с агротехникой высокое плодородие почвы и получение наиболее высоких урожаев орошаемой культуры;

2) создавать в почве влажность нужной величины и равномерно распределенную по орошаемому полю;

3) давать высокую производительность труда при производстве полива, допускать наибольшую механизацию и автоматизацию полива;

4) допускать максимальную механизацию сельскохозяйственных работ на орошаемой площади;

5) осуществлять требуемый поливной режим с минимальной затратой оросительной воды, т. е. небольшими нормами, и с максимальным коэффициентом полезного действия, не меньше 0,95—1,0, без потерь на просачивание в глубокие слои, на сбросы, на испарение и т. д.;

6) поддерживать комковатую структуру орошаемой почвы.

Для соблюдения этих требований способ полива должен соответствовать характеру культуры и тем хозяйственным и природным условиям, в которых производится полив.

Сообразно этому техника орошения подразделяется на несколько различных видов. Все эти виды различаются по величине того напора и расхода воды, с какими она подается на орошаемое поле, и по способу распределения воды по полю, что показано в таблице 15.

Таблица 15

Способы орошения	Распределение воды на поле	Способы полива	
		с малым напором и расходом воды	с более высоким напором и расходом воды
Поверхностное орошение	По поверхности поля: а) сплошным слоем б) по бороздам	1. По полосам 2. По глубоким проточным бороздам	3. Затоплением 4. По глубоким тупым бороздам
Дождевание	Над поверхностью поля в виде дождя	Низконапорные короткоструйные системы	Высоконапорные дальнеструйные системы
Подпочвенное орошение	Ниже поверхности почвы (с подачей воды в подпахотный слой)	Безнапорные и вакуумные системы непрерывного действия	Напорные системы периодического действия

Абсолютная величина напоров воды при каждом способе орошения весьма различна: наибольших напоров требует дождевание, затем напорные системы подпочвенного орошения и, наконец, самых малых напоров требует поверхностное орошение. Различны также и расходы воды, даваемой на поле при каждом способе орошения: наибольшие расходы присущи поверхностным способам орошения, меньшие расходы применяются при дождевании и еще меньшие при подпочвенном орошении.

Величина напора и расхода даваемой воды при каждом способе орошения обусловливает скорость подачи воды и дальность действия подаваемой струи, скорость и характер поступления и размещения воды в почве, влияние воды на структуру почвы и др.

Чем больше напор и расход, с которыми оросительная вода поступает на орошаемое поле, тем быстрее происходит полив, больше площадь охвата поливной струей, выше производительность труда, легче автоматизация полива, но зато тем хуже влияние орошения на структуру почвы и на эрозию, тем больше может быть бесполезный сток воды, тем хуже распределение влаги внутри увлажняемого слоя почвы.

Рассмотрение главнейших способов полива мы начнем с поверхностного орошения, как наиболее распространенного.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ОРОШЕНИЕ

Техника поверхностного полива. Общие ее принципы

Техника поверхностного полива имеет задачей подавать на орошаемое поле нужные количества воды с определенным расходом и в определенные сроки, равномерно распределять эту воду по поверхности поля и, обеспечивая поглощение ее в почву, создавать в ней нужный водный режим, взаимоувязанный с притоком остальных факторов развития растений. Удовлетворяя этим требованиям, *техника полива должна обеспечивать сохранение структуры почвы, высокий коэффициент использования воды, возможность широкой механизации сельскохозяйственных работ и высокую производительность труда.* Чтобы давать высокий, близкий к единице коэффициент использования воды, нельзя допускать сброса воды и просачивания ее в глубокие слои почвы ниже увлажняемого слоя H, т. е. нужно осуществлять требуемую поливную норму m без сброса поверхностного и фильтрационного.

Почва при поверхностном поливе увлажняется путем поглощения в почву воды, даваемой на поверхность орошаемого поля.

Механизм поступления воды в почву при поливе, определяющий ту или иную скорость, равномерность и характер распределения влаги в почве, обусловливается тем направлением, по которому вода поступает в почву, и величиной расхода (напора) и скорости, с которыми вода поступает и движется по орошаемой площади.

По распределению воды по поверхности и поступлению ее в почву способы поверхностного полива можно разделить на две основные группы:

1) способы, при которых поливная вода распределяется по поверхности поля сплошным слоем и поступает в орошаемую почву в вертикальном направлении, т. е. главным образом гравитационным путем;

2) способы, при которых вода распределяется по поверхности поля по бороздам и поступает в орошаемую почву главным образом в боковом направлении, т. е. капиллярным путем.

К первой группе относятся поливы с вертикальным поглощением воды, т. е. по полосам и затоплением. Ко второй группе — поливы с боковым поглощением, т. е. по сквозным и по тупым бороздам.

При поливах с вертикальным поглощением воды, когда почва увлажняется гравитационным путем, легко разрушается комковатая структура почвы; при поливах же с боковым поглощением (особенно по глубоким бороздам), когда почва увлажняется главным образом капиллярным путем, лучше сохраняется ее структура и снижается испарение воды почвой после полива.

В отношении расхода подаваемой воды указанные группы полива — вертикального и бокового поглощения, в свою очередь, разделяются в зависимости от величины этого расхода и связанного с этим соотношения между скоростью поглощения воды почвой и скоростью движения воды по поливаемой площади.

Здесь можно различать такие типы:

1) при небольших расходах подаваемой на полив воды скорость движения ее v по поверхности и поглощение ее w в почву более или менее уравновешены; вода в почву поглощается во время движения ее по поливной площадке;

2) при более значительных расходах подаваемой воды скорость движения воды по поверхности превышает скорость поглощения воды в почву; вследствие этого на орошаемой площадке более или менее быстро накапливается слой воды, который поглощается почвой уже после прекращения подачи воды.

К первому типу относятся поливы небольшой медленно движущейся струей воды, поглощаемой почвой (по мере движения): 1) полив по полосам (при вертикальном поглощении воды) и 2) полив по проточным бороздам (при боковом поглощении).

Ко второму типу относятся поливы, осуществляемые путем подачи на орошаемую площадь большей струи воды и накопления на этой площади определенного объема воды, который поглощается в почву после прекращения подачи: 1) полив затоплением (при вертикальном поглощении) и 2) полив по тупым бороздам (при боковом поглощении).

Таким образом, все разнообразие существующих поверхностных способов полива можно свести к четырем основным видам, различающимся, во-первых, по преобладающему характеру увлажнения почвы — гравитационному или капиллярному, и, во-вторых, по соотношению между скоростью течения воды по поверхности и скоростью поглощения ее в почву. От характера увлажнения почвы зависит влияние полива на структуру почвы, ее аэрацию, направление биологических и химических процессов в ней, на перемещение солей в почве при поливе. От соотношения стока и поглощения воды зависит коэффициент полезного использования воды при поливе (при данных условиях уклона и проницаемости почвы), который должен быть близким к единице.

Значение всех этих способов полива и влияние их на структуру и плодородие почвы неодинаковы. При выборе способа полива приходится также учитывать: 1) характер культур, условия механизации и агротехники; 2) рельеф и уклон орошаемого поля; 3) свойства орошаемой почвы — влагоемкость, проницаемость, содержание солей; 4) производительность труда.

Механизм поверхностного полива слагается из определенного сочетания движения (стекания) воды по поверхности орошаемой почвы и поглощения воды почвой — гравитационного и капиллярного (вертикального или бокового).

Скорость стекания воды по поверхности орошаемой площади v подчиняется общему закону:

$$v = C\sqrt{hI},$$

где h — толщина слоя стекающей воды;
I — уклон поверхности;
C — коэффициент скорости, зависящий главным образом от степени шероховатости поверхности, т. е. от характера обработки почвы и рода культуры.

Скорость поглощения воды в почву w подчиняется закону:

$$w = kJ^{\alpha},$$

где k — коэффициент пропорциональности, называемый при $\alpha = 1$ коэффициентом фильтрации данной почвы;
J — градиент напора фильтрации:

$$J = \frac{h+a}{a},$$

где h — слой воды на поверхности почвы;
a — толщина слоя почвы, на которой происходит фильтрация воды;
α — показатель степени, изменяющийся от $\alpha = 1$ — для мелкозернистых грунтов (закон Дарси) до $\alpha = 0{,}5$ — для очень крупнозернистых грунтов[1].

При поливе обычно вода просачивается в почву, далекую от насыщения, и глубина почвы a, на которую происходит просачивание воды, во времени увеличивается; поэтому градиент напора просачивания $J = \frac{h+a}{a}$ постепенно уменьшается (от очень большой величины в начале полива до близкой к единице в конце полива), а вместе с ним снижается и скорость поглощения воды, приближаясь к некоторой постоянной величине, соответствующей коэффициенту фильтрации данного грунта; кроме того, в самой почве, по мере соприкосновения ее с водой, происходят механические и физико-химические изменения (набухание и свертывание коллоидов, нарушение структуры, образование корки, уплотнение), уменьшающие водопроницаемость почвы, т. е. k.

В явлениях поглощения воды в почву большая роль принадлежит капиллярным силам данной почвы и заключенному в порах воздуху.

Скорость опускания воды в почве на глубине a от поверхности равна:

$$w = k\,\frac{h+a+H_0-L}{a},$$

где k — коэффициент фильтрации почвы;
H_0 — высота капиллярного поднятия воды в данной почве;
L — избыточное давление воздуха (в почве сверх атмосферного);
h — слой воды на поверхности.

Из этого выражения видно следующее: 1) скорость w уменьшается с увеличением глубины просачивания воды a, т. е. со временем, и вначале эта скорость значительно превосходит k, постепенно падая, причем по мере увеличения a влияние капиллярных сил H_0 становится слабее; 2) капиллярные силы увеличивают, а заключенный в порах сжатый воздух уменьшает скорость поглощения.

---

[1] Оценкой применимости закона Дарси может служить условие Рейнольдса $R_1 = \frac{wd}{\nu} \leqslant 5$, где w — скорость фильтрации в *см/сек*; d — диаметр частиц грунта в *см*; ν — кинематический коэффициент вязкости в *см²/сек*. Для воды, при $t = 20°$, $\nu = 0{,}01$ *см²/сек* и $w \leqslant \frac{0{,}05}{d}$, что в подавляющем числе случаев мелиорации соблюдается, т. е. действителен закон Дарси (см. В. И. Аравин и С. Н. Нумеров. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. Гостехтеориздат, М., 1953).

При боковом поглощении воды (в бороздах) капиллярные силы увеличивают напор и вызывают капиллярное поднятие воды в почве между бороздами со скоростью:

$$w_{под} = k\,\frac{H_0 - a_1 - L}{a_1},$$

где a_1 — высота поднятия воды в данный момент.

В силу этого боковое поглощение воды повышается, что особенно резко сказывается в начале явления и затем постепенно уменьшается.

Таким образом, *скорость поглощения воды в почву не является постоянной величиной и уменьшается во времени, особенно сильно в начальной стадии.*

Динамику скорости впитывания или поглощения воды в почву, не насыщенную водой (что имеет место при орошении), при меняющейся глубине просачивания можно выразить в такой форме:

$$w_t = \frac{k_1}{t^{\alpha}},$$

где w_t — скорость поглощения воды в момент времени t;

k_1 — коэффициент водопроницаемости данной почвы в первую единицу времени;

α — показатель степени, изменяющийся от 0,30 до 0,80, в зависимости от свойств почвы и ее начальной влажности.

Чем больше начальная влажность почвы, тем значение коэффициента α становится меньше, т. е. кривая поглощения воды делается более пологой.

Общий характер изменений скорости поглощения воды в почву во времени может быть представлен кривой (рис. 18), показывающей, что скорость поглощения во времени постепенно убывает, приближаясь к некоторой постоянной величине k, которая и характеризует собой собственно коэффициент фильтрации данной почвы.

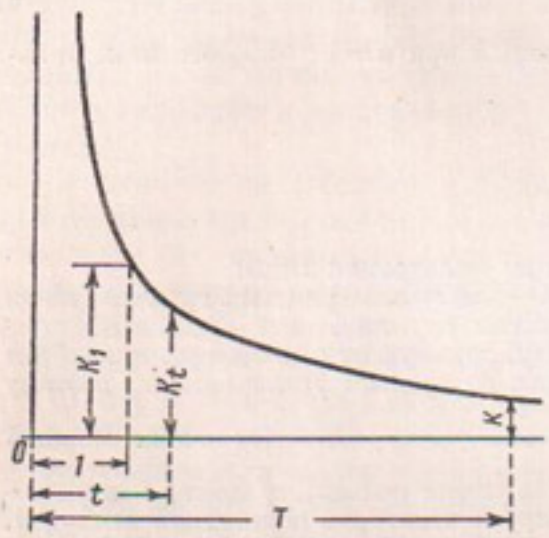


Рис. 18.

Значение коэффициента водопроницаемости данной почвы (в конце первой единицы времени) равно:

$$k_1 = kT^{\alpha},$$

где k — коэффициент фильтрации данной почвы, устанавливающийся в момент времени T от начала просачивания[1].

Среднее значение скорости просачивания за период времени t определится таким образом (при условии $0 < \alpha < 1$):

$$k_{ср} = \frac{1}{t}\int_0^t \frac{k_1}{t^{\alpha}}\,dt = \frac{k_1}{1-\alpha}\cdot\frac{1}{t^{\alpha}} = \frac{k_0}{t^{\alpha}},$$

где $k_0 = \frac{k_1}{1-\alpha}$ — скорость просачивания воды в данную почву, средняя за первую единицу времени.

Значения коэффициента k_1 и показателя степени α для данной почвы должны устанавливаться опытным путем — определением изменений во времени поглощения воды в данную почву, не насыщенную водой и с ненарушенной структурой.

Выбор способа полива, удовлетворяющего указанным выше требованиям, обусловливается комплексом условий хозяйственных, агротехнических, почвенных, топографических.

---

[1] Величина коэффициента фильтрации k, характеризующего водопроницаемость данной почвы, насыщенной водой, зависит: 1) от скважности данного грунта A; 2) от действующего диаметра частиц почвы d_0 и 3) от температуры воды. Коэффициент фильтрации почвы k тем больше, чем больше действующий диаметр частиц почвы d_0, скважность почвы A и чем выше температура воды. Величина k определяется опытным путем или по формулам на основе определения механического состава и скважности почвы. *Прим. автора.*

Способ полива должен максимально сохранять комковатую структуру почвы; этому требованию лучше удовлетворяют поливы с капиллярным увлажнением почвы, т. е. бороздные поливы, и не удовлетворяют поливы затоплением, разрушающие структуру почвы.

Изменяя структуру почвы, поливы влияют на ее скважность и аэрацию, а отсюда и на химико-биологические процессы в почве. Поливы сплошным затоплением уменьшают скважность и аэрацию почвы, вследствие чего в ней возникают восстановительные процессы и происходит значительная денитрификация (разрушение нитратов и уменьшение общего количества азота). При правильных же бороздных поливах и капиллярном увлажнении почвы ее структура сохраняется, аэрация почвы не снижается и явления денитрификации не происходят вовсе или ослабляются.

Поливы боковой фильтрации, распределяя влагу в верхних слоях почвы, снижают просачивание воды в ее нижние слои, позволяют более равномерно распределять воду по поверхности и снижать величину поливной нормы. Возможность снижения поливных норм при бороздном поливе, по сравнению с затоплением, особенно важна на более или менее сложных микрорельефах, а также при орошении засоленных почв[1].

Бороздные поливы допускают рыхление поверхности почвы после полива, что особенно важно на тяжелых почвах (уничтожение корки и уменьшение испарения). Таким образом, бороздные поливы, особенно при достаточной глубине борозд и небольшом наполнении, имеют крупные преимущества перед другими способами самотечного полива.

Поливы сплошным затоплением, кроме указанных выше недостатков, связаны с большими планировочными работами. Поэтому полив затоплением допускают только при непрерывном орошении риса и при промывке сильно засоленных почв. Полив по полосам неприменим при поливе широкорядных пропашных культур, но такой полив при узкорядном посеве (травы и зерновые хлеба) и рациональном его осуществлении дает хорошие результаты.

Поливы движущейся струей воды требуют более сильных уклонов местности, чтобы увеличить скорость течения по поверхности. При поливе затоплением нужны малые уклоны для достижения равномерности увлажнения почвы вверху и внизу площадки.

Помимо соответствия условиям рельефа и почвы, способ полива не должен стеснять механизации сельскохозяйственных работ на орошаемых площадях. Для этого способы полива должны допускать механизированную обработку почвы как в направлении полива, так и перпендикулярно к нему, а вспомогательные устройства, необходимые при поливе (поливные канавки, валики и др.), не должны препятствовать работе машин. В этом отношении на первом месте стоит способ полива по бороздам и затем полив по полосам. Неудовлетворительным является полив сплошным затоплением.

Продолжительность полива и темпы механизированной обработки почвы должны быть увязаны между собой. Расположение и размеры оросительных каналов, из которых производятся поливы, не должны препятствовать наиболее целесообразной увязке сроков полива, механизации обработки почвы и других сельскохозяйственных работ. Этому требованию лучше всего удовлетворяют условия устройства не постоянных, а временных, ежегодно нарезаемых на период поливов оросительных каналов или перемещаемых по полю трубопроводов. Во временные оросители или подвижные трубопроводы вода подается из постоянных распределительных каналов, представляющих собой проводящие каналы последнего порядка в оросительной системе. Из временных оросителей или передвижных поливных трубопроводов (через специальные отверстия в них) оросительная вода подается в поливные борозды или на полосы (в зависимости от способа полива).

Расположение временных оросителей (оросительных трубопроводов) может быть или *продольным*, т. е. параллельным направлению поливных борозд или полос, или же *поперечным*, т. е. перпендикулярным к направлению

[1] На сильно засоленных почвах во избежание выноса солей на гребни борозд может потребоваться предварительная промывка почв. *Прим. автора.*

поливных борозд или полос. При продольном расположении оросителей вода из них подается в поливные борозды или полосы через специальные выводные борозды (или поливные трубопроводы); при поперечном расположении оросителей вода из них подается в поливные борозды или полосы непосредственно. В зависимости от рельефа поля и способа полива поливные борозды или полосы и, следовательно, питающие их водой оросители располагаются по наибольшему или наименьшему уклону поливного участка.

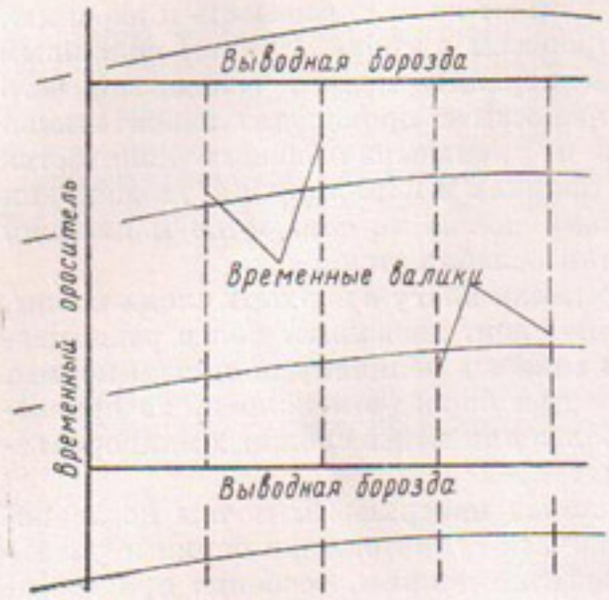


Рис. 19.

Полив по полосам (рис. 19 и 20) применяется при уклонах от 0,002 до 0,015 (не выше 0,020) для культур узкорядного сева (зерновых хлебов, трав и др.). Валики делают высотой 10—15 *см*, в зависимости от даваемого расхода воды и наличия поперечного уклона. Валики нарезаются широкозахватными риджерами до посева или одновременно с посевом. Длина полос, обычно от 75 до 300 *м*, делается тем больше, чем меньше проницаемость почвы, чем больше допускаемый поливной расход воды и чем ровнее поверхность. Ширина полос должна быть кратной ширине захвата сельскохозяйственных машин, сеялок и других орудий (1,8—3,6—7,2 *м*); кроме того, она связана с величиной даваемого на полосу расхода воды; нужно, чтобы вода растекалась по ширине полосы ровным слоем, причем скорость движения ее не должна превышать допустимой величины.

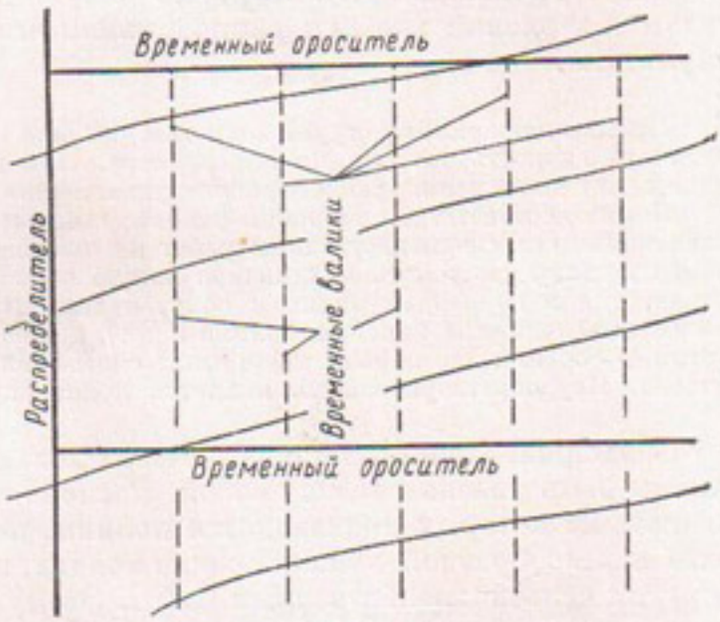


Рис. 20.

Полив по полосам допускает лучший посев и равномерную заделку семян зерновых хлебов и трав, комбайновую уборку их, более равномерный водный режим узкорядных культур. Недостаток этого способа — необходимость устройства валиков, требующих заравнивания перед уборкой. Во избежание неблагоприятного влияния этого способа полива на структуру и эрозию почвы необходимо тщательное сочетание размеров полосы и даваемого на нее расхода воды со свойствами почвы и уклоном.

Рассмотрение теории полива по полосам позволяет установить элементы техники полива и продолжительность его, нужные для получения максимального коэффициента полезного использования воды и высокой производительности труда.

При поливе по полосам вода, двигаясь по поверхности, постепенно впитывается в почву.

Слой воды, имеющий вверху полосы толщину h, в течение времени t на протяжении l полностью впитается в почву (рис. 21).

Определим аналитически кривую уровня движущегося по полосе слоя воды при данных: уклоне I и проницаемости почвы k.

Скорость воды в сечении x (от верха полосы), допуская формулу равномерного движения, приблизительно равна: $v_x = C_1\sqrt{yI}$, так как гидравлический радиус, ввиду малости высоты слоя воды по сравнению с его шириной, можно принять $R = y$.

Коэффициент скорости примем по формуле:

$$C_1 = \frac{87\sqrt{y}}{\gamma + \sqrt{y}},$$

где γ — коэффициент шероховатости поверхности поля, равный от 1,4 до 4, в зависимости от характера обработки почвы, рода культуры и пр.

Так как обычно слой воды y колеблется в небольших пределах — от 1 до 4 *см*, то можно принять $C_1 = \frac{87\sqrt{y}}{\gamma}$ и $v_x = Cy$, где $C = \frac{87}{\gamma}\sqrt{I}$, что дает значение C от $15\sqrt{I}$

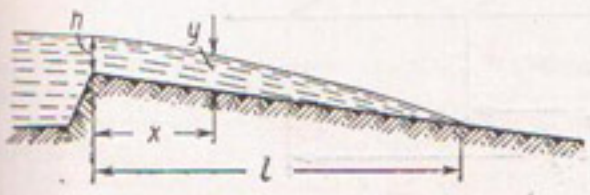


Рис. 21.

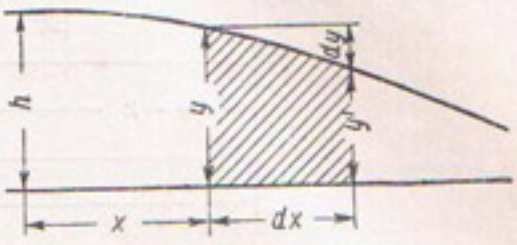


Рис. 22.

до $40\sqrt{I}$, в зависимости от состояния обработки поверхности почвы. Отсюда расход воды, поступающей вверху полосы на единицу ее ширины, будет равен:

$$q = hCh = Ch^2.$$

Расход воды в сечении x на единицу ширины $q_x = yv_x$; в соседнем же сечении (рис. 22) на расстоянии dx от первого расход воды будет $q'_x = y'1v'_x$, где $y' = y - dy$ и $v'_x = C(y - dy)$.

Разница этих расходов на длине dx равна:

$$yv_x - y'v'_x = Cy^2 - C(y - dy)^2 = 2Cydy.$$

Эта разница обусловливается тем, что на длине dx вода поглощается в почву и накапливается слой остающейся на поверхности воды.

Среднее на длине x значение скорости поглощения воды в почву в момент t добегания воды до конца длины x равно по предыдущему $\frac{k_0}{t_x^a}$.

Влияние накопления на длине x, остающейся на поверхности воды, может быть оценено некоторым поправочным коэффициентом n к скорости поглощения. Значение этого коэффициента $n > 1{,}0$, причем с увеличением продолжительности полива t оно уменьшается[1].

Накопление слоя воды на длине полосы x тем больше, чем больше расход воды q и чем меньше шероховатость и уклон I, так как по предыдущему $h = \sqrt{\frac{q}{C}}$. Поэтому значение коэффициента n увеличивается с увеличением q и с уменьшением I.

Таким образом, значение средней скорости поглощения воды в почву на длине x с поправкой на остающийся на поверхности слой воды для времени t можно принять равным $\frac{nk_0}{t^a}$, и уравнение баланса стекающей поливной воды можно написать так:

$$2Cy\,dy = -\frac{nk_0}{t^a}dx.$$

Знак минус в этом уравнении поставлен потому, что с увеличением x значения y уменьшаются. Интегрирование этого уравнения[2] дает:

$$Cy^2 = -\frac{nk_0}{t^a}x + \overline{C}.$$

---

[1] Отчасти это происходит за счет некоторого разрушения структуры поливаемой почвы — по мере увеличения t. *Прим. автора.*

[2] Интегрирование возможно при допущении средней скорости впитывания.

При $x=0$, $y=h$ получим значение $\overline{C}=Ch^2$ и следующее уравнение слоя стекающей воды при поливе напуском:

$$C(h^2-y^2)=\frac{nk_0}{t^a}x.$$

Если за x принять длину добегания струи в момент t после полива, при которой $y=0$, то будем иметь:

$$q=Ch^2=\frac{nk_0}{t^a}x.$$

Из этого выражения можно определить длину и время добегания воды, даваемой вверху слоем h, и удельным расходом на 1 $м$ ширины полосы $q=Ch^2$.

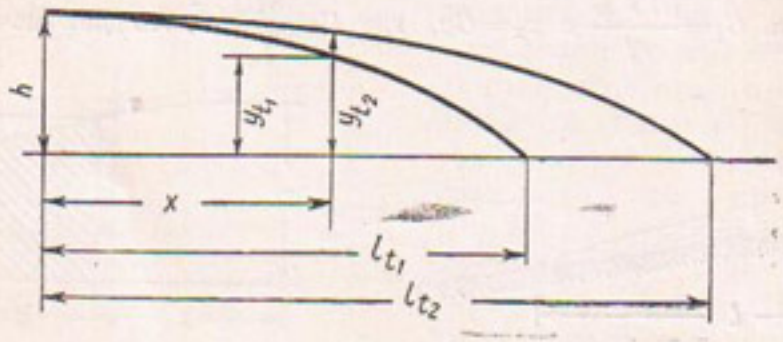


Рис. 23.

Длина добегания в момент t будет равна:

$$x=\frac{q}{nk_0}t^a,$$

а время добегания t_x:

$$t_x=\left(\frac{nk_0x}{q}\right)^{\frac{1}{a}}.$$

С увеличением уклона полосы время t_x уменьшается, так как увеличивается скорость.

За время t_x вода, даваемая вверху удельным расходом q, пробежит длину x, впитавшись на этой длине в почву, так что слой в сечении x будет равен $y=0$; вверху же в момент t_x будет слой воды h.

Толщина слоя стекающей воды y в сечении x от верха полосы в момент времени $t>t_x$ определится из полученного выше уравнения:

$$Ch^2-Cy^2=\frac{nk_0}{t^a}x,$$

откуда, подставляя вместо $Ch^2=q$, будем иметь:

$$y=h\sqrt{1-\frac{nk_0x}{qt^a}}.$$

Величина $h=\sqrt{\frac{q}{C}}$. Из выражения для y видно, что слой этот во времени в одном и том же сечении постепенно возрастает, приближаясь к h (рис. 23).

Если длина полосы равна x, а время полива $t>t_x$, то при удельной струе q в момент t на конце полосы будет происходить сброс воды с удельным расходом:

$$q_x=Cy^2=Ch^2\left(1-\frac{nk_0x}{qt^a}\right)=q\left(1-\frac{nk_0x}{qt^a}\right).$$

Процент сброса (от подачи) на длине x в момент $t>t_x$, равный $\gamma_0=1-\frac{nk_0x}{qt^a}$, будет тем больше, чем больше удельный расход подачи q, чем меньше длина полосы x и проницаемость почвы k_0; процент сброса на одной и той же длине полосы x постепенно увеличивается пропорционально продолжительности полива, сверх времени добегания.

Так как полив нужно вести без сброса, то необходимо соблюдение условия $\gamma_0=0$, т. е. $\frac{nk_0x}{qt^a}=1{,}0$ или $q=\frac{nk_0x}{t^a}$.

В момент t прекращения подачи воды вверху на длине добегания x останется слой воды, изменяющийся от h вверху до нуля внизу, что дает объем воды на 1 $м$ ширины полосы около μhx, где μ равно от $\frac{2}{3}$ до $\frac{4}{3}$.

Часть этого объема воды будет поглощена почвой на длине x, часть же стечет с полосы ниже длины x. Первая часть составляет величину, равную $(1-\alpha)\,hx$, а вторая $\{\mu-(1-\alpha)\}\,hx$. Чтобы стекающая после полива вода не пошла в сброс, нужно фактическую длину полосы l сделать больше длины добегания x (рис. 24).

При этом, в целях равномерности увлажнения полосы по длине, нужно поставить требование, чтобы длина полосы $(l-x)$ получила влагу по требуемой норме m, т. е. соблюсти такое условие:

$$(l-x)\,m=\{\mu-(1-\alpha)\}\,hx,$$

откуда получим:

$$n=\frac{l}{x}=1+\frac{h}{m}\left(\alpha-\frac{1}{3}\right)$$

или

$$n=1+\frac{h}{m}\left(\alpha-\frac{1}{4}\right);$$



Рис. 24.

в этих формулах величина нормы m выражена в виде слоя.

Отсюда определится полная длина полосы l, на которой будет поглощено все количество воды qt, данной при поливе за время t.

При поливе без сброса, т. е. при $t=t_x$, средняя на длине l поливная норма нетто, выраженная в виде слоя воды, будет равна:

$$m_{нт}=k_0t^{1-\alpha}=k_{ср}t,$$

а поливная норма брутто равна $m_{бр}=\frac{qt}{x}$. При поливе без сброса $m_{нт}=m_{бр}$, если не учитывать потерь на испарение воды во время полива, ввиду их сравнительной незначительности. Поливная норма $m_{нт}$ должна отвечать тем требованиям и размерам, о которых говорилось выше.

Продолжительность полива полосы t, необходимая для дачи в почву требуемой нормы полива m (выраженной в виде слоя), определяется из уравнения:

$$t=\frac{m}{k_{ср}}=\left(\frac{m}{k_0}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}.$$

Равномерность увлажнения почвы по длине полосы зависит от следующих условий.

Если продолжительность подачи воды на полосу вверху ее равна t, а продолжительность прохождения воды в нижнем сечении полосы равна $t_н$, то увлажнение почвы вверху полосы будет равно $k_0t^{1-\alpha}$, а внизу полосы $-k_0t_н^{1-\alpha}$ и, следовательно, равномерность увлажнения полосы по длине ее (внизу и вверху) характеризуется отношением $\left(\frac{t_н}{t}\right)^{1-\alpha}=\frac{m(1-\Delta)}{m(1+\Delta)}=\mu$, где Δ — отклонение увлажнения почвы внизу и вверху полосы от заданной нормы m. Продолжительность прохождения воды внизу полосы в общем случае равна $t_н=t-t_x+t_1$, где t_x — время добегания воды на длине x, а t_1 — время стока воды, оставшейся на полосе после прекращения подачи воды вверху; $t_1=\beta_0t_x$, где коэффициент β_0 определяется опытным путем и равен от 0,1 до 0,3. Поэтому можно написать:

$$\mu=\left(\frac{t_н}{t}\right)^{1-\alpha}=\left(1-\beta\frac{t_x}{t}\right)^{1-\alpha},$$

где $\beta=(1-\beta_0)$.

За время $t_н$ в конце полосы на длине ее x будет происходить сток воды. Общее количество воды, стекшей с полосы на длине x за время $t_н$, может быть определено по следующей зависимости: $qt=\frac{mx}{1-\sigma}$, где σ — отношение стекшей воды к количеству поданной на полосу воды за время подачи воды t. При поливе добеганием без сброса $t=t_x$ и $\sigma=0$. Если для увеличения равномерности увлажнения почвы по длине полосы допускается полив со стоком воды на конце полосы, то стекающая вода на длине x должна обязательно поступать в выводную борозду следующей нижележащей полосы и использоваться на полив этой полосы, чтобы *со всей площади поливного участка вода не сбрасывалась*.

Из полученных формул видно, что при поливе без сброса поливная норма добегания m тем меньше, чем меньше продолжительность полива и длина полосы x и чем больше удельная поливная струя q.

Производительность труда при поливе по полосам определяется величиной $v = \frac{\omega}{t} = \frac{10^4}{t_1} = \frac{pN}{m}$, где $\omega = Nbl$ — площадь одновременно поливаемых одним поливальщиком полос; N — число полос; b, l — размеры каждой полосы; t — продолжительность полива площади ω; t_1 — продолжительность полива 1 *га*, причем $t_1 = t\frac{10^4}{\omega}$; pN — общий поливной расход воды, которым работает один поливальщик; $p = bq$ — поливной расход, даваемый на одну полосу. По предыдущему при поливе без сброса $m = \frac{Npt}{\omega} = k_0 t^{1-\alpha}$, поэтому $t = \left(\frac{k_0\omega}{Np}\right)^{1/\alpha} = \left(\frac{k_0 l}{q}\right)^{1/\alpha}$. Отсюда получаем $v = \omega\left(\frac{Np}{k_0\omega}\right)^{1/\alpha} = Nbl\left(\frac{q}{k_0 l}\right)^{1/\alpha}$, т. е. производительность труда при поливе без сброса при заданной норме m и проницаемости почвы k_0 повышается: а) с увеличением общей ширины одновременно поливаемых полос (Nb), что зависит от опытности поливальщика и особенно от автоматизации распределения общего поливного расхода Np — по полосам; б) с увеличением удельного расхода воды q, даваемого на 1 пог. *м* ширины полос. Однако увеличение q свыше известных размеров (больше 4—8 *л/сек* на 1 *м* ширины полосы) может вызвать эрозию почвы и создать сброс воды с поливаемой площади.

Поэтому целесообразно применение переменной поливной струи, постепенно уменьшающейся по мере продолжительности полива.

Зная требуемую норму m, k_0 и задаваясь нужной производительностью труда (и временем полива 1 *га*, равным t_1), по предыдущим формулам можно определить нужные величины pN, $\omega = Nbl$ и затем наиболее целесообразные значения p и bl, для получения требуемой производительности труда (при допустимых q).

Допустимая величина удельной поливной струи q определяется двумя главными условиями: 1) соответствием скорости стекания и поглощения воды, отсутствием сброса и добеганием до конца полосы, как это вытекает из выражения $q = \frac{nk_0x}{t^\alpha}$; 2) отсутствием смыва почвы: при принятом $q = Ch^2$ и данном уклоне поля скорость стекания воды по полосе, равная вверху $v = Ch$, не должна превышать величины 0,10—0,20 *м/сек*.

Поэтому размер поливной струи q на единицу ширины полосы должен быть тем меньше, чем больше уклон поверхности.

Значение поливного расхода p, даваемого на полосу, определяется следующим выражением:

$$p = bq = bCh^2 = \frac{nk_0bx}{t^\alpha} \leqslant \frac{bv_0^2}{C},$$

где b — ширина поливной полосы, кратная ширине захвата сельскохозяйственных машин; чем ровнее рельеф, тем больше может быть b;

v_0 — допустимая по условиям эрозии почвы скорость течения воды при поливе; $v_0 \leqq 0{,}10—0{,}20$ *м/сек*.

Для большей равномерности распределения воды по ширине и уменьшения смыва почвы с полос можно поливать поперек рядов посева, чтобы рядки растений были перпендикулярны к направлению стекающей воды; этому требованию лучше отвечает поперечное расположение временных оросителей.

Длина полос при поливе без сброса:

$$l = nx = \frac{qt^\alpha}{k_0} = \frac{v_0 h}{k_{ср}},$$

она увеличивается с возрастанием удельного расхода (q), сопротивляемости почвы размыву (v_0) и с уменьшением проницаемости почвы ($k_{ср}$). В зависимости от этих условий длину полос на почвах с хорошей водопроницаемостью принимают до 80—120 *м*, а на почвах со слабой водопроницаемостью — до 125—300 *м*. При неровном микрорельефе длину полос уменьшают на 20—30%. При больших уклонах длину полос сокращают вследствие необходимости уменьшения q и h, чтобы не получились размывающие скорости течения воды; при малых же уклонах полос — менее 0,002 — длину их снижают вследствие уменьшения скорости.

На основании приведенных формул и соображений можно устанавливать нужные соотношения между размерами поливных полос, величиной поливной струи, поливной нормы и продолжительностью полива, обеспечивающие наиболее полное использование воды (отсутствие сбросов и др.) и необходимую производительность труда при поливе. В зависимости от правильного сочетания элементов техники полива и применения средств автоматизации распределения воды по полю производительность при поливе по полосам составляет от 2—4 до 8—10 *га* за смену на одного поливальщика. Правильная разбивка полос, выравнивание их поверхности, армирование

выпусков воды на полосы и другие методы имеют очень большое значение для повышения производительности труда.

Полив по проточным бороздам. При поливе по проточным бороздам почва увлажняется при движении воды отдельными небольшими струями по бороздам (рис. 25 и 26), причем вода поступает в почву главным образом капиллярным путем. В поливные борозды вода подается из выводных борозд (при продольном расположении временных оросителей) или же непосредственно из временных оросителей (при поперечном расположении их).

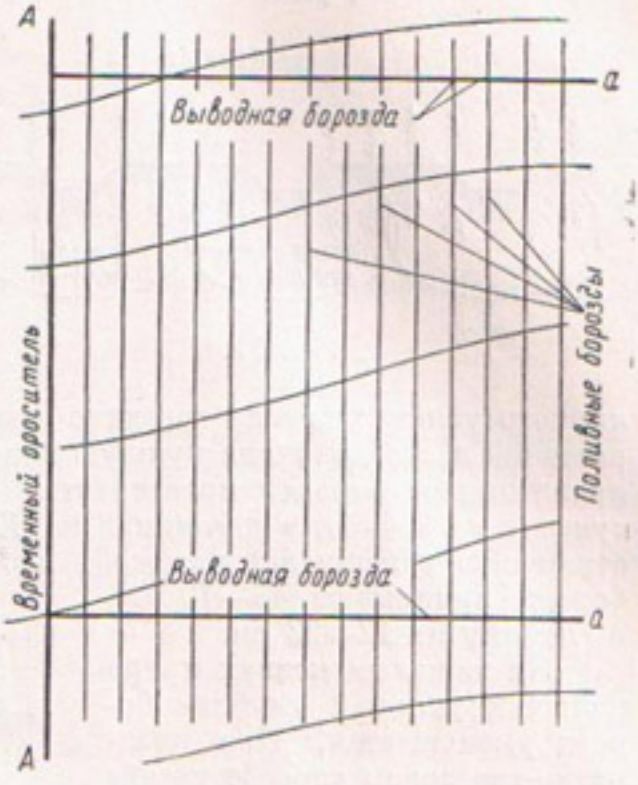


Рис. 25.

На рисунке 25 буквами *AA* обозначен временный ороситель, идущий по уклону; *aa* — выводные борозды, из которых вода подается в поливные борозды. Если уклон местности велик, то ороситель проводится под острым углом к горизонталям и параллельно ему — поливные борозды с уклоном 0,003—0,005. Поливные борозды нарезают по всей длине временного оросителя, а затем нормально к бороздам проводят выводные борозды.

Способ полива по бороздам допускает применение междурядной обработки, обеспечивает хорошую аэрацию и лучший микробиологический режим почвы; он позволяет лучше сохранять структуру почвы. Полив по бороздам применим по преимуществу для пропашных культур; при поливе



Рис. 26.

по бороздам непропашных культур (зерновых, трав и др.) делаются или ленточные четырех-пятистрочные посевы с узкими бороздами между лентами, или засеваемые широкие неглубокие борозды, нарезаемые одновременно

с посевом (рис. 27 и 28). Наиболее подходящий уклон борозд от 0,003 до 0,008; при больших уклонах местности борозды направляют под острым углом к нему, придавая дну борозд уклон 0,005.

Длину борозд обычно принимают от 60 до 300 *м*, в зависимости от проницаемости почв, уклона местности, размеров струи, планировки поля.

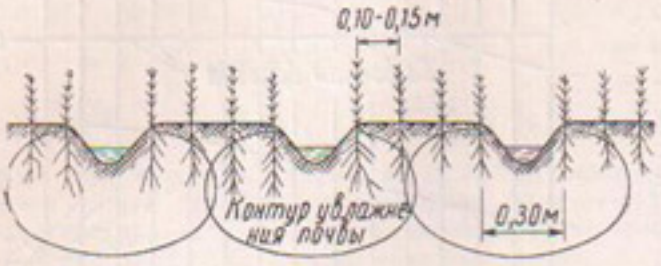


Рис. 27.

Ширину борозд поверху делают 25—35 *см*; чем больше водопроницаемость почвы, глубина воды и меньше уклон, тем больше ширина.

Характер контуров увлажнения обусловливается свойствами почвы и продолжительностью полива; расстояние между бороздами *a* должно быть таково, чтобы контуры капиллярного увлажнения на середине грядки смыкались, и корневая система растений легко получала нужную влагу. Увлажнение почвы в боковом направлении от борозды простирается в песчаных почвах на 20—25 *см*, в супесях на 25—35, в суглинках на 35—45 *см*. Сообразно боковому распространению увлажнения и способу посева культур расстояние между осями борозд принимают 45—70 *см*, а глубину их 12—22 *см*.

На тяжелых почвах и при больших уклонах глубина борозд уменьшается. При квадратно-гнездовом способе посева борозды делают небольшой глубины (12—15 *см*) для облегчения поперечной механизированной обработки.

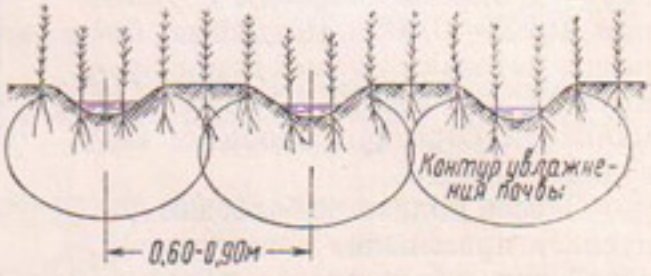


Рис. 28.

Наполнение борозд водой должно быть небольшим ($^1/_3$—$^1/_4$ глубины их), так как в этом случае (при небольшом q в борозде) исключается переполнение борозд водой и затопление поля (что важно при поливе по мелким бороздам). Кроме того, неглубокое наполнение борозд способствует: 1) поддержанию значительной части верхнего слоя почвы в рыхлом состоянии, что обеспечивает сохранение структуры почвы, более благоприятные водно-воздушный и питательный режимы, более равномерное увлажнение и поспевание почвы к обработке по длине борозд;

2) уплотняется только дно борозд, а откосы и гребень остаются рыхлыми, увлажняясь капиллярным путем;

3) на сильно влагоемких почвах с близким залеганием грунтовых вод и при прохладной весне увеличивается площадь нагрева и повышается температура почвы.

Теория и расчет бороздного полива. Скорость течения воды вверху борозды:

$$v = C_1 \sqrt{RI},$$

где $R = h\left(\frac{a+\varphi}{a+2\sqrt{1+\varphi^2}}\right) = \xi h.$

При обычных формах и размерах борозд значение коэффициента ξ в среднем равно 0,7—0,8.

Коэффициент скорости C_1 принимается от $\frac{87\sqrt{R}}{1,75}$ до $\frac{87\sqrt{R}}{4,5}$, в зависимости от степени шероховатости и глубины борозды. Следовательно, $v = 50\sqrt{I}R$ до $20\sqrt{I}R = CR$, где величина C равна от $50\sqrt{I}$ до $20\sqrt{I}$.

Скорость течения воды по борозде должна быть не больше 0,10—0,20 *м/сек*, чтобы не происходило разрушения структуры и размыва почвы.

Расход воды, поступающей в каждую борозду, равен:

$$q = Fv = FCR = \frac{CF^2}{P},$$

где P — смоченный периметр.

Если средняя ширина живого сечения F борозды равна b, а глубина воды h, то $F = bh$ и $P = \lambda b$, где $\lambda = 1 + \frac{h}{b}\left(2\sqrt{1+\varphi^2} - \varphi\right)$.

Согласно этому:

$$q = \frac{CF^2}{P} = \frac{C}{\lambda} bh^2 \text{ и } h = \sqrt{\frac{q\lambda}{bC}}.$$

Расход воды по длине борозды постепенно уменьшается, и разница расходов в сечениях x и $x+dx$ будет равна:

$$\frac{C}{\lambda} b\left[y^2 - (y-dy)^2\right] = \frac{C}{\lambda} b2ydy.$$

Эта разница обусловливается тем, что на длине dx вода поглощается в дно и откосы борозды и слой остающейся в борозде воды накапливается во время полива.

Влияние остающейся в борозде воды, как и при поливе напуском, может быть оценено некоторым поправочным коэффициентом n к скорости поглощения.

Среднюю скорость поглощения и накопления слоя воды в борозде на единицу длины ее в момент времени t можно выразить следующим образом:

$$w_x = \frac{nk_0}{t^a} b\lambda_0,$$

где $\lambda_0 = 1 + \frac{y}{b}\left(2\nu\sqrt{1+\varphi^2} - \varphi\right)$,

причем коэффициент ν является поправочным на боковое поглощение воды в откосы борозды капиллярным путем. Этот коэффициент тем больше, чем лучше выражены капиллярные свойства данной почвы; в зависимости от этого он может быть принят равным от от 1,5 до 2,5.

Таким образом, уравнение баланса воды в поливной борозде напишется так:

$$\frac{C}{\lambda} b2ydy = -\frac{nk_0}{t^a} \lambda_0 bdx.$$

Интегрируя[1] это уравнение, получим:

$$\frac{C}{\lambda}\left(h^2 - y^2\right) = \frac{nk_0}{t^a} \lambda_0 x.$$

Из этого уравнения получим длину пути впитывания воды x в борозде в момент времени t от начала полива:

$$\frac{Ch^2}{\lambda} = \frac{nk_0}{t^a} \lambda_0 x \text{ или } \frac{q}{\lambda_0 b} = \frac{nk_0}{t^a} x,$$

так как по предыдущему $q = \frac{C}{\lambda} bh^2$.

Выражение $\lambda_0 b = \varrho$ представляет собой активный смоченный периметр борозды с учетом действия капиллярных сил. Величина ϱ с уменьшением уклона борозды возрастает, так как при этом увеличивается слой воды в борозде h при данной величине струи q.

Из полученного выражения можно определить длину x и время добегания t_x воды, даваемой в борозду расходом q:

$$x = \frac{qt^a}{\varrho nk_0} \text{ и } t_x = \left(\frac{\varrho nk_0 x}{q}\right)^{\frac{1}{a}}.$$

Сопоставляя эти выражения с аналогичными выражениями при поливе по полосам, видим, что они имеют общий характер, причем расход воды в одну борозду q делится на активную ширину поглощения воды в борозде ϱ.

---

[1] Интегрирование возможно при допущении средней скорости впитывания; кроме того, принято $\lambda_0 = \text{Const}$.

Если длина борозды равна x, то при даваемой струе в одну борозду q в момент времени $t > t_x$ на конце борозды будет происходить сток воды с расходом:

$$q_x \frac{C}{\lambda} by^2 = \frac{C}{\lambda} bh^2 - \frac{nk_0}{t^\alpha} b\lambda_0 x = q \cdot \left(1 - \frac{\varrho n k_0 x}{q t^\alpha}\right).$$

Коэффициент стока в борозде на длине x в момент t равен $\gamma_0 = \left(1 - \frac{\varrho n k_0 x}{q t^\alpha}\right)$.

Если в конце борозды на длине x допускается сток воды q_x, что делается иногда для большей равномерности увлажнения почвы по длине борозды, то сбрасываемая вода должна поступать в следующую выводную борозду и затем в нижележащие поливные борозды, чтобы сброса воды с поля не происходило и вода не терялась бы бесполезно.

Для обеспечения полива без сброса в конце борозд нужно соблюдение условия: $\gamma_0 = 0$, т. е.

$$\frac{\varrho n k_0 x}{q t^\alpha} = 1{,}0.$$

При поливе без сброса в момент прекращения подачи воды в борозду, когда $t = t_x$, на длине ее останется объем воды, равный $\mu (b_0 + \varphi h) hx$, где $\mu = \frac{2}{3} \div \frac{3}{4}$. Часть этого объема, равная $\{\mu - (1 - \alpha)\} bxh$, стечет ниже длины x. Во избежание сброса полную длину борозды l надо сделать такой, чтобы было соблюдено условие:

$$(l - x) am = \{\mu - 1 + \alpha\} bhx,$$

откуда получим, что при поливе без сброса

$$n = \frac{l}{x} = 1 + \frac{h}{m} \cdot \frac{b}{a} (\mu - 1 + \alpha),$$

где a — расстояние между бороздами.

При поливе без сброса, т. е. при $t = t_x$, средняя на длине борозды поливная норма нетто, выраженная в виде слоя воды, будет равна:

$$m_{нт} = \frac{\varrho}{a} k_0 t^{1-\alpha} = \frac{(\varrho k_0)^{\frac{1}{\alpha}}}{a} \left(\frac{l}{q}\right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}},$$

а поливная норма брутто равна $m_{бр} = \frac{qt}{al}$. В этом случае коэффициент полезного действия (к. п. д.) полива будет равен единице (если не считать потерь на испарение воды во время полива).

Можно установить также связь поливной нормы с контуром увлажнения почвы по длине борозды и дефицитом требуемой влажности; если контур увлажнения имеет площадь поперечного сечения F, а разность требуемой и наличной влажности почвы в контуре F составляет $\delta\%$ от полной влагоемкости A, то можно написать равенства: $\delta FA = ma = \varrho k_0 t^{1-\alpha}$, дающие связь между основными факторами, имеющими здесь значение.

Из полученных выражений можно определить продолжительность полива:

$$t = \left(\frac{ma}{\varrho k_0}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} = \left(\frac{\delta FA}{\varrho k_0}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} = \frac{mal}{q} = \left(\frac{\varrho l k_0}{q}\right)^{\frac{1}{\alpha}}.$$

Отсюда видим, продолжительность полива t для дачи в почву нормы m (нетто) возрастает с увеличением m, l и с уменьшением q; поэтому с увеличением уклона I борозд продолжительность полива, нужная для дачи нормы m, увеличивается, так как при большем I уменьшается q.

Для увязки нужной величины m с даваемой в борозду струей q, расстоянием между бороздами a и естественной влажностью почвы применяются поливы через одну борозду.

Производительность труда при поливе по бороздам определяется величиной $v = \frac{Nal}{t} = \frac{Nq}{m}$, где N — число одновременно поливаемых одним поливальщиком борозд в течение времени t, a — расстояние между бороздами, l — длина борозд при поливной норме m и расходе воды, даваемой в каждую борозду — q, т. е. производительность труда при поливе по бороздам повышается: а) с увеличением числа одновременно поливаемых поливальщиком борозд $\left(\frac{N}{t}\right)$, что достигается автоматизацией распределения и подачи воды в каждую борозду и повышением качества планировки поля; б) с увеличением длины борозд l в соответствии с даваемым в каждую борозду расходом воды $\left(\frac{q}{\varrho}\right)$ на единицу смоченного периметра ϱ при данной норме полива m и водопроницаемости почвы (k_0). Увеличение l снижает время на армирование борозд на поливном участке и по-

вышает число обслуживаемых в единицу времени борозд $\left(\frac{N}{t}\right)$. Увеличение q при длине борозды l может вызвать сброс воды на конце борозды, размыв борозд и перелив воды; небольшой же q и медленное капиллярное увлажнение почвы позволяет сохранять структуру, но может сильно затянуть полив и дать неравномерное увлажнение почвы по длине борозды и большие потери воды на испарение. Если полив ведется без сброса, то величина струи в одну борозду при данном t должна отвечать условию $q=\frac{k_0 l \varrho}{t^a}$, причем скорость воды в борозде должна быть не больше 0,10—0,20 *м/сек*. Поэтому с увеличением уклона борозд величина струи уменьшается и при уклонах $I>0{,}015$ величина q дается не больше 0,10—0,15 *л/сек*. В зависимости от проницаемости почвы, длины и уклона борозд I расход воды в одну борозду q составляет от 0,10 до 0,50 *л/сек*.

Для равномерного увлажнения почвы и автоматизации распределения воды нужно дозировать поступление воды в каждую борозду, что достигается при помощи переносных железных или деревянных трубочек (рис. 29), сифонов (рис. 30), щитков и других устройств, ставящихся в голове каждой поливной борозды или двух смежных борозд. Трубочки диаметром 2—5 *см* закладывают в откосы выводной борозды; напор воды над трубочкой 5—10 *см* (сообразно нужной величине q). Автоматизация полива допускает ночные поливы, предохраняет головы борозд от размыва и увеличивает производительность труда.

Если величина струи в одну борозду равна q, а число одновременно поливаемых борозд равно N, то поливной расход, которым оперирует один поливальщик, составляет

$$p=Nq=\frac{b}{a}q=\frac{bk_0\varrho l}{at^a},$$

где b — общая ширина поливаемых им полос и a — расстояние между бороздами. Величина p обычно колеблется от 15—20 до 30—40 *л/сек*, и производительность полива составляет от 1 до 2—2,5 *га* за смену (а при тщательной планировке поля и автоматизации распределения доходит до 4—5 *га* за смену). Для значительного повышения производительности труда поливальщика, чтобы резко увеличить число поливаемых борозд N, в настоящее время конструируются специальные поливные машины, позволяющие значительно увеличить поливной расход p и ширину одновременно поливаемой площади b. Например, поливная машина конструкции Е. Г. Петрова (ВНИИГиМ) позволяет довести p до 200 *л/сек*, ширину захвата b до 100 *м*, а производительность полива до 10—20 *га* за смену. Эта машина (рис. 31) представляет собой смонтированную на самоходном двигателе двухконсольную ферму, поддерживающую трубу, от которой отходят гибкие шланги-водовыпуски, подающие воду непосредственно в каждую борозду (или полосу).

В соответствии с величиной p делаются размеры временных оросителей, выводных борозд и поливных трубопроводов.

Длина борозд при поливе без сброса должна быть равна:

$$l=nx=\frac{qt^a}{\varrho k_0}=\frac{Rvt^a}{k_0},$$

где R — гидравлический радиус борозды.

Таким образом, длина борозды при данном уклоне возрастает с увеличением струи q, даваемой в борозду, продолжительности полива t и с уменьшением водопроницаемости почвы (k_0). Что касается связи длины борозд с уклоном, то при одном и том же q длина борозды увеличивается с увеличением I, ибо возрастает скорость; однако при очень больших уклонах длина борозд несколько снижается для того, чтобы можно было уменьшить расход воды, подаваемый в борозду, чтобы скорость течения воды в борозде v при больших уклонах не превосходила допустимой величины по условиям неразмываемости почвы. Один из примеров связи длины борозд l и размеров струи q при разных уклонах I дан в таблице 16.

Таблица 16

Уклоны борозд I	Длина борозд l (в *м*)	Струя в борозду q (в *л/сек*)
0,015—0,01	70—100	0,15—0,25
0,01 —0,005	100—120	0,25—0,40
0,005—0,002	80—100	0,40—0,60
0,002—0,001	60—80	0,60—0,75

Данные таблицы 16 относятся к почвам средней проницаемости при недостаточно спланированном поле[1].

На легких почвах, подстилаемых галечником, приведенные величины l понижаются на 20—40%, а величины q повышаются сообразно увеличению k_0 (как это следует из

[1] На хорошо спланированном поле длину борозды можно значительно увеличить.

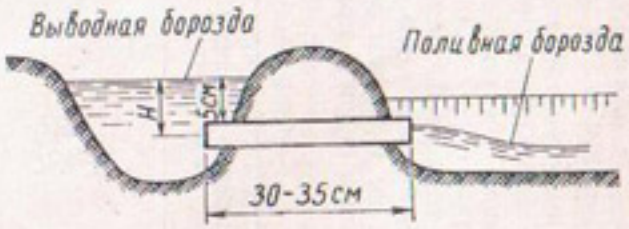


Рис. 29.

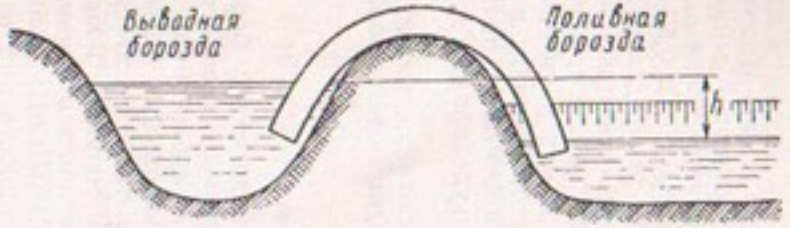


Рис. 30.

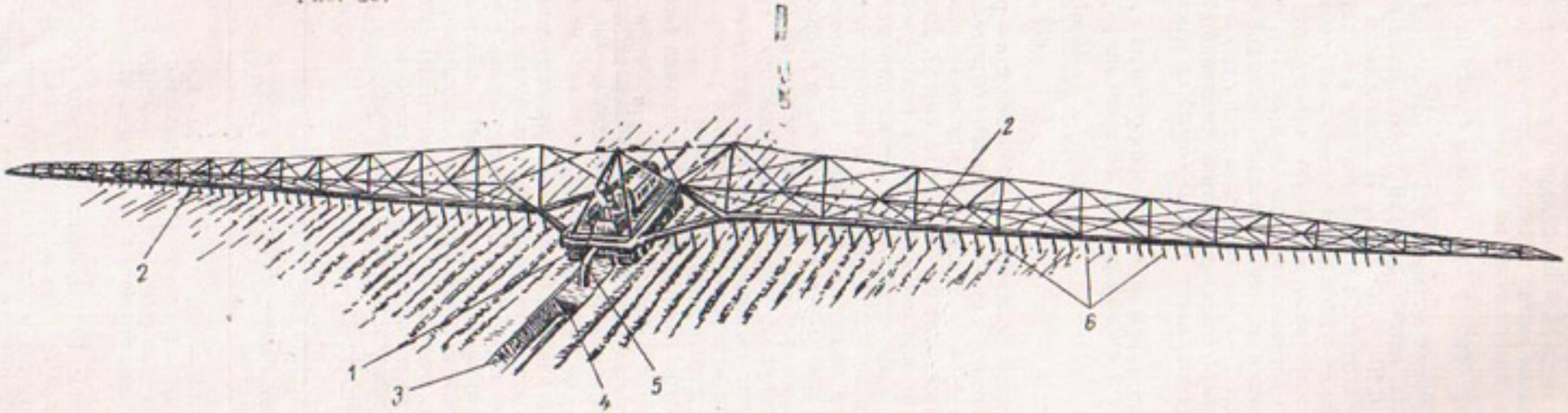


Рис. 31. Самоходная поливная машина:

1 — гусеничная тележка; *2* — консольная ферма; *3* — временный ороситель; *4* — передвижная перемычка; *5* — пропеллерный насос; *6* — водовыпуски — рукава.

формул). На тяжелых же почвах, наоборот, величины l повышаются, а q уменьшаются на 15—25% по сравнению с приведенными в таблице 16.

Равномерность увлажнения почвы по длине борозды зависит от следующих условий. При продолжительности подачи воды в голове борозды t и прохождении воды в конце ее $t_н$, увлажнение почвы вверху борозды будет эквивалентно слою воды $m_в = k_0 \frac{\varrho_в}{a} t^{1-a}$, а внизу борозды — слою воды $m_н = k_0 \frac{\varrho_н}{a} t_н^{1-a}$, где $\varrho_в$ и $\varrho_н$ — активный смоченный периметр вверху и внизу борозды. Равномерность увлажнения почвы по длине борозды, характеризуемая отношением $m_н : m_в$, будет $\frac{\varrho_н}{\varrho_в}\left(\frac{t_н}{t}\right)^{1-a}$. Если увлажнение почвы вверху и внизу борозды не должно отклоняться больше чем на $\pm\Delta$ долей от установленной средней нормы, то необходимо, чтобы

$$\mu = \frac{1-\Delta}{1+\Delta} = \frac{\varrho_н}{\varrho_в}\left(\frac{t_н}{t}\right)^{1-a} = \frac{\varrho_н}{\varrho_в}\left(1-\beta\frac{t_x}{t}\right)^{1-a},$$

где t_x — продолжительность добегания воды от начала до конца борозды на длине x, а коэффициент β, определяемый эмпирически, составляет от 0,9 до 0,7 и зависит от отношения времени стока воды в конце борозды t_1 после прекращения подачи воды в голове ко времени добегания t_x, так как $\beta = 1 - \frac{t_1}{t_x}$; с увеличением длины борозды x отношение $\frac{t_1}{t_x}$ уменьшается и, следовательно, значение коэффициента β увеличивается.

Смоченные периметры вверху и внизу борозды $\varrho_в$ и $\varrho_н$ близки между собой.

Если продолжительность подачи воды в борозду t (при постоянном расходе q) больше продолжительности добегания t_x, то в конце борозды происходит сток воды. Общий сток воды в конце борозды за время t_x при продолжительности подачи в борозду t расходом q определится из уравнения $qt = \frac{aml}{1-\sigma}$, где σ — сток в долях от подачи qt; m — средняя норма на длине борозды l. Отсюда можно получить, что $\sigma = 1 - \frac{\varrho n k_0 x}{qt^a}$; из этого выражения следует, что при продолжительности полива, равной длине добегания ($t = t_x$), сток в конце борозды длиной $l = nx$ будет равен нулю ($\sigma = 0$).

Если для увеличения равномерности увлажнения почвы по длине борозды допускается $t > t_x$ и сток в конце борозды, то этот сток должен поступать в следующую выводную борозду и использоваться на полив нижележащих борозд, *чтобы сброса воды с поля не было.*

Пользуясь вышеприведенными зависимостями для t_x, t, m, μ, можно установить необходимые элементы техники полива по бороздам (l, q, t), отвечающие определенным требованиям равномерности увлажнения по длине борозд Δ, нужной норме полива m и допустимой величине стока σ при данных условиях (k_0, a, I).

Для поддержания структуры и рыхлого слоя почвы в откосах и гребнях борозд полив должен вестись небольшим расходом воды q, подаваемым в каждую борозду, чтобы не было глубокого наполнения их водой. При этом начинать полив следует уменьшенной струей и постепенно доводить струю до нормальной величины q, а в конце полива снова снижать струю, чтобы не было стока (сброса) воды.

В вопросах о длине борозд и равномерности увлажнения учтены работы В. Е. Еременко (СоюзНИХИ), Н. Д. Кременецкого (МИИВХ), А. Н. Ляпина (САНИИРИ).

Так как водопроницаемость почвы борозд k_0 от первого полива к последующим снижается (вследствие заиления и уплотнения почвы и других причин) и в верхней части борозд сильнее, чем в нижней, следует при постоянной длине борозд уменьшать величину струи q от первых поливов к последующим.

Углубление борозд, как и уширение их, увеличивает поглощение воды, сокращает время добегания, снижает норму m и дает более равномерное увлажнение почвы по длине борозды.

Так как с увеличением уклона борозд расход q должен уменьшаться, то при больших уклонах делаются более мелкие борозды с рыхлым дном, при малых же уклонах — глубокие борозды с гладким дном.

Возможность рыхления почвы при бороздном поливе позволяет увеличить проницаемость почвы k_0 и тем самым благоприятно влияет на уменьшение сброса и повышает коэффициент полезного использования воды.

Полив по тупым бороздам. Земли с малым уклоном часто поливают по глубоким тупым бороздам путем наполнения их водой и последующего поглощения воды в почву во время стояния ее в борозде. При глубоком

затоплении борозд структура и аэрация почвы в гребнях между бороздами нарушаются, однако на землях с малыми уклонами этот способ полива имеет ряд положительных сторон, обеспечивая получение малых поливных норм, высокий к. п. д., уменьшение потерь на испарение и др.

Способ полива по глубоким бороздам наполнения применяется при орошении пропашных культур (хлопка, свеклы и др.) и овощей. При этом способе временные оросители AA (рис. 32) проводятся по наименьшему уклону местности (с уклоном 0,001—0,002). Поливные борозды делают глубиной 20—25 *см*, шириной 40—45 *см* и нарезают параллельно оросителю на всю длину его. После того как нарезаны поливные борозды, нормально к ним через определенные расстояния делают выводные борозды *аа*, по которым и доставляется вода из временного оросителя. Каждая борозда в нижнем конце своем закрыта земляной перемычкой, почему эти борозды и имеют название тупых или глухих борозд.

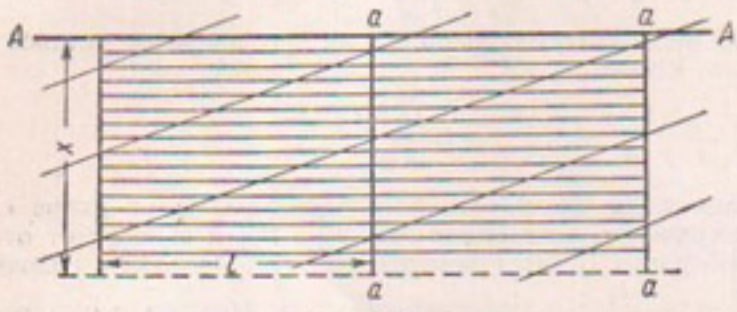


Рис. 32.

Длину поливных борозд l принимают от 40 до 80 *м*, в зависимости от рельефа, спланированности поля и почвенных условий: чем легче почва и хуже микрорельеф, тем короче длина борозд l.

При поливе вода из оросителя (расходом p) поступает в выводную борозду, из которой при помощи поперечных перемычек направляется в не-

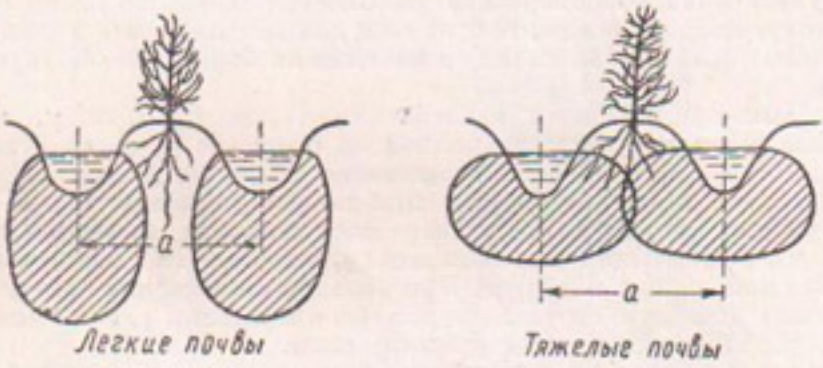


Рис. 33.

сколько поливных борозд (в зависимости от расхода p); после наполнения их вода дается в следующую группу борозд и т. д., пока не наполнит их все. Расстояния между осями поливных борозд принимают 0,6—0,7 *м*, а ширину гряд 0,30—0,40 *м*.

Расстояние между поливными бороздами a зависит от характера размещения растений и от свойств почвы: у легких почв (рис. 33) контуры увлажнения вытянуты книзу и расстояние a должно быть меньше, чтобы контуры увлажнения смыкались; наоборот, почвы влагоемкие имеют контуры увлажнения, вытянутые в стороны, сообразно чему расстояние a может быть больше. Если средняя глубина наполнения борозды водой равна H, а средняя ширина воды в ней равна $b = b_0 + \varphi H$, то объем наполнения одной борозды будет равен $v = bHl$ (рис. 34).

Чтобы наполнить борозду слоем воды H в течение времени t_1 при поливной струе q, необходимо затратить (пренебрегая испарением за время t_1) количество воды, равное:

$$t_1 q = (bH + P_0 \sigma_1 t_1) l,$$

где $\sigma_1 = \frac{k_0}{t_1^{\alpha}}$ — средняя за время t_1 скорость поглощения воды в почву;

P_0 — средний за время t_1 активный смоченный периметр борозды;

$$P_0 = b_0 + \frac{2}{3} \nu H \sqrt{1+\varphi^2},$$

где коэффициент $\nu = 1{,}5 - 2{,}5$, в зависимости от капиллярных свойств данной почвы.

Первое слагаемое в вышеприведенном уравнении представляет объем наполнения борозды, а второе — количество воды, поглощаемое почвой борозды за время ее наполнения t_1; отношение между первым и вторым объемами составляет от 1,5 до 3, в зависимости от проницаемости почвы, продолжительности t_1 наполнения борозды и расхода в одну борозду q. После наполнения борозды слоем H подача воды в борозду прекращается и объем воды bHl постепенно поглощается почвой в течение времени t_2.

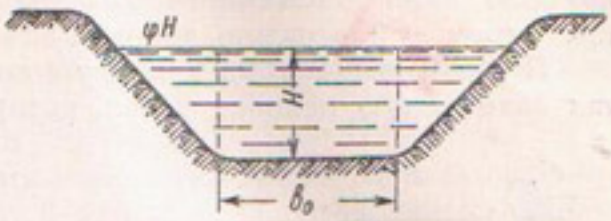


Рис. 34.

Если поливная норма нетто эквивалентна слою воды m, то:

$$t_1 q = mal \text{ и } t_1 = \frac{mal}{q},$$

если пренебречь испарением с водной поверхности борозды за время t_2. Из этого и предыдущего уравнений получим, что средняя глубина наполнения борозд должна быть равна:

$$H = \frac{a}{b} m - \sigma_1 t_1 \frac{P_0}{b} = \frac{a}{b} m \left(1 - \frac{P_0 l \sigma_1}{q}\right),$$

т. е. H зависит от требуемой нормы полива m и при данной m от q. Отношение $\frac{a}{b}$ зависит от капиллярных свойств почвы: для суглинистых почв оно равно 2,5—3.

Поливная струя q, даваемая в одну борозду для наполнения ее, не должна вызывать размыва почвы, т. е. скорость воды не должна превышать 0,30 *м/сек*. Поэтому расход q с увеличением уклона борозд уменьшается. С повышением же проницаемости почвы и длины борозд расход q увеличивается в целях получения более высокого к. п. д. полива. В зависимости от этих условий, расход воды в одну борозду составляет обычно от 1 до 3 *л/сек*. Если поливной расход на поливном участке равен p, то число одновременно наполняемых борозд будет равно $N = \frac{p}{q}$.

Производительность полива по тупым бороздам, согласно предыдущему, определяется отношением $\frac{Nal}{t_1} = \frac{Nq}{m} = \frac{pa}{Hb} = Nal\left(\frac{q}{Hbl}\right)$, т. е. она повышается с увеличением числа одновременно наполняемых борозд (N), расхода, даваемого в каждую борозду (q), и с уменьшением сечения борозд (Hb) при заданной норме полива (m).

Коэффициент полезного действия полива по тупым бороздам $\eta = \frac{mal}{qt_1}$ равен единице, если глубина заполнения борозд H соответствует поливной норме нетто m по вышеприведенному выражению.

Полив затоплением. При поливе затоплением почва увлажняется гравитационным путем, в результате поглощения созданного на поверхности почвы сплошного слоя воды. Этот способ полива имеет ряд недостатков, указанных выше; поэтому для пропашных культур он запрещен; полив затоплением допускается при промывке засоленных почв и при орошении риса.

При орошении риса непрерывным затоплением орошаемая площадь системой валиков разделяется на отдельные площадки затопления (или чеки) размерами от 0,2 —0,3 до 1 *га*, в зависимости от уклона местности. Ширина чека, в зависимости от поперечного уклона, делается от 40 до 80 *м*; длина чека зависит от продольного уклона местности, причем разницу отметок двух чеков при крутом рельефе делают обычно не больше 20 *см*, а при пологом — 10 *см*. Средний слой затопления водой колеблется от 10 до 15 *см*. Валики, ограждающие затопляемые чеки, сильно затрудняют механизацию сельскохозяйственных работ при этой культуре. Для улучшения условий механизации необходимо, чтобы валики были легко переходимыми тракторами с прицепными орудиями и комбайнами (или же временными). Затопляемые чеки должны иметь прямоугольную форму, причем длинная сторона располагается по направлению малого уклона местности, а короткая — по направлению большего уклона.

Уклоны поверхности затопляемых чеков не следует допускать больше 0,002, поэтому для орошения риса затоплением надо выбирать площади с малыми уклонами или прибегать к планировочным работам; планировка поверхности делается с точностью $\pm 0{,}05$ *м* от средней плоскости чека.

Размер чека, нормальный к направлению движения машин, должен быть кратным ширине захвата сельскохозяйственных орудий (ширина загона при тракторной вспашке, ширина захвата сеялок, уборочных машин).

Примыкающие друг к другу (по направлению уклона) чеки образуют так называемую цепочку чеков, которые в рисовом хозяйстве заливают последовательно. Число чеков, соединяемых в одну цепочку, равно 4—8.

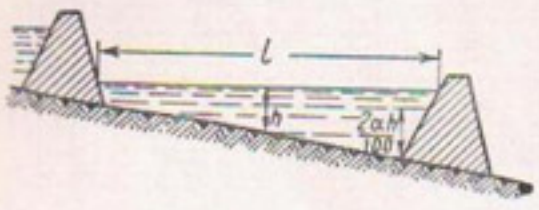


Рис. 35.

Производство орошения по цепочкам чеков, обеспечивая затопление рисовых площадей, не позволяет периодически поливать другие культуры, входящие в рисовый севооборот, а также поливать рис в период всходов и, кроме того, сильно затрудняет механизацию работ при уборке урожая и обработке почвы. Для устранения этих недостатков было предложено устройство чеков, имеющих каждый самостоятельную подачу и сброс воды и возможно более крупные размеры.

Расчет полива затоплением. Средний слой затопления чека водой h зависит от микрорельефа и степени планировки поверхности: неровная поверхность увеличивает h, так как все повышения микрорельефа должны быть покрыты слоем воды нужной толщины, вследствие чего во всех понижениях микрорельефа получается избыточный слой воды. Планировка поверхности чеков позволяет уменьшать среднюю толщину затопления и связанное с этим количество затрачиваемой воды.

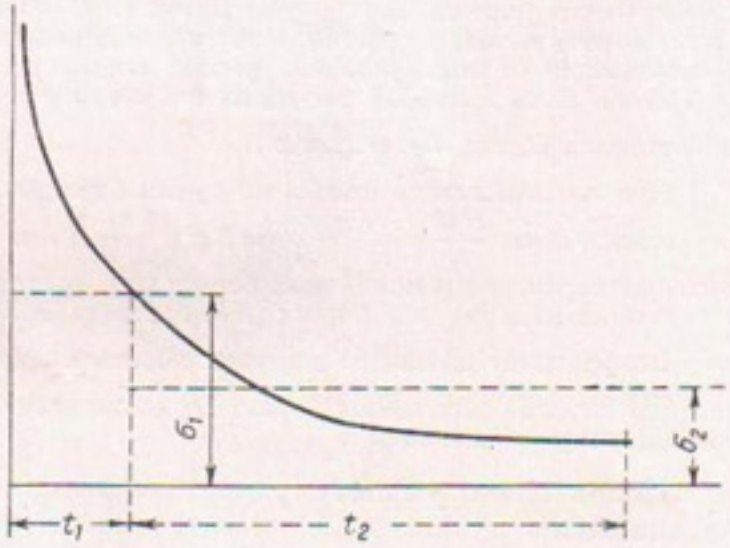


Рис. 36.

Длина чека зависит от глубины затопления h и от уклона поверхности (рис. 35). Если увлажнение почвы внизу чека не должно отличаться больше чем на $\alpha\%$ от среднего, то длина чека должна быть равна $l=\frac{2\alpha h}{100I}$, а ширина чека $b=\frac{2\alpha h}{100 I_0}$, где I — продольный, а I_0 — поперечный уклон чека, причем $I > I_0$. Разница глубин затопления вверху и внизу рисового чека должна быть не больше 10 *см*, т. е. $\frac{2\alpha h}{100}=0{,}10$ *м*. Чем больше h, тем выше должны быть валики; чем хуже микрорельеф и планировка, тем меньше делают длину чека l (при данном h). Увеличение l (при данном I) связано с повышением h, затрат воды и неравномерностью увлажнения, но удешевляет стоимость сети и облегчает механизацию сельскохозяйственных работ.

Средний расход воды p_1, даваемой на затопление цепочки n чеков слоем h, равен $p_1=\frac{\omega n}{t}(h+\sigma_1 t_1)$, а $t_1=\frac{n\omega h}{p_1-\sigma_1\omega n}$, где ω — площадь одного чека, t_1 — общая продолжительность затопления цепочки в часах и σ_1 — среднее за время t_1 поглощение воды в почву (в *м/час*). Общее количество воды на затопление цепочки чеков (в виде слоя) равно:

$$m=\frac{p_1 t_1}{\omega n}=h+\sigma_1 t_1=h\left(1+\frac{\sigma_1\omega n}{p_1-\sigma_1\omega n}\right)$$

Поливной расход на поддержание слоя h, применяемый при орошении риса, должен быть равен $p = (\sigma_2 + e_2)\omega n$, где σ_2 — средний слой (в единицу времени) поглощения воды в почву и оттока за время t_2 (рис. 36), а e_2 — интенсивность испарения в тот же период. Продолжительность времени t_2 определится по условиям культуры риса. Глубина промачивания почвы при близких грунтовых водах может достигать их глубины.

Производительность труда при затоплении определяется отношением $\frac{\omega n}{t} = \frac{p_1}{h + \sigma_1 t} = \frac{p_1}{\gamma h}$, где $\gamma = 1 + \frac{\sigma_1 t}{h}$. Так как $h = 0{,}5\sqrt{\frac{\omega I I_0}{\alpha\beta}}$, где I и I_0 — продольный и поперечный уклоны чека, α и β – отклонения слоя затопления от среднего h (в долях его) вверху и внизу чека, ω — площадь одного чека, равная bl, то из предыдущих выражений получим, что производительность труда при поливе затоплением может быть характеризована отношением $\frac{2p_1}{\gamma}\sqrt{\frac{\alpha\beta}{I I_0 \omega}}$. Отсюда видно, что производительность труда при поливе затоплением (при заданной средней норме затопления h и степени равномерности α и β распределения воды в чеке) повышается с увеличением даваемого на затопление расхода воды p_1, с уменьшением продольного и поперечного уклонов чека, т. е. с увеличением его спланированности, с возрастанием допустимой скорости течения воды в цепочке чеков во время затопления (v_0), так как коэффициент $\gamma = 1 + \frac{\sigma_1 t}{h}$ уменьшается с сокращением t, т. е. с увеличением скорости течения воды и, наконец, с уменьшением размеров чеков. Что касается формы чеков, то желательно сокращать длину их по наибольшему уклону (за счет увеличения ширины), так как уменьшение длины чека l способствует более быстрому образованию подпора, позволяет сокращать время затопления t и увеличивать расход воды p_1, подаваемый в цепочку чеков без опасности эрозии почвы. При большой ширине чека b можно подаваемый на затопление расход воды p_1 разбить на части.

Если слой воды h не сбрасывается, то после наполнения чека он поглощается в почву и испаряется в течение времени $t_3 = \frac{h}{\sigma_3 + e_3}$, где σ_3 и e_3 — средние скорости поглощения и испарения воды, выраженные в виде слоя в единицу времени.

Сравнение различных способов полива

Приведенные выше зависимости позволяют находить для каждого способа полива лучшие формы его, обеспечивающие при данных условиях требуемые нормы полива и высокий коэффициент полезного использования воды. Однако описанные способы полива весьма неравноценны в отношении своего влияния на структуру орошаемой почвы, на физические и химические свойства ее, на водный, питательный и солевой режимы, на плодородие почвы, на условия механизации сельскохозяйственных работ и агротехнику орошаемых культур.

Поливы по бороздам, позволяя осуществлять постепенное и медленное капиллярное смачивание почвы водой, лучше сохраняют и поддерживают комковатую структуру почвы, обеспечивают лучшую аэрацию орошаемой почвы и лучший ход процессов нитрификации, требуют меньших поливных норм, уменьшают потери воды на испарение из почвы, допускают рыхление.

Влияние способов полива по бороздам и по полосам на аэрацию почвы и процессы нитрификации можно иллюстрировать, например, данными опытов В. А. Сердобова в Куйбышевской области (табл. 17).

Полив затоплением требует более высоких (до двух раз) поливных норм, чтобы покрыть все неровности рельефа.

Таблица 17

Способ полива	Скважность почвы (в %)	Аэрация почвы (в %)	Содержание O_2 (в *мг*)	
			0—20 *см*	20—40 *см*
Полосы	57,3	36,4	15,1	8,5
Борозды	73,7	44,6	23,3	9,9

Вследствие высоких поливных норм при затоплении легче происходит подъем грунтовых вод, а усиленное испарение с поверхности почвы после затопления способствует легкому перемещению солей в верхние слои почвы и ее засолению. Полив затоплением требует больших планировочных работ, затрудняет механизацию сельскохозяйственных работ, способствует уплотнению почвы.

При бороздном поливе затраты труда на производство полива несколько больше, чем при других способах, однако эти затраты перекрываются меньшим объемом работ по планировке орошаемой по бороздам поверхности и высоким качеством бороздного полива. Поэтому среди способов поверхностного полива бороздные поливы должны быть признаны наилучшими.

В целях рационального использования оросительной воды, как было сказано выше, поливы должны вестись без сброса воды с полей и поливными нормами, не превышающими дефицита влагоемкости активного слоя почвы.

Для пропашных культур (хлопок, свекла, картофель и др.) применяется полив по бороздам.

При орошении узкорядных культур (зерновых и трав) применяется полив по полосам или же бороздной полив при ленточном пятистрочном посеве с бороздами между лентами, а также полив по засеваемым бороздам.

Для орошения овощных культур, картофеля и садов применяются бороздные поливы как по проточным, так и по глубоким тупым бороздам. Некоторые овощные культуры с узкими междурядьями поливают по полосам.

Способы полива при квадратно-гнездовом посеве пропашных культур

При квадратно-гнездовом способе посева хлопчатника, кукурузы, картофеля, овощных и других пропашных культур с перекрестной обработкой их поливы производятся по бороздам или дождеванием.

При квадратно- или прямоугольно-гнездовом посеве хлопчатника, который с успехом применяется в настоящее время, делают суженные междурядья 45—60 *см*, и в гнезде размещают по 2—3 растения по схемам 45 × 45, 45 × 60, 50 × 50 и 60 × 60 *см*, что позволяет иметь на гектаре до 110—130 тыс. растений. Этот способ позволяет не только увеличивать урожайность хлопка на 15—20% и более по сравнению с рядовым способом посева с широкими междурядьями, но и значительно сокращает затраты ручного труда на мотыжение и прореживание благодаря механизации не только продольной, но и поперечной обработки. При квадратно-гнездовом посеве с суженными междурядьями первые поливы хлопчатника проводятся в период бутонизации; для ускорения развития и созревания хлопчатника как первые 1—2 полива, так и поливы в период созревания на суглинистых почвах делаются через одно междурядье небольшими нормами (500—600 $м^3/га$).

При квадратно- или прямоугольно-гнездовом посеве, как и при рядовом, направление рядков растений должно соответствовать направлению полива. Если гнезда растений располагают по прямоугольнику, то в более широком междурядье нарезают поливные борозды и эти междурядья ориентируют по направлению полива, а поперечные междурядья служат для механизированной перекрестной культивации.

При перекрестной обработке перед поливом необходимо обеспечить нарезку поливных борозд, для чего сначала ведется культивация поперечных узких междурядий, а затем культивация и нарезка поливных борозд в продольных междурядьях.

После полива сначала проводится рыхление поливных борозд, с одновременным заравниванием борозд, чтобы при поперечной обработке они не мешали движению трактора.

При квадратно-гнездовом посеве полив ведут по бороздам небольшой струей, причем соотношение между шириной борозд B поверху с глубиной их h приближенно составляет (по А. Н. Ляпину) $B \cong \sqrt{h}$ (в *м*); глубину борозд при междурядьях в 45 *см* принимают 10—13 *см*, а при междурядьях в 60 *см* — до 18—20 *см*. Поливная струя, даваемая в одну борозду, колеблется от 0,10 *л/сек* при больших уклонах и мелких бороздах и до 0,4—0,5 *л/сек* — при малых уклонах и более глубоких бороздах. Мелкие борозды располагают поперек горизонталей, чтобы не было перелива воды; более глубокие борозды можно располагать и вдоль горизонталей. Длину борозд принимают от 50 до 300 *м* в зависимости от почвы, рельефа поливного участка и планировки поля.

При квадратно-гнездовом способе посадки картофеля необходимо при перекрестном окучивании его обеспечить целостность поливных борозд, пересекаемых поперечными бороздами, идущими в каждом междурядье. С этой целью необходимо сначала провести окучивание в поперечном к поливу направлении, а затем уже в продольном, нарезая одновременно поливные борозды. Глубина продольных борозд должна быть более поперечных, что обеспечит достаточную высоту перемычек, образуемых в местах пересечения борозд.

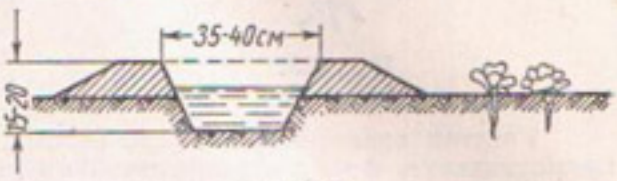
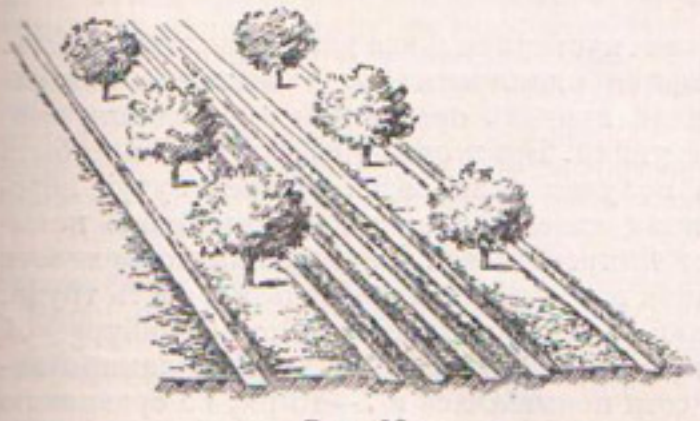


Рис. 37.

В период посадки рассады и ее приживания полив ведут следующим образом.

Если на посадке рассады используют рассадопосадочную машину, обеспечивающую одновременно с посадкой полив в каждую лунку нормой до 0,4 *л*, то непосредственная надобность в посадочном поливе по бороздам в день посева отпадает. Послепосадочный полив можно осуществить через 1—2 дня. Такая оттяжка срока полива дает возможность одновременно готовить к поливу, поливать и обрабатывать после полива площадь, засаженную в 2—3 дня.


Рис. 38.

Посадка ведется по гладкой поверхности поля, борозды нарезают накануне полива, а затем уже устраивают выводные борозды и временные оросители.

Распределительные борозды, необходимые при продольной схеме размещения временных оросителей, следует устраивать одновременно с выводной бороздой, для чего канавокопатель должен иметь специальное приспособление.

При ручной квадратно-гнездовой посадке рассадных культур для осуществления бороздного полива непосредственно вслед за ручной посадкой необходимо провести следующие работы:

а) нарезку культиватором-окучником поливных борозд на расстоянии друг от друга согласно заданному,

б) разбивку и устройство временной оросительной сети,

в) маркировку в поперечном направлении.

Посадка рассады как в горшочках, так и без горшочков ведется в какой-либо один край борозды (бровку). Посадку необходимо сосредоточивать на бороздах, поливаемых из 1—2 выводных борозд, с тем, чтобы немедленно вслед за окончанием посадки по каждой борозде начинать полив.

Полив осуществляется не более чем нормой добегания, так как корни растений находятся в непосредственной близости к воде, протекающей по борозде.

На следующий день после полива делается «приваливание» борозды — обработка, при которой одновременно с рыхлением борозды часть рыхлой, влажной почвы приваливается к ряду растений. При этой операции борозда не уничтожается, а отодвигается от рядка растений на 6—8 *см*.

Спустя 3—4 дня после посадочного полива делают подсадку на местах неприжившихся растений и осуществляют второй послепосадочный полив, после которого, если не потребуется еще полив для обеспечения приживаемости подсаженных растений, можно осуществлять перекрестную обработку всего поля, занятого данной культурой.

Если к моменту посадки пахотный и подпахотный слой почвы сильно иссушен, следует применять предпосадочный полив, который должен увеличить запас воды в почве и в то же время вызвать к прорастанию семена сорной растительности и усилить микробиологическую деятельность в почве. Всходы сорняков после полива будут уничтожены предпосадочными культивациями.

В случае летних посадок рассадных культур и картофеля предпосадочные поливы обязательны.

При бороздном способе переход от посадочных поливов к вегетационным сопровождается перемещением поливной борозды от рядка на середину междурядья.

Перекрестная обработка осуществляется одновременно по всей площади поля, занятого данной культурой, следовательно эта площадь должна быть полита в короткий срок и не больше чем в двое суток, в противном случае почва на части поля будет пересушена.



Рис. 39.

В тех случаях, когда обеспечить полив всего поля в короткий срок невозможно, необходимо его поделить на 2—4 участка одновременной перекрестной обработки. Границами между такими участками должны быть полосы земли между временными оросителями, на которых делают повороты обрабатывающие агрегаты.

Участки одновременной перекрестной обработки должны иметь квадратную или прямоугольную форму с допустимой по условиям механизации шириной.

Уровень воды в выводных бороздах должен быть выше поверхности орошаемой почвы, как это видно из рисунка 37.

Фруктовые деревья поливают по 4—6 бороздам, проводимым между рядами деревьев (рис. 38). Полив деревьев затоплением допускается только в исключительных случаях, при отсутствии уклона, причем чашку нужно делать кольцевую, чтобы вода не смачивала нижней части ствола (рис. 39).

Подготовка поверхности почвы к орошению

Для производства поливов необходима предварительная подготовка поверхности орошаемых полей.

Прежде всего должен быть удален кустарник и вся дикая растительность.

Затем основной работой является планировка, выравнивание поверхности полей, имеющее своей задачей придать орошаемой поверхности возможно ровный характер и нужный уклон. Без этого орошение не может быть равномерным: повышенные места получат мало воды, низины будут переувлажняться. Невыровненность поля способствует также засолению повышенных быстро высыхающих мест микрорельефа. Планировка поверхности значительно сокращает время полива и повышает производительность труда.

Например, в опытах А. М. Селькина в Бузулукском районе Оренбургской области при поливе по полосам производительность труда на спланированных участках и при армировании сети повышалась в 7—10 раз по сравнению с участками без планировки и армирования; кроме того, на неспланированных участках количество расходуемой воды увеличивается, урожай получается весьма пестрый вследствие посушек и вымочек, которые могут составлять от 10 до 40% площади участка. Слабой стороной планировки, кроме значительной стоимости ее, является опасность обнажения нижних бедных слоев почвы — на неглубоких почвах, или же горизонта залегания вредных солей — на засоленных почвах, и получения пестроты почвенных условий на поливном участке. Поэтому глубина срезок при планировке должна быть определена в зависимости от свойств почвы.

Планировка требует довольно крупного объема земляных работ — порядка 100—500 $м^3/га$ и больше, что часто является затруднением для проведения этого мероприятия.

Требования, предъявляемые к планировке на орошаемых землях, зависят от способа полива. Полив по полосам требует создания ровной поверхности (с нужными уклонами) как по длине поливных участков, так и по ширине их. Продольный уклон должен быть около 0,002—0,015, в зависимости от свойств (проницаемости и др.) почвы. Поперечный уклон по ширине полос не должен превышать 0,002; уступы ни в продольном, ни в поперечном направлении недопустимы.

При поливе по бороздам продольный уклон должен быть порядка 0,003—0,015, поперечный же уклон поливных участков между оросителями может быть больше, чем при поливе по полосам.

При поливе риса затоплением требуется создание слабоуклонной или горизонтальной поверхности каждого чека. Планировке подлежат площади со сложным микрорельефом, препятствующим проведению правильного полива, а также площади, не обеспеченные достаточным командованием оросителя. Планировка проектируется на планах в мас-

масштабе 1 : 1000—1 : 2000, в зависимости от сложности микрорельефа, с горизонталями через 0,10—0,20 *м*.

В соответствии с требованиями техники полива и характером рельефа, на плане поля с горизонталями, по сетке квадратов со сторонами в 10—20 *м*, проектируется необходимая будущая поверхность орошаемого поля (желательно достижение равенства объема срезок и насыпей и минимума дальности возки грунта). Затем в каждой точке сетки квадратов сопоставляются естественные и проектные отметки поверхности и таким путем определяются нужные глубины срезок и высоты насыпей, надписываемые в каждой точке на плане. Затем отдельно подсчитываются общая сумма глубин срезок $\Sigma h_{ср}$ и общая сумма высот подсыпок $\Sigma h_{нас}$. Суммы срезок и подсыпок на планируемом участке не должны расходиться больше чем на 10%. Общий объем планировки V определяется как среднее объема срезок и насыпей:

$$V = \frac{V_{ср} + V_{нас}}{2} = \frac{\omega}{2n}(\Sigma h_{ср} + \Sigma h_{нас}),$$

где ω — площадь планируемого участка;

n — общее число отметок на нем.

Имеется несколько методов планировки орошаемой поверхности для полива. Наиболее распространенным является метод Н. П. Самсоновой, основанный на балансе работ по поперечникам, перпендикулярным направлению полива; проектирование планируемой поверхности делается в пределах площадей, ограниченных трассами временных оросителей[1]. Метод С. М. Кривовяза основан на исправлении горизонталей существующей поверхности поливного участка в соответствии с требованиями полива. Наложение на план проектируемых горизонталей на существующие позволяет определить нужные объемы срезок и насыпей грунта[2]. В методе В. Н. Мартенсона проектирование планировки ведется по площадкам между временными оросителями и выводными бороздами. В последнее время А. Н. Ляпиным предложен метод планировки под линейчатую поверхность, т. е. только по длине отдельных поливных борозд или полос; для упрощения Х. К. Газиев предлагает при планировке поливных участков исходить из баланса половины и части полос между временными оросителями[3].

При планировке орошаемых площадей необходимо соблюдение следующих главнейших условий: 1) командование вышележащих выводных борозд (или оросителей) нижележащими поливными площадками (без подсыпок); 2) отсутствие обратных уклонов по длине поливных борозд и поливных участков; 3) отсутствие уступов между поливными делянками; 4) минимумы объемов срезок и насыпей, возможная близость их и минимум перевозок грунта в пределах планируемой площади.

Для планировки используют скреперы, грейдеры и длиннобазовые планировщики со сплошной срезкой грунта или же со срезкой кулисным способом; второй способ более трудоемкий, но позволяет сохранять на месте около половины верхнего слоя почвы и потому имеет преимущества при планировке маломощных почв.

Примерный порядок перемещения грунта (срезка повышений и засыпка низин) при планировании поверхности поливного участка показан на рисунке 40, взятом из работы инж. В. Осадчего (САНИИРИ). Почва во время планировки должна быть не слишком влажной, во избежание уплотнения, и не очень пересушенной, для предохранения от сильного ее распыления. Точность планировки при работе скреперами и грейдерами составляет от ± 3 до ± 5 *см*. Осадка насыпных участков на суглинистых почвах составляет около 20—25% по высоте, что нужно учитывать при производстве работ.

Так как после планировки, особенно по методу сплошных срезок, создается значительная пестрота почвенного покрова, могущая повлечь снижение урожая сельскохозяйственных культур, на спланированных площадях должны проводиться специальные агромелиоративные мероприятия, повышающие и выравнивающие условия плодородия почвы: а) осенне-зимняя влагозарядка, а на засоленных почвах — промывка; б) внесение повышенных количеств минеральных и особенно органических удобрений на места срезок; в) глубокая вспашка (зяблевая) и хорошая обработка почвы.

Планировочные работы включают в себя: а) предварительное взрыхление (вспашка) верхнего слоя почвы орошаемой площади; б) срезку всех возвышенных частей (бугров) и засыпку срезанной землей всех пониженных частей микрорельефа (в частности, очень важна полная или частичная засыпка резервов у оросительных каналов); в) придание требуемого уклона

---

[1] Н. П. Самсонова. Планировка орошаемых площадей. Сельхозгиз, М., 1952.

[2] С. М. Кривовяз. Составление рабочих схем планировки поливных участков. Ташкент, 1951. *Прим. автора.*

[3] Х. К. Газиев. Планировка поливных участков при переходе на новую систему орошения. Фрунзе, 1955. В этой работе дается описание и других методов планировки орошаемых земель. *Прим. автора.*

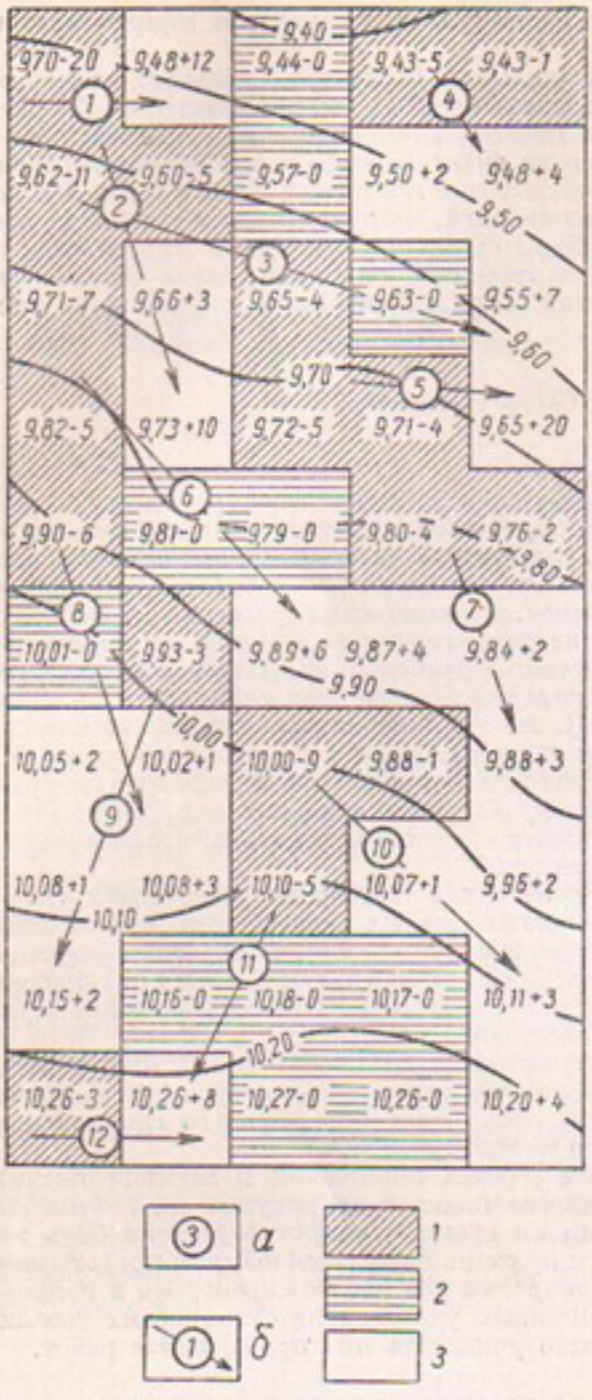


Рис. 40. Примерная рабочая схема планировки поливного участка:

а—номер маршрута; *б*—маршрут возки грунта; *1*—контуры срезки; *2*—контуры нулевых работ; *3*—контуры насыпи.

поверхности поливных участков; г) выравнивание спланированной поверхности.

Планировку разделяют на два основных вида: 1) основная (или капитальная) планировка, состоящая в выполнении пунктов *а*, *б* и пункта *в* вышеуказанных работ, и 2) текущая (или эксплуатационная) планировка, состоящая в выполнении пункта *г* вышеназванных работ.

Основную планировку совмещают с постройкой постоянной распределительной сети, так как это позволяет избежать устройства резервов или уменьшить их и обеспечивает лучшие условия командования и полива. Текущая планировка производится в порядке подготовки к освоению и поливу каждого поливного участка; она делается на паровых полях или же после уборки урожая. Планировку лучше производить под посев трав в севообороте.

Вспашка поверхности перед основной планировкой необходима на всех почвах, кроме легких песчаных. Если срезка почвы может повлечь обнажение засоленных горизонтов почвы, то такие повышенные места или выключаются из планировки, или срезаются на меньшую высоту.

Для механизации работ по подготовке земель к орошению (раскорчевка и удаление кустарника, планировка и выравнивание земель) следует иметь соответствующее количество машин — бульдозеров Д-159, Д-149, Д-147, двухкорпусных кустарниковых плугов, универсальных рам КПУ-2000, скреперов С-147, С-183, прицепных грейдеров, тракторов ДТ-54 и С-80, автомашин и автокранов для погрузки выкорчеванных кустарников и вывозки их.

Для выравнивания поверхности, а также для подготовки поля к поливу применяются тракторные движки или планеры, деревянные или металлические и длиннобазовые планировщики.

Новая система орошения и устройство временной оросительной сети

Оросительная регулирующая сеть в хозяйстве (совхозе или колхозе) состоит из временных оросителей, из которых вода при поверхностном орошении подается в поливные борозды или полосы непосредственно или же при помощи выводных борозд. Временные оросители получают воду из постоянных распределителей, подающих воду в хозяйство или на отдельные

поливные участки (необходимых по условиям механизации размеров и формы).

Вопрос о замене постоянных оросителей временными возник в СССР еще в тридцатых годах.

В связи с коллективизацией сельского хозяйства наши научные учреждения, передовые колхозы и совхозы стали разрабатывать вопросы переустройства оросительной сети для условий крупных социалистических механизированных хозяйств. В результате были установлены принципы проектирования и устройства оросительной сети для этих условий и размеры крупных поливных участков — до 40—60 *га* — с временной оросительной сетью внутри них, не стесняющей механизации сельскохозяйственных работ. Для поперечной обработки предусматривалась возможность переходимости тракторами и прицепными машинами оросителей и последующего механизированного восстановления их (работы А. Н. Костякова, Н. Д. Кременецкого, С. П. Трombачева и др.). Уже в первые годы коллективизации начались опыты применения крупных поливных участков с временными оросителями вместо постоянных. Работы в этом направлении велись в научно-исследовательских учреждениях и в передовых хозяйствах как в хлопковых, так и в зерновых орошаемых районах.

Различные схемы устройства временных оросителей, давшие необходимые материалы для перехода на новую систему орошения, предложили С. А. Делинкайтис, Г. Л. Шуткин, Г. М. Гуссейнов, А. Г. Турбин, А. Н. Ляпин, А. Ниязов, П. Д. Худяков и др.

Устройство вместо постоянных временных оросителей, ежегодно нарезаемых на период поливов, имеет следующие преимущества: 1) дает возможность иметь крупные размеры постоянных поливных участков, получающих воду непосредственно из распределительных каналов; размеры и форма постоянных поливных участков в системах таковы, что не создают препятствий продольной и поперечной механизированной обработке почвы и квадратно-гнездовому посеву; 2) освобождает площади, терявшиеся под неиспользуемые полосы земли вдоль постоянных оросителей, и уничтожает очаги сорняков и вредителей на этих полосах, распространявшихся отсюда на поля; 3) позволяет использовать фильтрующуюся из оросителей воду сельскохозяйственными растениями, растущими на бортах оросителей; 4) облегчает широкую механизацию всех сельскохозяйственных работ в пределах всего крупного постоянного поливного участка и, в частности, механизацию перекрестной обработки пропашных культур, что сокращает затраты труда на ручную обработку; 5) устраняет затраты труда на очистку и окашивание оросителей, составляющие при постоянных оросителях около 0,5 трудодня на 1 *га* за лето; 6) сокращает общую длину постоянных оросительных каналов в 3—4 раза, что уменьшает потери воды на фильтрацию в оросительной сети.

Расположение временных оросителей. Ранее уже указывалось, что для совершенного проведения каждого способа поверхностного полива (при данных q, k, l) необходимы определенные размеры уклона борозд, полос, чеков, чтобы иметь нужную допустимую среднюю скорость движения поливной воды; этим и определяется направление полива (борозд, полос и др.) по отношению к рельефу орошаемого поля; оно может идти по наибольшему, наименьшему или некоторому промежуточному уклону поверхности поля. Временные же оросители по отношению к направлению полива (т. е. направлению борозд или полос) могут нарезаться по продольной или поперечной схеме, а по отношению к рельефу орошаемой площади они располагаются по наибольшему, наименьшему или некоторому промежуточному уклону, в зависимости от направления полива и допустимой скорости течения воды.

При продольной схеме расположения временные оросители нарезают параллельно направлению полива; при этом вода из временных оросителей подается в поливные борозды или полосы посредством выводных борозд, нарезаемых нормально к временным оросителям.

Если поливные борозды или полосы и параллельные им временные оросители расположены по наибольшему уклону орошаемого поля (рис. 41 и 42), то расстояния между выводными бороздами l при продольной схеме определяются длиной поливных борозд или полос, направление которых показано на чертежах стрелками. В этом случае возможно двустороннее

командование временных оросителей (рис. 42) и облегчается полив на пересеченном рельефе. Длина временных оросителей может доходить до 1000 *м*, в зависимости от проницаемости почвы и рельефа. Расстояния между временными оросителями при продольной схеме (от 50 до 200 *м*) определяются максимально допустимыми расходами воды и длиной выводных борозд. При значительных уклонах местности во избежание размыва применяется косое расположение поливных борозд или полос и временных оросителей по отношению к уклону или уменьшается расход воды в оросителе.

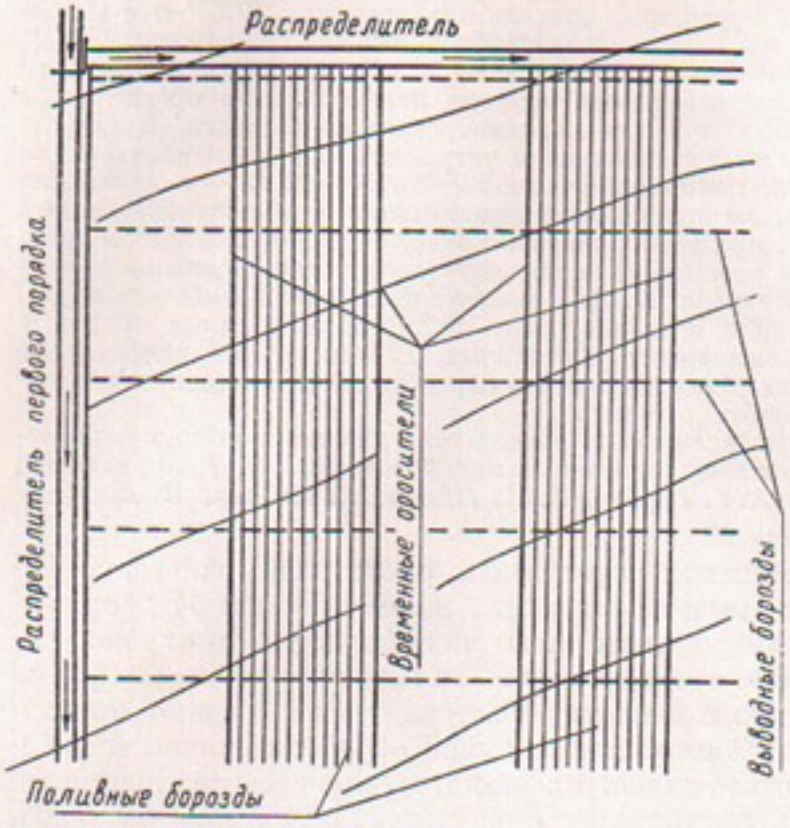


Рис. 41.

Если полив производится по меньшему уклону местности (главным образом по тупым бороздам, полив по полосам в этом случае трудно осуществим) (рис. 43, где направление полива показано стрелками), то временные оросители при продольной схеме нарезаются также по меньшему уклону, а выводные борозды по наибольшему уклону орошаемой площади. Расстояния между временными оросителями могут быть больше, однако при малом уклоне снижается скорость воды в них. Двустороннее командование оросителей невозможно, но при соответствующем рельефе возможно двустороннее командование хозяйственных распределителей.

При поперечной схеме расположения временных оросителей они нарезаются нормально к направлению поливных борозд или полос, что позволяет подавать воду в поливные борозды и полосы непосредственно из временного оросителя.

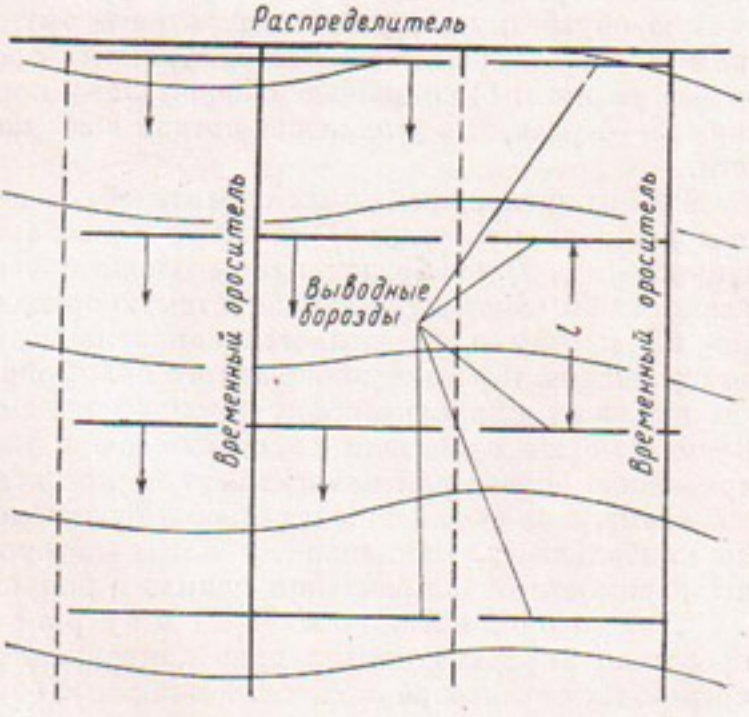


Рис. 42.

Если при поперечной схеме поливные борозды или полосы нарезаются по наибольшему уклону, а временные оросители по меньшему уклону (рис. 44), то постоянный распределитель, из которого они получают воду, расположен по большему уклону. Поливать можно как по бороздам, так и по полосам, причем те и другие могут получать воду непосредственно из времен-

ного оросителя. Расстояния между временными оросителями определяются длиной поливных борозд или полос. Длина временных оросителей в этой схеме делается от 400—600 до 800—1000 *м*, в зависимости от уклона оросителя, расхода воды и проницаемости почвы; при сложных условиях рельефа и сильной водопроницаемости грунта длина оросителей уменьшается. Расположение временных оросителей (рис. 44) по наименьшему уклону не допускает двустороннего командования их, снижает скорость течения воды в оросителе, но при поливе по полосам позволяет располагать полосы по ширине поливного участка и вести полив поперек рядков растений, что дает более равномерное распределение воды по ширине, уменьшает эрозию почвы.

Если при поперечной схеме поливные борозды нарезаются по наименьшему уклону, а временные оросители по

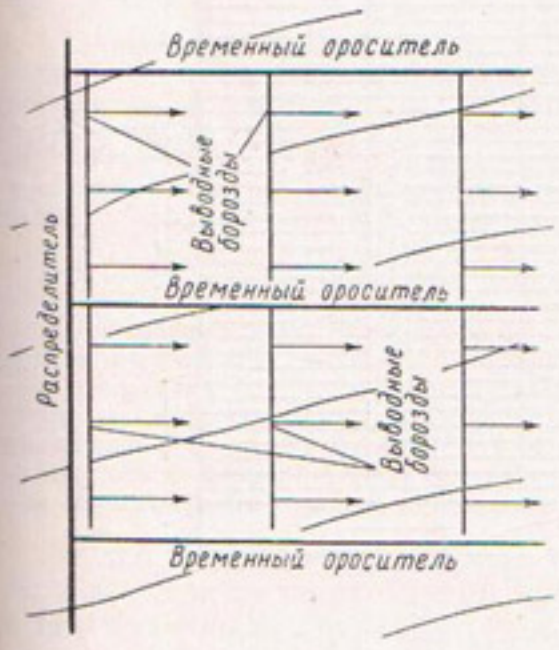


Рис. 43.

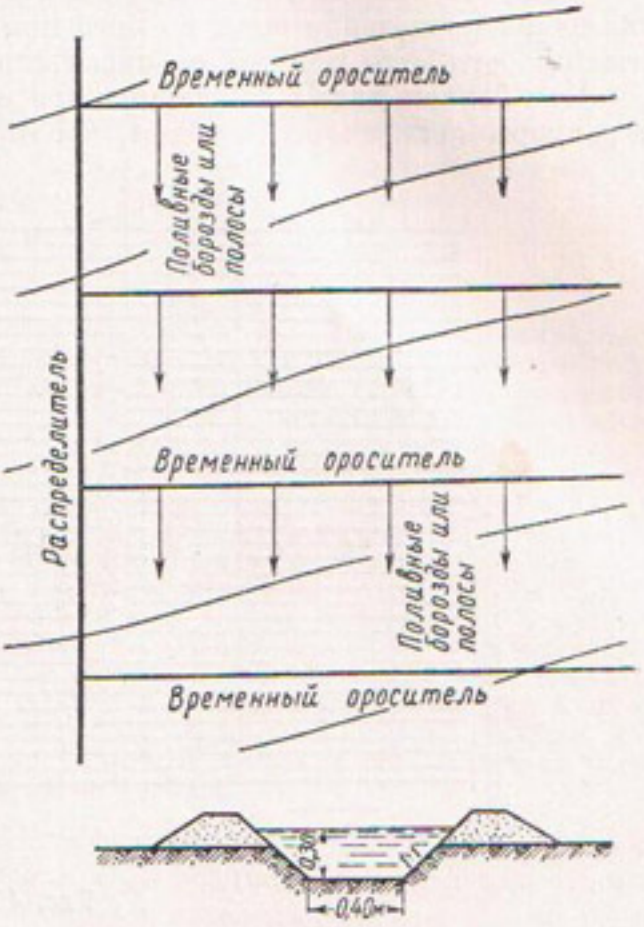


Рис. 44.

наибольшему (рис. 45), то длина временных оросителей при этой схеме составляет около 400 *м*, а расстояния между ними делаются равными длине поливных борозд (60—80 *м*), в зависимости от проницаемости почвы, уклона борозд и даваемого в них расхода воды.

Расстояние между постоянными участковыми распределителями в этой схеме принимают около 400 *м*, а длину их — около 800—1000 *м*.

При поперечной схеме расположения временные оросители могут иметь и косое направление к наибольшему уклону орошаемой площади, если это обеспечивает нужный уклон поливных борозд или полос.

Выбор продольной или поперечной схемы расположения временных оросителей зависит от рельефа орошаемой площади, нужного уклона поливных борозд или полос и расположения постоянных межхозяйственных и хозяйственных каналов.

Поперечная схема расположения временных оросителей, не требующая устройства выводных борозд, позволяет за счет этого значительно (в 1½—2 раза) сократить длину временной сети, уменьшить затраты труда на устройство и заравнивание выводных борозд и избежать добавочных трудностей, создаваемых ими при обработке почвы и уборке урожая. Слабой стороной поперечной схемы является сложность осуществления ее при неспокойном поперечном рельефе и необходимость проходимости временных оросителей машинами при орошении пропашных культур; преимущества поперечной схемы наиболее существенны при орошении зерновых культур и трав.

И при продольной и при поперечной схеме расположения временные оросители должны быть возможно более прямолинейными.

Устройство временных оросителей позволяет хорошо приспособить регулирующую сеть к условиям микрорельефа каждого орошаемого участка и обеспечить более равномерное увлажнение его.

Длина временных оросителей должна отвечать наивыгоднейшей длине гона тракторов, работающих на поле. Однако производительность трактора после известной длины гона 0,8—1 *км* с увеличением ее возрастает слабо.

С другой стороны, с увеличением длины оросителя свыше 1 *км* затрудняется распределение воды из него при поливе поля, увеличиваются холостые пробеги воды при работе оросителя тактами и потери воды.

Чем больше длина временного оросителя, тем больше расход воды в нем и размеры поперечного сечения, что может затруднить проходимость его

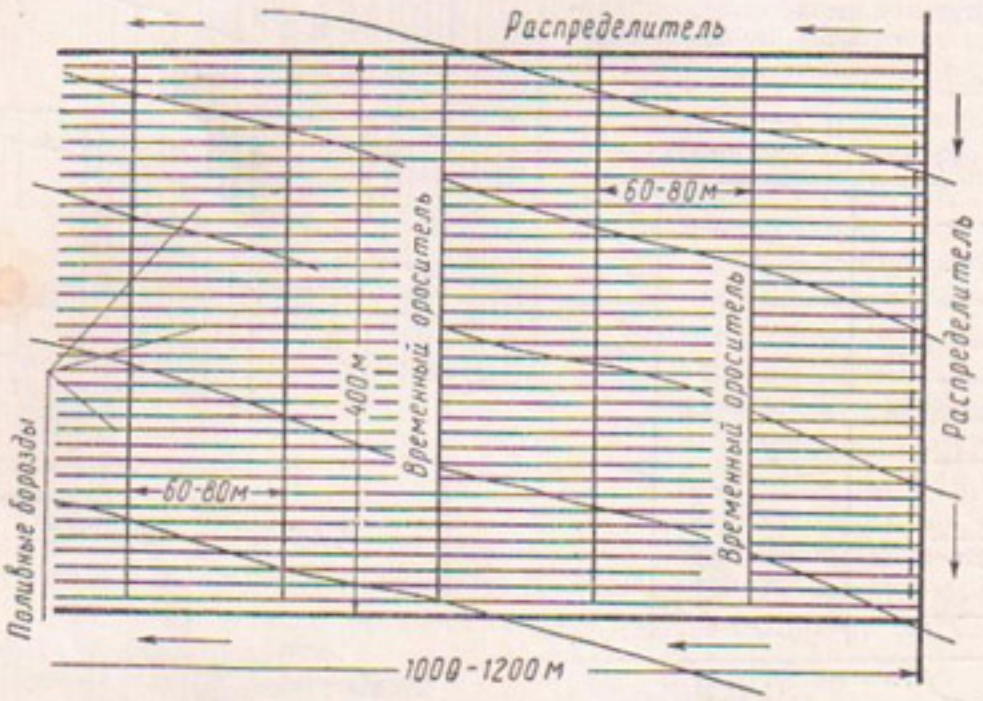


Рис. 45.

машинами и нарезку его. По этим соображениям длину временных оросителей делают не больше 0,8—1 *км*, но и не меньше 400 *м*, чтобы не затруднять условий механизации сельскохозяйственных работ на полях.

Размеры временных оросителей. Пропускную способность и стандартное поперечное сечение временных оросителей обычно рассчитывают на расходы воды в 20, 40, 60, 80 и 100 *л/сек*.

Проходимость сельскохозяйственных машин и тракторов обеспечивает поперечное сечение временных оросителей с расходом воды до 20—40 *л/сек*. Если не требуется соблюдения этих условий, расход воды во временных оросителях может быть увеличен до 60—100 *л/сек*, в зависимости от условий грунта, длины оросителей, характера культуры.

Продолжительность полива из временного оросителя, временной поливной площадки, требуемой нормой полива (m *м*^{3}*/га*) должна быть увязана с продолжительностью механизированной обработки или культивации поля и не должна превышать 1—2 суток. Если длина временных оросителей равна L *м*, расстояние между ними равно B *м*, то расход воды во временном оросителе должен быть не меньше

$$Q_{в.о} = \frac{mBL}{10^4 \cdot 86{,}4\tau} \text{ л/сек.}$$

По этому уравнению, зная допустимую величину расхода воды во временном оросителе $Q_{в.о}$, продолжительность работы его ($\tau = 1-2$ суток) и длину его L, можно определить требуемое расстояние B при этих условиях. Для этого (при нужном рас-

ходе воды Q и уклоне) должны быть подобраны соответствующие размеры поперечного сечения временного оросителя, удовлетворяющие условиям неразмываемости, проходимости и механизированной нарезки.

В качестве примера в таблице 18 приводятся размеры временных оросителей (ширина по дну b и глубина h в *см*) при разных расходах воды в них и уклонах дна.

При уклоне временного оросителя больше 0,005 расходы воды в 40 *л/сек* и выше не допускаются.

Таблица 18

Уклон временного оросителя	Расходы воды (в *л/сек*)							
	20		40		60		80	
	b	h	b	h	b	h	b	h
<0,001	30	30	50	30	50	35	50	40
0,001—0,003	30	25	40	30	50	30	50	35
0,003—0,005	30	20	40	25	50	25	50	30
0,005—0,007	30	20	—	—	—	—	—	—

Поперечное сечение временных оросителей делается в полувыемке-полунасыпи и неглубоким, так как в этом случае больший объем воды командует над орошаемой поверхностью. Командование или уровень воды оросителей должен быть выше орошаемой поверхности на 5—10 *см* при больших уклонах и до 15 *см* — при малых уклонах оросителей. Ширина по дну b и глубина наполнения h определяются в соответствии с расходом и уклоном оросителя. Отношение ширины по дну b к глубине воды h делается больше в каналах с большим уклоном и на почвах, подверженных размыву, примерно от 1 до 2,5.

Широкий, но неглубокий профиль временных оросителей обеспечивает лучшую их проходимость машинами и бóльшую пропускную способность (даже при небольших уклонах), что важно для повышения производительности труда при поливе. Откосы временных оросителей делаются внутренние — одиночными (редко двойными), а наружные откосы дамбочек от двойных до четверных — для проходимости оросителей машинами. Для проходимости оросителей машинами В. А. Шаумян предложил делать временные оросители по типу широких, но неглубоких засеваемых ложбин. Скорость течения воды во временных оросителях должна быть не более 0,5—0,6 *м/сек*, во избежание размыва. Для лучшей проходимости и увеличения пропускаемого расхода воды иногда устраивают рядом два параллельных оросителя меньших размеров каждый.

Одно из поперечных сечений временного оросителя показано на рисунке 44. Расход воды во временном оросителе $Q_{в.о}$ распределяется между отдельными выводными бороздами (или поливными площадками) поливными токами определенной величины p; поэтому $Q_{в.о} = Np$, где N — число одновременно работающих поливных площадей или выводных борозд на данном оросителе.

Величина поливного тока p зависит от способа полива, свойств почвы, уклона поливаемых площадок и их длины и ширины. Увеличение поливного тока при прочих равных условиях повышает производительность труда, уменьшает продолжительность полива, но может вызвать явления смыва почвы, сброс воды в конце борозд или полос. Поэтому надо так подобрать величину поливного расхода воды и число одновременно работающих поливных токов у одного поливальщика и так согласовать их с длиной борозд или полос, чтобы при данной норме полива, уклоне и свойствах почвы получать высокую производительность труда, высокий коэффициент использования воды и хорошее качество полива (сохранение структуры почвы, равномерное увлажнение почвы и др.). Величина поливного тока обычно составляет 10—20 *л/сек* и в каждом случае должна быть увязана с условиями и размерами поливных площадок. Число поливных токов, которыми может оперировать один поливальщик, зависит от степени автоматизации полива и опытности поливальщика.

Фильтрация воды из временных оросителей может достигать значительных величин — от 15—20 до 48—50% от расхода воды в них на 1 *км* длины. Однако не все количество фильтрующейся из временных оросителей воды является потерей, так как значительная часть этой воды размещается в верхнем 1,2—2-метровом слое почвогрунта и используется растениями, размещаю-

щимися в непосредственной близости от временных оросителей и на образующих их дамбочках.

Количество фильтрующейся из временного оросителя воды за время работы его τ составляет $S = \frac{\sigma Q l}{100}\tau = Plk_0\tau^{1-\alpha}$, где Q — расход воды, l — длина, P — смоченный периметр оросителя, σ — процент фильтрации на единицу длины оросителя.

Фильтрующаяся из оросителя вода растекается в глубину и в стороны, причем дальность растекания в стороны от оросителя составляет от 2 до 3—3,5 *м* в зависимости от свойств почвы, размеров оросителя и продолжительности его работы. Количество фильтрационной воды, остающееся в верхнем слое почвы H (мощностью 1,2—2 *м*) после работы временного оросителя и насыщающее его до потенциальной влагоемкости на длине временного оросителя l, составляет $W = BHl\left(\frac{\beta_{max} - \beta_0}{100}\right)$, где B — ширина растекания фильтрационной воды из временного оросителя, равная 4—5 *м*, β_{max} — потенциальная влагоемкость и β_0 — наличная влажность почвы в процентах от объема в слое H. Это количество воды может использоваться растениями и не теряется. Потерями из временного оросителя можно считать только разницу $S - W$, которая составляет от 15—20 до 40—50% от общей фильтрации воды из временного оросителя за время τ. Для уменьшения этой теряющейся части нужно не допускать большой продолжительности работы оросителей (путем повышения их расхода), чтобы фильтрационные воды не распространялись на глубину свыше 1,5—2 *м*. Г. М. Гуссейнов на основании своих опытов в Азербайджане рекомендует не допускать продолжительность работы временных оросителей на маломощных почвах более 12—15 часов, а на более мощных почвах —18—20 часов.

Временные оросители нарезают одновременно с посевом или после посева, но обязательно до появления всходов; их сохраняют в период поливов и заравнивают во время проведения механизированных сельскохозяйственных работ. Временные оросители устраивают механизированным путем — двухотвальными канавокопателями, навесными или прицепными (КПН, КРП-2,6, КПУ-2000 и др.) на тракторной тяге (тракторы СТЗ-НАТИ, КД-35, С-80, СХТЗ, У-1 и др.) или специальными двухотвальными бороздоделателями. Временные оросители заравнивают в два прохода всвал трехкорпусным плугом на тракторной тяге или специальными бороздозаравнивателями навесного типа и другими механизмами[1].

Временные оросители часто нарезают по заранее намеченным трассам, по возможности с закрепленными оголовками их (на распределителе), чтобы облегчить возможность правильной последующей нарезки их на поверхности поля.

Сечение временного оросителя устраивают канавокопателем за один или два прохода, причем при втором проходе подчищают канал и уплотняют дамбы. Если канавокопатель работает с гусеничным трактором, то дамбы оросителя можно уплотнить проходом гусениц по дамбам.

На полях со сложным микрорельефом трассы временных оросителей предварительно должны быть спланированы.

На нарезку и засыпку временных оросителей требуются следующие затраты труда (на 1 *га* орошаемой площади):

1) нарезка временных оросителей тракторным бороздоделателем в 2 прохода — 0,1—0,12 тракторо-часа;

2) засыпка временных оросителей тракторным бороздоразравнивателем (два раза) — 0,1 часа;

3) оправка временных оросителей вручную 0,2—0,3 человеко-дня (при длине оросителей около 500 *м* и расстояниях около 100 *м*).

Оросительная сеть при квадратно-гнездовом посеве. При квадратно-гнездовом посеве пропашных культур временные оросители и выводные борозды должны быть проходимыми для машин или их нужно заравнивать перед каждой перекрестной обработкой и восстанавливать перед поливом[2]. После того как кусты растений смыкаются, надобность в междурядной обработке отпадает и до конца вегетационных поливов временные оросители и выводные борозды остаются на поле нетронутыми.

Полосы земли, занимаемые временными оросителями и выводными бороздами, не должны засеваться и засаживаться культурами. Для этого временную сеть нужно разбивать до посадки, обозначая при разбивке не только

---

[1] Описание их дается в технических указаниях по проектированию каналов оросительных систем. Изд-во Министерства сельского хозяйства СССР, М., 1955.

[2] При работе гусеничных пропашных тракторов проходимость оросителей лучше, чем при работе колесных. *Прим. автора.*

трассы, но и ширину полос под временные каналы. Устройство сети начинают с выводных борозд.

Для проходимости машинами временные оросители должны иметь соответствующее поперечное сечение в зависимости от расхода воды и уклона. Условия проходимости временной сети отпадают, если оросители и выводные борозды нарезаются перед каждым поливом и после него, перед обработкой, заравниваются или же если они заменяются сборными переносными трубопроводами.

На землях с ровным рельефом и небольшими уклонами применяется поперечная схема расположения временных оросителей с поливными бороздами и участковыми распределителями, идущими по наибольшему уклону местности (рис. 46). Вода выпускается из временного оросителя при помощи вспомогательных борозд, расположенных параллельно ему и снабжающих водой одновременно 5—10 поливных борозд, что позволяет лучше распределять воду между ними. При поперечной схеме длина временной сети меньше, но временные оросители имеют малый уклон и пропускная способность их уменьшается.

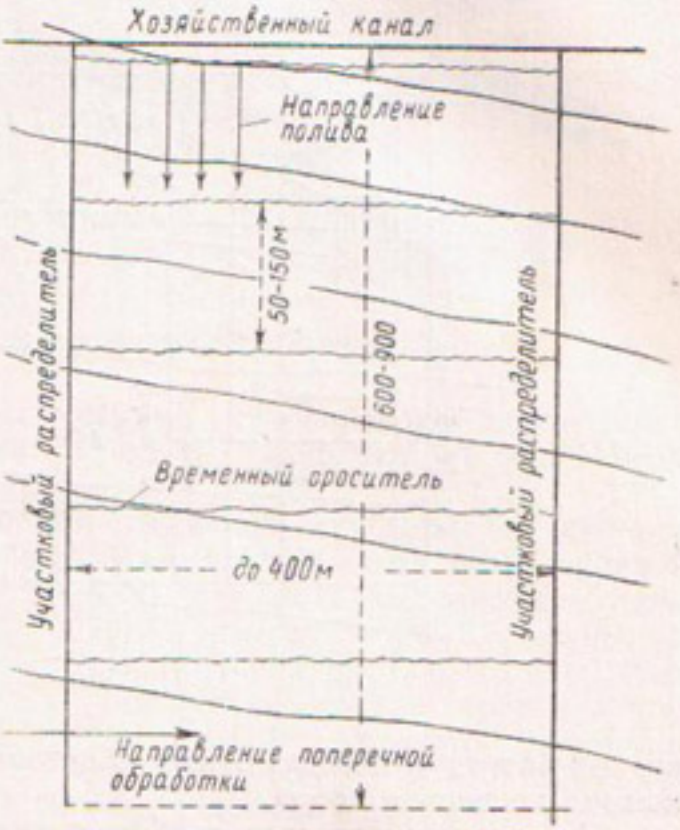


Рис. 46.

При сложном рельефе и более значительных уклонах применяется продольная схема расположения временных оросителей, как более гибкая, в отношении приспособления к рельефу; но она дает бо́льшую длину сети; при этой схеме и небольшой пропускной способности оросителей, обеспечивающих проходимость машинами, расстояния между временными оросителями принимают небольшими (40—60 *м*) (рис. 47)[1].

При квадратно-гнездовом посеве и перекрестной (продольной и поперечной) механизированной обработке хлопчатника поливной участок (если он может быть перекрестно обработан в требуемый срок) должен иметь квадратную или прямоугольную форму, причем размеры сторон должны быть не меньше: продольная 400—500 *м* и поперечная — 200—300 *м*. При перекрестной обработке по сторонам поливного участка на полосе, где поворачиваются машины, заминаются растения и теряется полезная площадь — 2—4% от площади поливного участка, в зависимости от его размеров.

Если поливной участок имеет крупные размеры и не может быть одновременно перекрестно обработан в требуемый короткий срок, то его делят на два и более участков одновременной обработки, разделенных временными оросителями. Размеры (ширина и длина) участков одновременной перекрестной обработки зависят от производительности работающих на них тракторов, которая колеблется от 10 до 15 и 30 *га* в сутки. Оросители, разделяющие участки обработки, называются «сезонными» и располагаются на расстояниях около 300 *м*; между ними ведется поперечная обработка и нарезаются более мелкие проходимые или заравниваемые перед каждой обработкой оросители.

В колхозах Шамхорского района Азербайджанской ССР и некоторых других применяется такая организация полива: орошаемая площадь продольными временными оросителями разделяется на участки (полосы) суточного полива и обработки, площадью 12—15 *га*, соответственно производительности пропашного трактора на обработке. Эти участки имеют длину 500—600 *м* (равной длине временных оросителей) и ширину 200—300 *м*. Выводные борозды нарезаются через 120—150 *м* и имеют расход воды 20—30 *л/сек*. Общий

---

[1] По вопросу орошения при квадратно-гнездовом посеве хлопчатника см. статьи: А. А. Рачинский, Г. О. Хорст. Полив хлопчатника в условиях квадратно-гнездового сева. «Гидротехника и мелиорация» № 3, 1955, стр. 12—17; Г. Ф. Раскин, Н. Д. Кременецкий, С. Р. Оффенгенден. Организация территории и проектирование оросительной сети. «Гидротехника и мелиорация» № 3, 1955, стр. 18—31; А. И. Ляпин, В. Черников. К вопросу организации полива при квадратно-гнездовом возделывании хлопчатника. «Хлопководство» № 4, 1955. *Прим. автора.*

расход воды, даваемой на одну полосу суточного полива и обработки (при поливной норме 800 $м^3/га$) равен 140—160 *л/сек*. На ней в течение суток одновременно работают по четыре выводных борозды (по одной на каждом временном оросителе). В каждую поливную борозду дается расход воды 0,1—0,20 *л/сек*, так что каждая выводная борозда одновременно снабжает водой 100—150 поливных борозд. Для распределения воды среди такого большого числа борозд предварительно очень хорошо планируется поле и тщательно армируются головы поливных и выводных борозд трубочками, сифонами и поливными щитками. Полив каждой полосы заканчивают в течение суток. При поперечной обработке объединяют 2—3 полосы суточного полива, так что участки поперечной обработки получают ширину 500—600 *м*, равную длине их. Благодаря тщательной планировке и армированию борозд достигается автоматизация полива и производительность труда поливальщиков значительно повышается (до 4—5 *га* в сутки)[1].

При перекрестной обработке очень важна замена временных ежегодно нарезаемых при поливах и заравниваемых при обработке оросителей и выводных борозд — передвижными сборными трубопроводами, которых предложено несколько типов.

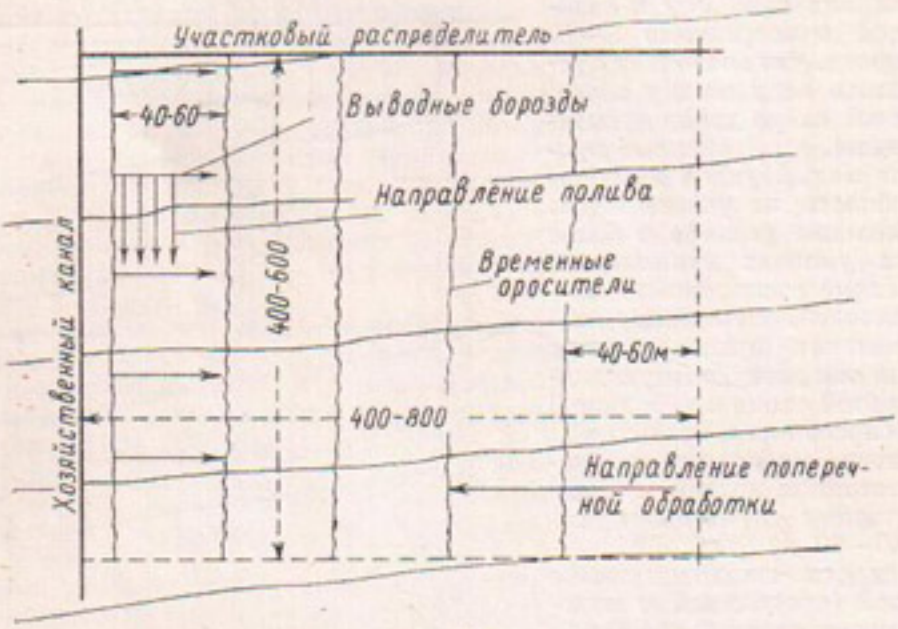


Рис. 47.

Сборные передвижные трубопроводы. Сборно-разборные передвижные трубопроводы для замены выводных борозд и временных оросителей у нас предложены были И. П. Канардовым, З. И. Метельским и другими.

Сборные трубопроводы конструкции З. И. Метельского состоят из легких стальных тонкостенных труб (толщиной не более 1,5 *мм*), снабженных быстросборными муфтами. Внутренний диаметр труб 180, 250, 350 *мм*; длина одного звена труб 5 *м* (рис. 48). К одному концу каждого звена приварен стальной патрубок со стойкой и кольцом; другой конец имеет муфту. При соединении труб патрубок вставляется в муфту соседнего звена, а кольцо патрубка накладывается на крючок, приваренный к муфте. Плотность соединения обеспечивается резиновой манжетой, вставленной в муфте, когда трубы наполняются водой, последняя вдавливает резиновые манжеты в зазор между стенками трубы и муфты. Звенья труб могут соединяться под углом 10—15° в горизонтальном или вертикальном направлениях. На каждой из труб имеется подставка в виде лыжи, предохраняющая трубы от соприкосновения с землей и служащая для передвижения труб. При диаметре труб 250 *мм* потери напора в них на длине L *м* составляют $H=2{,}02\cdot Q^2L$ *м*, где Q — расход воды в трубе в $м^3/сек$. Трубы рассчитаны на рабочее давление в 10 *атм*. Если трубы используют в качестве временных оросителей, то в них делают отверстия с задвижками для выпуска воды.

[1] Т. Солодовникова и М. Натальчук. Опыт колхозов в повышении производительности труда на поливах. «Хлопководство» № 8, 1955. *Прим. автора.*

В целях экономии воды, более легкого распределения ее и достижения автоматизации полива, кроме дозировки подачи воды в борозды, выводные борозды можно заменять переносными желобами, трубами или брезентовыми рукавами. Эта замена особенно уместна при поливе неровных участков.

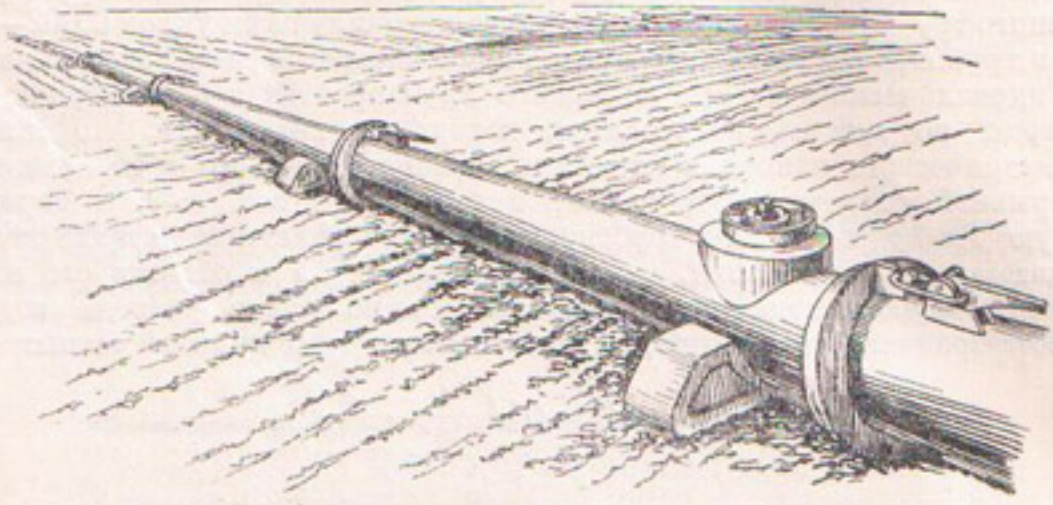


Рис. 48. Передвижной поливной трубопровод.

При орошении дождеванием сборные трубопроводы конструкции З. И. Метельского должны иметь на звеньях труб гидранты для подачи воды в дождевальные крылья или аппараты.

Отметим здесь также переносный поливной трубопровод (системы инж. И. П. Канардова). Диаметр его 150 *мм*, состоит он из звеньев длиной 4 *м*, сваренных из обычного листового железа; звенья соединяются между собой раструбом (рис. 49). Для выпуска воды в борозды в трубах сделаны отверстия диаметром 30—40 *мм* через 45—70 *см*, отверстия закрываются задвижками с резиновыми прокладками (рис. 50). Расход воды, пропускаемый поливным трубопроводом, зависит при данном диаметре его от гидравлического уклона, шероховатости труб и характера стыков и определяется гидравлическим расчетом.



Рис. 49.

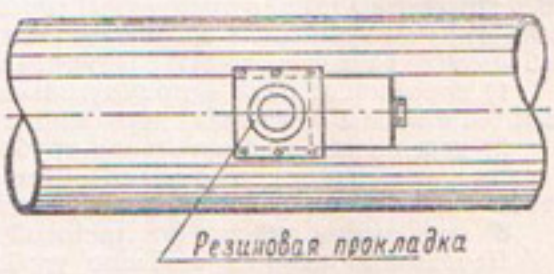


Рис. 50.

И. П. Канардов проводил испытания также с брезентовыми трубопроводами диаметром от 200 до 300 *мм* с круглыми отверстиями для замены выводных борозд и временных оросителей с расходами воды 20—50 *л/сек*[1].

Следует отметить также предложение инж. И. И. Величко о замене временных оросителей и выводных борозд гибким брезентовым водонепроницае-

[1] Журн. «Гидротехника и мелиорация» № 11, 1952. *Прим. автора*

мым трубопроводом, механически (при помощи особой тележки с барабаном) укладываемым на орошаемом поле и таким же путем собираемым.

Особенно целесообразно применение трубопроводов при квадратно-гнездовых способах посева, так как позволяет иметь минимум потерь на заминание растений. Поливной трубопровод из гибких труб делается диаметром 0,3—0,4 *м* и длиной 100—300 *м*, с отверстиями d=15—30 *мм*. Для работы поливного трубопровода, по опытам, оказался наилучшим уклон 0,002—0,004. Вода в трубопровод поступает при помощи насадок или сифонов самотеком.

Гидравлический расчет поливного трубопровода с равномерной раздачей воды по длине производится, исходя из положения, что величины пьезометрического напора в канале и в конце поливного трубопровода при непрерывной раздаче воды равны; исходя из этого, можно определить нужную длину поливного трубопровода l при заданном расходе воды $Q_п$, раздаваемом по этой длине, уклоне трубопровода I и сечении его ω. Если поливной трубопровод, кроме раздаваемого по длине расхода воды $Q_п$, не несет транзитного расхода, то потери напора по длине l равны:

$$h = \frac{v^2}{2g} + Il = Q_п^2\left(\frac{l}{3k^2} - \frac{\alpha}{2g\omega^2}\right),$$

где

$$k^2 = \omega^2 C^2 R,\ \omega^2 = \frac{Q_п^2}{v^2}\ \text{и}\ \alpha \simeq 1{,}1.$$

На основе этих выражений могут быть решены различные задачи; определения l, $Q_п$ и др. по заданным остальным величинам [1]. Для гидравлического расчета гибких трубопроводов Г. А. Сухоручкин [2] на основании своих исследований рекомендует следующие значения коэффициента сопротивления λ в пределах 0,022 — 0,024 при скорости $v < 1$ *м/сек* и λ = 0,025 — 0,030 при скорости $v > 1$ *м/сек* $\left(\text{в формуле } h = \lambda \frac{l}{d}\frac{v^2}{2g}\right)$. Средняя величина пьезометрического напора h в поливном трубопроводе должна поддерживаться равной около 1 — 1,5 диаметра его; при большем напоре возможен размыв почвы при истечении воды из отверстий, а при меньшем напоре — неравномерное распределение воды по длине трубопровода. Сообразно с этим должны подбираться диаметр и расположение отверстий в трубопроводе [3].

Арматуру на оросительной сети составляют выпуски, подающие воду из распределителя во временные оросители, и переносные перемычки и выпуски на оросителях для подачи воды в выводные борозды.

Выпуски в голове временных оросителей могут быть открытого щлюзового или закрытого трубчатого типа, с пропускной способностью от 20 до 100 *л/сек*, в зависимости от расхода воды во временном оросителе. Они могут быть постоянными или переносными (при небольших расходах воды) следующей конструкции:

1) деревянная рама с прямоугольным вырезом, с вертикальным щитком, снабженным (со стороны оросителя) деревянным желобом;

2) деревянная прямоугольная труба длиной 60—80 *см*, отверстием 20×30 *см*, с оголовком в виде деревянной рамы со щитом (рис. 51); этот выпуск требует подпора на канале, чтобы труба могла работать затопленной;

3) переносные сифоны (из листовой жести или из гибких шлангов) (рис. 52).

Переносные сифоны особенно удобны для подачи воды из временного оросителя в выводные борозды и в поливные борозды. Они позволяют подавать воду из оросителя, не нарушая его откосов, и делаются из гибких шлангов диаметром 25—35 *мм*. Применение таких сифонов дало хорошие результаты в опытах Киргизского филиала Академии наук СССР.

---

[1] Г. А. Петров. Движение жидкости с изменением расхода воды вдоль пути. Стройиздат, М., 1951. *Прим. автора.*

[2] Г. А. Сухоручкин. Транспортирование и распределение поливной воды с помощью гибких трубопроводов. ВНИИГиМ, 1955. *Прим. автора.*

[3] Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по обеспечению комплексной механизации работ в хлопководстве» предусматривается к 1965 г. обеспечить полив гибкими шлангами до 22—25% площади, дождеванием до 11—12%, а на остальной площади трубочками-сифонами при удлиненной поливной борозде на хорошо спланированных полях.

Подпорные сооружения на оросителях для регулирования горизонта воды в них делают переносными в виде деревянного трапецеидальной формы щита, окованного железной полосой для врезания в землю (на 10—15 *см*). В этой раме иногда делают закрываемый щитом вырез для пропуска воды вниз по оросителю. Весьма удобны железные щиты, показанные на рисунке 53, а также брезентовые перемычки.

Временные оросители получают воду из постоянных распределителей последнего порядка, так называемых участковых распределителей подающих воду на поливные участки. Поперечное сечение участкового распределителя, рассчитанного на расход воды в 150 *л/сек*, показано на рисунке 54.



Рис. 51.

Оросительная сеть при поливе риса. Особо следует остановиться на устройстве оросительной сети для полива риса затоплением. В этом случае поливаемая затоплением площадь риса обычно продольными и поперечными валиками разбивается на систему чеков, причем несколько последовательных по уклону чеков образуют цепочку чеков, питаемую общим током воды, переходящим последовательно из верхнего чека в нижележащие.

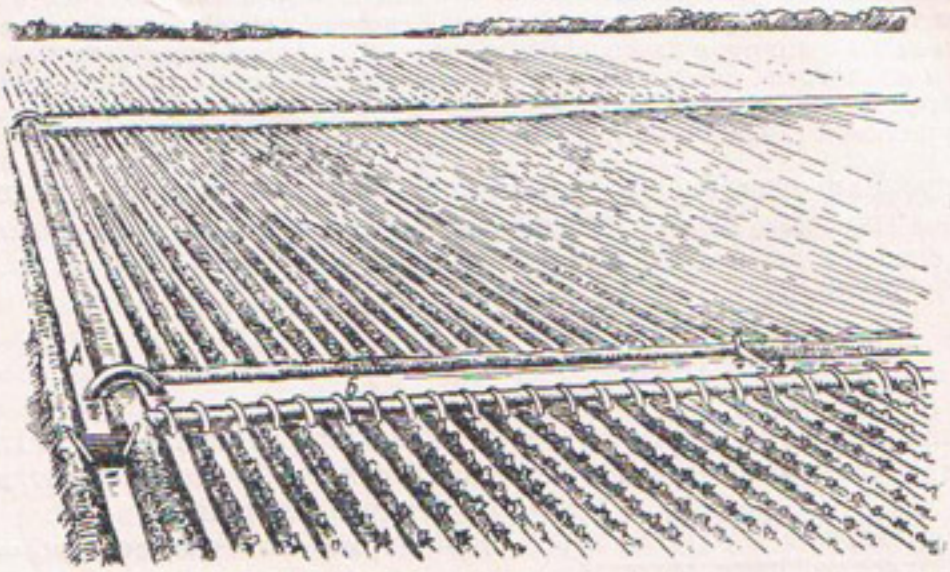


Рис. 52. Полив хлопчатника с помощью сифонов:
А — постоянный канал; *Б* — временный ороситель.

Продольными называются валики, идущие параллельно ходу сельскохозяйственных машин, а поперечными — расположенные перпендикулярно к ходу машин. Поперечные валики, если они постоянные, должны быть переходимы сельскохозяйственными машинами и в этом случае имеют высоту 0,20—0,40 *м*, ширину поверху 0,10—0,15 *м* и очень по-

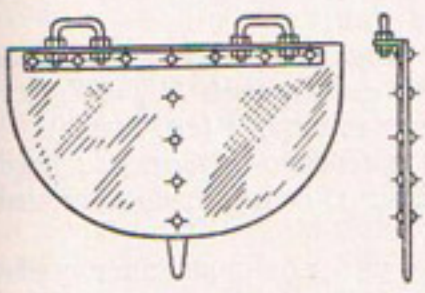


Рис. 53.

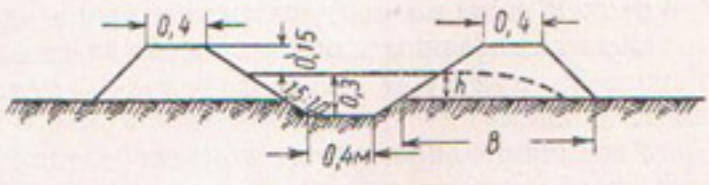


Рис. 54.

логие (1 : 4) откосы, причем вся поверхность валика засевается; эти валики приходится ежегодно подправлять или восстанавливать. Разрез поперечного валика представлен на рисунке 55. Продольные валики могут иметь более крутые откосы (если они не пересекаются машинами) и потому имеют меньший объем земляных работ на 1 пог. *м*. Расположение оросителя, подающего воду в цепочки чеков, может быть поперечное, когда он идет перпендикулярно к направлению полива и притом по меньшему уклону орошаемой площади, так как при этом затопляемые чеки располагаются длинной своей стороной по ходу машин, показанному стрелками (рис. 56).

При поперечной схеме (рис. 56): 1) обработка ведется узкими полосами вдоль продольных валиков с более редкими переездами через поперечные валики; 2) стоимость устройства валиков дешевле, так как поперечные валики имеют меньшую длину, чем продольные, которые не только дороже поперечных, но их приходится ежегодно восстанавливать зато при поперечной схеме невозможно двустороннее командование оросителей и водосборов.

Максимальный продольный уклон рисовых поливных участков должен быть не больше 0,001 (лучше 0,0005).

В инженерных рисовых системах (например, Кубанские оросительные системы) поливные участки прямоугольные, площадью в среднем 25—30 *га*; внутри них устраивают

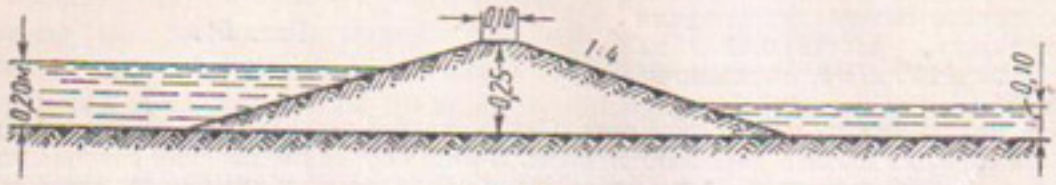


Рис. 55.

более или менее крупные чеки с переходимыми для машин валиками, причем поверхность каждого чека планируется горизонтально; средний размер одного чека составляет 1,2—1,5 *га*; при такой инженерной, спланированной системе длина валиков составляет около 150—180 *м* на 1 *га*, а потеря площади под ними 4—5%. Переходимость валиков, укрупнение чеков и планировка поверхности их значительно повышают производительность как тракторных работ, так и труда поливальщиков (в $1^1/_2$—2 раза) по сравнению с непланированными участками (по данным А. Т. Шадрина, Всесоюзная рисовая опытная станция).

Пропускная способность оросителей при поливе риса должна быть рассчитана на две фазы их работы: 1) затопление поливного участка нужным слоем воды h и 2) поддержание на нем этого слоя воды.

Наибольший расход воды в оросителе равен:

$$Q_{op} = \frac{Fm_0}{86{,}4\tau} + \frac{(\tau - t)}{\tau} Fq' \quad л/сек,$$

где F — площадь затопляемого участка риса слоем воды h *см*; $q' = 1{,}15\,\sigma$ *л/сек* на 1 *га*, где σ — расход воды, в *см/сутки*, на фильтрацию, испарение и транспирацию;

m_0 — норма затопления; $m_0 = 100\,(h + \sigma t)$ $м^3/га$, согласно предыдущему;

t — продолжительность затопления цепочки чеков;

τ — продолжительность затопления участка (в сутках).

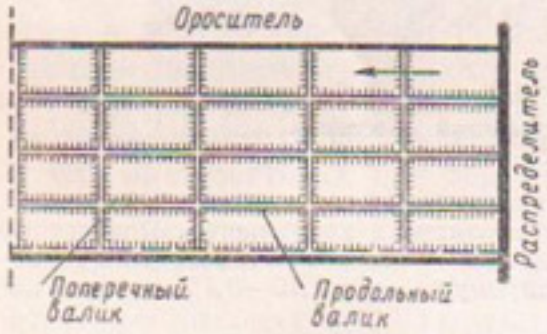


Рис. 56.

Второе слагаемое в приведенном уравнении — подача воды для поддержания слоя на площади, залитой в предшествующие дни.

Расход воды в оросителе во время поддержания слоя равен $Q_{op} = Fq'$, где q' — расход воды на поддержание слоя на единицу площади (см. выше).

Возможная продолжительность затопления рисового участка зависит от способа культуры риса и условий механизации сельскохозяйственных работ.

Увеличение продолжительности затопления участка позволяет уменьшить необходимые размеры и стоимость оросителей, но ухудшает условия агротехники риса и водооборот.

Орошение риса по цепочкам чеков имеет ряд указанных выше недостатков. Для устранения их П. А. Витте и Б. А. Шумаковым было предложено устройство чеков с самостоятельным питанием каждого чека водой, причем могут быть два варианта расположения чеков. В первом варианте ороситель проводится по уклону и к нему узкой стороной примыкают чеки, вытянутые по направлению горизонталей и имеющие длину порядка 200—300 *м* и ширину 50—100 *м*; противоположной узкой стороной чеки примыкают к сбросу,

идущему по уклону (параллельно оросителю); расстояния между оросителями, в зависимости от условий командования их, равны одинарной или двойной длине чеков. Вода в каждый чек подается непосредственно из оросителя и может быть направлена прямо в сброс. При этом варианте устройства чеки имеют небольшую длину, что затрудняет механизацию.

Во втором варианте (рис. 57) оросители идут по направлению горизонталей и получают воду из распределителей, идущих по уклону; чеки имеют длину 800—1200 *м*, ширину от 50 до 200 *м* и вытянуты по направлению горизонталей, но питание каждого из них водой производится из самостоятельного оросителя; каждый чек ниже валика имеет самостоятельный сброс, соединенный с общим коллектором.

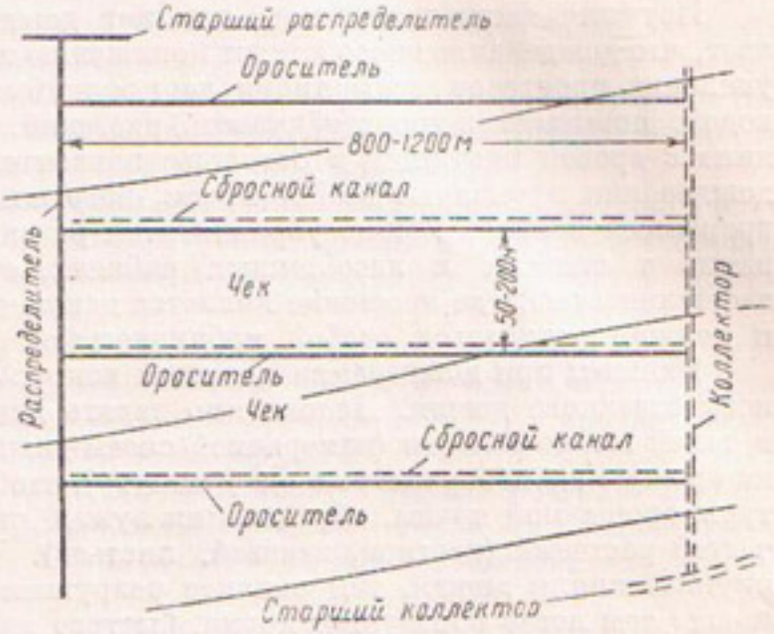


Рис. 57.

Расстояния между групповыми оросителями и коллекторами, в зависимости от условий командования, составляют от 800—1200 до 1600—2400 *м*. Чеки имеют площадь от 4 до 24 *га*, в зависимости от условий рельефа. Второй вариант устройства чеков лучше первого, так как меньше стесняет механизацию и дает меньший объем земляных работ на 1 *га* орошаемой площади[1].

Крупным недостатком существующей системы орошения риса методом постоянного затопления, помимо указанных выше и особенно больших затрат воды, является необходимость устройства густой сети валиков, затрудняющих механизацию сельскохозяйственных работ.

ОРОШЕНИЕ ДОЖДЕВАНИЕМ

При орошении дождеванием вода дается на поля в виде дождя, создаваемого путем распыления оросительной воды особыми, работающими под напором и перемещаемыми по орошаемому полю аппаратами и дождевальными машинами, забирающими воду из открытых каналов, закрытых трубопроводов или других источников. Орошение дождеванием имеет следующие достоинства: 1) возможность давать более частые поливы малыми нормами и производить освежительные поливы в жаркую пору дня; 2) меньшая глубина промачивания почвы, что важно при орошении земель с близкими грунтовыми водами и засоленных почв; 3) применимость при сложном микрорельефе и необходимость менее тщательной планировки полей; 4) сохранение структуры почвы при небольшой силе и интенсивности дождя; 5) увлажнение не только почвы, но и приземного слоя воздуха, в связи с чем уменьшается энергия испарения; 6) возможность замены оросителей переносными трубопроводами и сокращение длины постоянной оросительной сети на единицу площади; 7) отсутствие препятствий перекрестной механизации сельскохозяйственных работ; 8) возможность забора воды на орошение из каналов, идущих в выемке.

---

[1] Подробнее об устройстве указанной системы чеков см. статью Л. В. Скрипчинской в журнале «Гидротехника и мелиорация» № 3, 1950, а также статью Б. А. Шумакова и Л. В. Скрипчинской в том же журнале № 4, 1952. *Прим. автора.*

Нужно отметить, что во многих случаях дождевание оказывает более благоприятное физиологическое действие на растения, что позволяет получать требуемую и даже более высокую урожайность при меньших количествах оросительной воды по сравнению с обычными способами полива.

К слабым сторонам орошения дождеванием относятся: 1) потребность в механической энергии для создания напора на распыление воды и потому более дорогая эксплуатация; 2) неравномерность полива при ветре; 3) затраты металла на аппаратуру и еще недостаточное совершенство ее; 4) необходимость перемещения труб и дождевальных аппаратов на поля и затраты энергии на это.

Изучение физиологического влияния дождевания на растения показывает, что дождевание способствует понижению температуры тканей растений, усилению процессов ассимиляции, дает более быстрое снабжение тканей листа водой, повышает жароустойчивость растений. Исследования А. С. Кружилина с яровой пшеницей в Заволжье показывают, что узловые корни при дождевании проникают до 35—50 *см*, энергично ветвятся и что путем своевременных поливов можно управлять их развитием. Особенно ценно дождевание в степных и лесостепных районах, отличающихся периодической засушливостью, где орошение является дополнением к естественным осадкам и должно отличаться особой мобильностью.

Важным при дождевании является вопрос о структуре и интенсивности искусственного дождя. Необходимо давать дождь такой крупности капель и такой интенсивности (измеряемой слоем дождя в миллиметрах, падающим на орошаемую поверхность в одну минуту), чтобы не было разрушения структуры орошаемой почвы, образования луж и стока и повреждения нежных частей растений (цветков, завязей, листьев). Чем больше интенсивность и крупнее капли дождя, тем сильнее разрушается структура и уплотняется почва, тем легче образуется корка, быстрее начинается сток и меньше глубина промачивания.

Влияние дождя разной интенсивности на структуру почвы можно иллюстрировать следующими данными Ф. Л. Иванченко для черноземных почв Воронежской области, показывающими количество структурных отдельностей разных размеров после дождя в процентах к количеству их до дождя (табл. 19).

Таблица 19

Интенсивность дождя (в *мм/мин*)	Размеры структурных отдельностей (в *мм*)			
	20—10	10—5	5—1	1
0,2	55	92	104	100
1,0	43	78	102	141
2,0	39	64	101	132
3,0	30	83	96	134

С увеличением интенсивности дождя уменьшаются глубина промачивания, прирост влажности почвы после полива и количество структурных водоустойчивых агрегатов почвы крупнее 1 *мм*.

Лучшая интенсивность дождя, обеспечивающая сохранение структуры почвы и аэрацию ее, около 0,10—0,15 *мм/мин*; во всяком случае, интенсивность дождя должна соответствовать проницаемости орошаемой почвы: при тяжелых почвах она должна быть не больше 0,1—0,2 *мм/мин*, при средних почвах — 0,2—0,3 и на легких почвах не более 0,5—0,8 *мм/мин*. Диаметр капель дождя должен быть, в зависимости от проницаемости почв, не больше 1—2 *мм*.

Водопроницаемость почвы, как известно, во времени падает, причем на структурных почвах медленнее, чем на бесструктурных, поэтому интенсивность дождя с увеличением продолжительности полива и поливной

нормы нужно уменьшать, чтобы не образовывалось стока. Чем больше величина поливной нормы, тем меньшую интенсивность дождя можно допускать. Кроме того, интенсивность дождя должна быть меньше для более нежных растений, легче повреждаемых сильным дождем.

Орошение дождеванием особенно целесообразно:

1) *в районах неустойчивого увлажнения*, когда орошение нужно в отдельные, засушливые периоды года или в отдельные годы (в критические периоды развития растений);

2) *при орошении солонцеватых и засоленных почв* для предупреждения поднятия растворимых солей к поверхности;

3) *при орошении земель с близким залеганием грунтовых вод* — для предупреждения их подъема;

4) *при орошении земель со значительными уклонами* ($>0{,}03$) и со сложным микрорельефом, так как позволяет сокращать планировочные работы;

5) *при орошении сильно просадочных почвогрунтов.*

В целях уменьшения испарения воды при дождевании и вредного влияния ветра на равномерность распределения дождя по полю, на орошаемых площадях вдоль постоянных каналов необходимо устройство полезащитных древесных насаждений.

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по обеспечению комплексной механизации работ в хлопководстве» предусматривается доведение в хлопковой зоне в 1965 г. уровня полива дождеванием до 11—12% орошаемой площади.

Полив дождеванием наряду с другими мероприятиями позволит повысить в течение 1959—1965 гг. производительность труда в хлопководстве не менее чем в 2 раза и значительно снизит себестоимость хлопка-сырца.

Одновременно с этим в СССР в настоящее время начинает широко внедряться полив дождеванием плодоовощных и технических культур.

Системы дождевания

Источниками воды для орошения дождеванием могут быть реки, пруды, а в крупных оросительных системах — проводящие распределительные каналы. Подводящая сеть делается открытой или закрытой в виде напорных трубопроводов. Трубопроводы могут быть стационарными или передвижными. Необходимый напор для подачи и распыления воды создается насосом и двигателем, расположенным а) у источника воды при подаче ее в дождевальные агрегаты по напорным трубопроводам или же б) на самом дождевальном агрегате — при заборе воды из открытых каналов.

Системы дождевания имеются нескольких видов:

1) передвижные, в которых не только дождевальные агрегаты и распределительные трубы, но насосы и двигатели перемещаются по орошаемой площади; в крупных системах передвижные установки играют роль оросительной регулирующей сети, забирая воду из распределительных каналов;

2) полустационарные, в которых насос, двигатель и главный трубопровод имеют стационарное положение, а распределительные трубопроводы и дождевальные агрегаты перемещаются;

3) стационарные, в которых все составные части системы, кроме дождевальных аппаратов, а именно насосные станции и закрытые трубопроводы, занимают постоянное положение.

Полустационарные системы по сравнению с передвижными требуют более высоких капитальных затрат, но дают более низкие эксплуатационные расходы.

Насосы и двигатели. Для дождевания применяются обычно центробежные насосы, могущие нагнетать воду непосредственно в проводящие трубы

и позволяющие изменять расход воды и величину напора (изменением числа оборотов). Эти насосы не приходится останавливать во время перестановки оросительных аппаратов. Насосы должны быть высокого давления, так как даже в оросительных установках средних размеров требуется напор не меньше 2—3 *атм*, необходимый на преодоление потерь напора в трубопроводе и для распыления воды в дождь.

При дождевании применяются двигатели внутреннего сгорания, электромоторы и иногда локомобили. Двигатели должны быть приспособлены для работы при переменной нагрузке, резко колеблющейся в зависимости от расстояния между поливаемым участком и местом установки двигателя.

В передвижных системах дождевания, когда вода берется из распределительного канала или реки, двигатели должны быть также передвижными (вдоль канала или реки). Наиболее подходящими двигателями являются электромоторы (электротракторы) и передвижные дизельного типа (дизельные тракторы), как работающие на более дешевом топливе; тракторы обычного типа дают высокую стоимость энергии.

Потребность в энергии на 1 *га* составляет от 0,2 до 0,6 *л. с.* Мощность двигателя для одной подвижной установки колеблется от 15 до 60 *л. с.*; для стационарных установок мощность двигателей больше, и наивыгоднейший размер мощности одной такой установки определяется соответственным экономическим расчетом.

Водоподводящая распределительная сеть. Вода для подачи в дождевальные агрегаты (забираемая из источника орошения) разводится по орошаемым полям посредством напорных трубопроводов или открытых оросительных каналов. Часто применяется комбинированный способ, представляющий сочетание открытых каналов и закрытых трубопроводов. Напорные трубопроводы используют главным образом при орошении дождеванием небольших участков. Безнапорные трубопроводы и комбинированные системы обычно применяют при крупных и средних размерах орошаемой площади.

При комбинированной подводящей сети, состоящей из постоянных самотечных каналов и передвижных распределительных трубопроводов, возможно устраивать редкую сеть постоянных крупных каналов (которые, в случае надобности, могут быть сделаны в выемке), но требуется, кроме передвижного распределительного трубопровода, отдельный, передвижной или стационарный, насосно-силовой агрегат для подачи воды из канала в трубопровод и дождевальный агрегат.

При малых размерах орошаемых участков, когда поля расположены близко от источника воды, вся подводящая сеть может быть сделана только в виде напорных трубопроводов. Такая закрытая сеть состоит из главного и распределительного трубопроводов. Ввиду высокого давления применяются обычно металлические, стальные цельнотянутые или алюминиевые тонкостенные трубы, для постоянного трубопровода — железобетонные или асбестоцементные трубы; диаметр труб обычно от 10 до 25 *см*.

Главный трубопровод проводит воду от насоса к орошаемой площади. Распределительные трубопроводы доставляют воду от главного трубопровода к дождевальным агрегатам на орошаемых полях. Трубопроводы делаются в передвижной системе из переносных звеньев тонкостенных труб со специальными муфтами для быстрого соединения между собой отдельных звеньев труб.

Система распределительных труб должна иметь следующие части: 1) соединительные гидранты, необходимые для присоединения к трубам боковых отводов или дождевальных аппаратов; 2) задвижки на трубопроводе, чтобы можно было при желании изолировать некоторые участки труб от напора воды; 3) спускные краны для опоражнивания труб от воды.

Стоимость труб зависит главным образом от их диаметра. Крупные трубы дороже, но в них меньше потери напора; мелкие трубы дешевле, но зато, вследствие потерь напора на трение, нужны большая затрата энергии и более мощный двигатель. Поэтому надо выбрать такой диаметр труб, чтобы ежегодные расходы по эксплуатации, погашению и ремонту были минимальными.

В случае передвижной системы приходится выбирать трубы меньшего диаметра ввиду их большей легкости (обычно 10—15 *см*, длина звеньев 5—6 *м*).

Самотечная подводящая сеть должна быть достаточно частой, так как дождевальный агрегат должен забирать воду из нее непосредственно, поэтому, чтобы не стеснять механизации сельскохозяйственных работ, нужно делать ее в виде временных оросительных каналов.

Дождевальные аппараты получают воду под нужным напором из распределительного трубопровода и предназначаются для распыления воды в мелкие капли и разбрызгивания ее в виде дождя по орошаемому полю.

В дождевальный аппарат вода поступает под определенным напором и в нем происходит колебательно-волновой процесс движения потока воды. Колебательно-волновое движение имеет место не только внутри аппарата, но и на выходе струи из насадки и по дальнейшей траектории полета ее в воздухе.

Колебательно-волновой процесс движения потока воды в дождевальных аппаратах не зависит от конструктивных особенностей дождевального аппарата; что же касается количественной характеристики этого колебательно-волнового движения, именно основных параметров его: K — частоты колебаний в *сек* и a — амплитуды колебаний в *мм*, то эти характеристические параметры изменяются в зависимости от напора воды перед насадкой, условий входа воды в насадку, диаметра насадки и трубопровода и др. Частота колебаний волн на входе в насадку колеблется от 165 *кол/сек* при низких напорах до 375 *кол/сек* при высоких напорах.

Опытами М. А. Маркина (МИИВХ) установлено, что *распад струй на капли нужной величины происходит при определенном отношении напора воды при входе ее в насадку* (H *м*) *к диаметру насадки* (d *м*). Указанное отношение равно:

$$M_к = \frac{H_к}{d_н} = \frac{v^2}{\varphi^2 2g d_0}.$$

Таким образом, с увеличением диаметра насадки критические числа $M_к$ уменьшаются, а критические напоры $H_к$ увеличиваются.

Нужное дробление капель и хорошее качество дождя у аппаратов струйного типа обеспечивается, по имеющимся опытным данным, при следующем соотношении диаметра отверстия насадки (сопла) и необходимого рабочего давления[1].

Диаметр сопла (в *мм*) .	32	22	12	10	6	5
Необходимое рабочее давление (в *м*) . . .	65—70	40—45	20—24	18—20	14—15	12—14

По этим данным, критическое число отношения напора воды в насадке к диаметру насадки (в метрах) составляет от 1800 до 2400, увеличиваясь с уменьшением диаметра насадки.

М. А. Маркиным получено, что при распаде дождевых струй на капли нужного диаметра бóльшая доля общей механической мощности, отдаваемой двигателем насосу, расходуется на выброс струи из аппарата и меньшая доля — на волновые колебания внутри дождевального аппарата у насадки.

Имеющиеся в настоящее время типы дождевальных агрегатов можно подразделить на следующие основные системы.

1) Низконапорные, или короткоструйные, системы, основным рабочим органом которых является дождевальная труба (так называемое дождевальное крыло) с размещенными по длине ее отверстиями с дождевальными насадками, распыляющими воду. Дождевальная труба получает воду под нужным напором и во время работы находится в стационарном положении на определенной позиции. После окончания полива в одной позиции труба переставляется в следующую позицию, для чего дождевальная труба делается сборной из отдельных звеньев труб (переносимых или перевозимых на колесах). Эти системы получили название короткоструйных дождевальных установок (КДУ). Чтобы механизировать перестановку труб и повысить производительность труда при дождевании, в настоящее время в СССР сконструированы (ВНИИГиМ) передвижные низконапорные дождевальные агрегаты, работающие не стационарно, а в движении; в этих

[1] З. И. Метельский. Журн. «Гидротехника и мелиорация» № 1, 1957, стр. 9.

системах дождевальная труба с разбрызгивающими воду насадками делается не сборной, а сплошной, и подвешивается на двух консольных фермах, смонтированных на тракторе, и таким образом механически перемещается, увлажняя за период прохода площадь прямоугольника шириной, равной развороту двух консолей, и длиной, равной длине ходов трактора по орошаемому участку поля. Такие агрегаты получили название двухконсольных дождевальных агрегатов. Насос, подающий воду под напором в дождевальную трубу, монтируется на тракторе, от которого получает энергию.

2) Высоконапорные дальнеструйные системы, основным рабочим органом которых является более или менее мощная дождевальная насадка с выбрасывающим под напором и распыляющим воду соплом, вращающимся по кругу, вследствие чего насадка покрывает дождем площадь круга вокруг нее. Дождевальные насадки ставятся на трубопроводах, получающих воду под нужным напором от насосной станции; в этих случаях дождевальные насадки работают в стационарном положении и переставляются на гидрантах трубопровода на новую позицию по мере окончания полива в предыдущей позиции. Во избежание ручной перестановки дальнеструйных дождевальных установок и необходимости укладки сети распределительных трубопроводов в настоящее время предложены конструкции самоходных дальнеструйных дождевальных агрегатов, у которых дождевальная насадка монтируется на тракторе, движущемся по орошаемому полю в нужных направлениях, и по мере своего движения увлажняет полосу земли вдоль линии своего движения.

Недостатком дальнеструйных дождевальных агрегатов является большая затрата механической энергии вследствие необходимости высокого напора на распыление воды и высокая интенсивность дождя. Для смягчения этих недостатков (уменьшения затрат механической энергии и труда на дождевание и улучшения качества дождя) в настоящее время начинают получать развитие так называемые среднеструйные дождевальные агрегаты, требующие меньшего напора и меньших затрат энергии. Насадки эти в отношении принципов своей работы и устройства мало отличаются от дальнеструйных, кроме величины требуемого напора.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время системы дождевальных агрегатов можно подразделить на: 1) короткоструйные (низконапорные) агрегаты, работающие стационарно в определенной позиции и последовательно перемещаемые из одной позиции в другую; 2) короткоструйные (мостовые или консольные), работающие в движении по орошаемой площади (определенной ширины и длины) вдоль оросительных каналов; 3) дальнеструйные (высоконапорные) системы, работающие позиционно или в движении (самоходные агрегаты); 4) среднеструйные системы дождевания. Каждая из этих систем дождевальных агрегатов имеет несколько видов.

Потери на испарение воды при полете распыленных струй у агрегатов, работающих в движении, больше по сравнению с агрегатами, работающими позиционно.

Конструкторская работа по дождеванию в СССР развивается дальше в направлении уменьшения затрат труда и энергии на передвижение агрегатов и распыление воды, снижения напора, получения лучших качеств дождя (интенсивности, размеров капель, равномерности) и регулирования их применительно к условиям почвы и растений, увеличения дальности действия и производительности каждого агрегата.

В дальнейшем рассмотрим главнейшие виды вышеуказанных систем дождевания.

Низконапорные (короткоструйные) системы дождевания

Дождевальный агрегат состоит из горизонтально расположенного напорного трубопровода (дождевальное крыло) с насадками небольшой мощности на нем, выбрасывающими и распыляющими воду. Трубопровод составляется

из отдельных звеньев труб (длиной 5—6 *м*), соединяемых между собой гибкими муфтами; вода в него подается под нужным напором.

В одних системах насадки расположены на дождевальной трубе на расстояниях 4—12 *м* одна от другой, причем во время полива труба остается неподвижной; в других — насадки размещены на трубе часто (0,4—1 *м*) и во время работы на одной позиции труба медленно вращается вокруг своей горизонтальной оси на определенный угол. В первых системах разбрызгивающие воду насадки остаются неподвижными во время действия и покрывают дождем площадь более или менее узкого прямоугольника вдоль трубы, составленного из смыкающихся кругов, увлажняемых каждой отдельной насадкой. Во вторых системах — насадки во время своего действия вращаются в вертикальной плоскости на определенный угол влево и вправо вместе с трубой, на которой они сидят. Дождевальная труба вращается при помощи специального небольшого поршневого гидравлического двигателя, работающего напором подаваемой на орошение воды. Дождем покрывается площадь прямоугольника вдоль горизонтальной трубы.

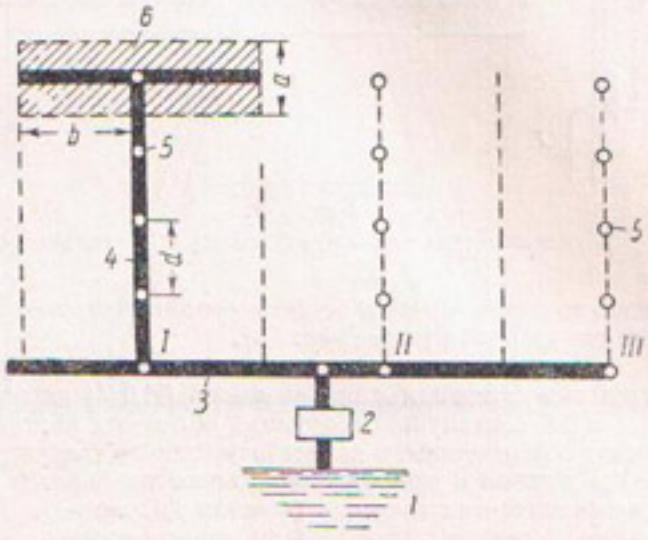


Рис. 58.

1 — источник орошения; *2* — насосная станция; *3* — главный трубопровод; *4* — распределительный трубопровод; *5* — гидранты; *6* — дождевальная труба.

В первой системе насадки являются центробежными дефлекторного типа, распыляющими воду по кругу; во второй системе насадки струйного типа, выбрасывающие воду отдельными струйками, перпендикулярными к дождевой трубе. Первый тип насадок (при одной и той же интенсивности в 1 минуту) дает более мелкий дождь на орошаемой площади, чем второй тип насадок.

Центробежные распыляющие воду насадки дают расход воды от 0,4 до 2 *л/сек* каждая при напоре от 6 до 20 *м*; диаметр площади разбрызгивания воды от 10 до 20 *м*; дождевальную трубу с насадками делают диаметром от 10 до 15 *см*.

Струйные насадки имеют диаметр отверстия от 1 до 2,5 *мм*, дают расход воды от 0,016 до 0,040 *л/сек* каждая; ширина площади разбрызгивания воды составляет от 15 до 25 *м* и, следовательно, в этих пределах должно быть расстояние между трубами; диаметр вращающихся дождевальных труб колеблется от 2,5 до 5 *см*.

Таким образом, ширина полосы, увлажняемой из одного положения дождевальной трубы, составляет в разных системах (и при различных напорах воды) от 10 до 30 *м*.

Дождевальная труба с насадками располагается на определенной высоте (0,5—2 *м*) над орошаемой поверхностью и работает стационарно, присоединяясь к напорному трубопроводу. По окончании полива в одной позиции дождевальная труба перемещается в следующую позицию вручную, с разборкой ее на звенья, или же на колесах, без разборки на звенья.

Общая схема передвижной системы дождевания представлена на рисунке 58. Главный трубопровод подводит воду из источника орошения к орошаемому участку; из него вода через гидранты поступает в распределительный трубопровод, который обычно делается передвижным: по мере окончания работы распределительного трубопровода в первом положении он переставляется в положение второе, затем в третье и т. д. Из распределительного трубопровода вода поступает в дождевальные крылья, т. е. трубы

с насадками длиной b от 40 до 200 *м*. При передвижной системе дождевания лучше иметь два комплекта дождевальных труб, могущих обслуживать полосу земли длиной b_1 и шириной a, которая, как сказано выше, составляет от 10 до 25 *м*.

В этом случае дождевальные крылья ставятся с двух сторон распределительного трубопровода и действуют попеременно: когда одно крыло работает, другое крыло переставляется и собирается. В результате экономится время при перестановке. По мере передвижения дождевальных агрегатов освобождающиеся звенья распределительного трубопровода из положения первого постепенно переставляются в положение второе, присоединяясь к гидранту *II* на главном трубопроводе, и т. д.

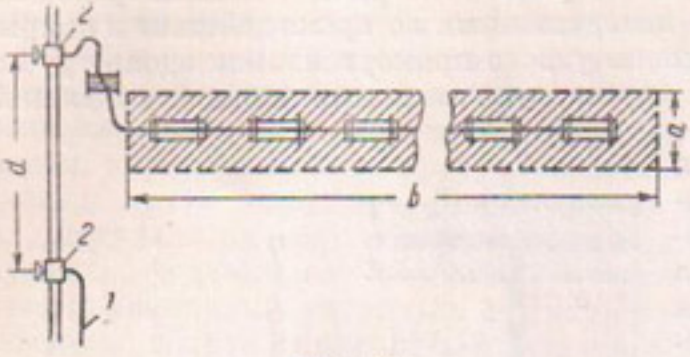


Рис. 59.

1 — соединительный трубопровод; *2* — гидранты.

Расстояния между гидрантами на главном трубопроводе равны $2b$. Если ширина полосы, увлажняемой из одного положения дождевального крыла a, меньше расстояния между гидрантами d на распределительном трубопроводе, то применяется особый соединительный трубопровод из отдельных звеньев труб или же гибкий рукав (рис. 59).

Из низконапорных установок наибольшее распространение получила у нас коротконструйная дождевальная установка (КДУ) системы ВНИИГиМ.

КДУ состоит из следующих основных частей: а) насосно-силового агрегата; б) стационарного подводящего асбестоцементного трубопровода; в) двух дождевальных крыльев по 120 *м* длиной с присоединительным разборным трубопроводом длиной 55 *м*. Установка предназначается главным образом для орошения овощных, пропашных, технических культур, ягодников, питомников.

Насосно-силовой агрегат КДУ состоит из электромотора (или нефтедвигателя) и центробежного насоса, смонтированных на тележке (например, одноступенчатый насос 3НКв Мелитопольского завода, мощностью 20 *л. с.* и с числом оборотов 2000 в минуту, обеспечивает напор от 27 до 40 *м*). Высота всасывания насоса не должна превышать 4 *м*. Напорный штуцер насоса имеет задвижку диаметром 75 *мм*; всасывающий шланг длиной 4—5 *м* и диаметром 150 *мм*.

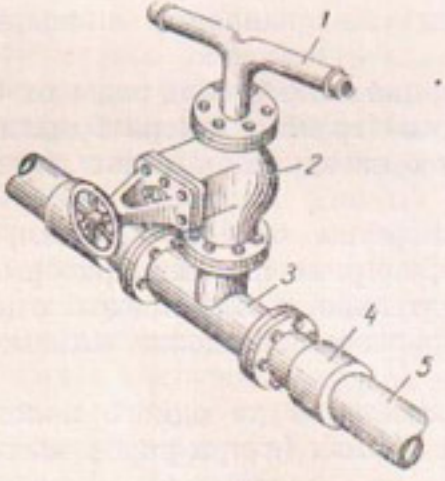


Рис. 60.

1 — соединительный тройник КДУ; *2* — задвижка; *3* — чугунный тройник; *4* — муфта; *5* — асбестоцементная труба.

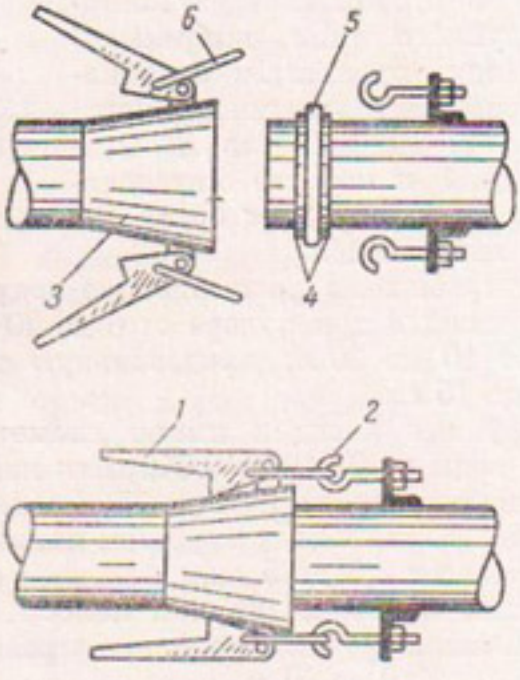


Рис. 61.

1 — ручка; *2* — крючок; *3* — раструб; *4* — упорные кольца; *5* — резиновое кольцо; *6* — петли.

Подводящий напорный стационарный трубопровод делается из асбестоцементных труб диаметром 100—200 *мм*. На этом трубопроводе через каждые 120 *м* ставятся гидранты (рис. 60), к которым присоединяется переносный трубопровод; он состоит из пятиметровых легких сварных труб диаметром 100 *мм*. Трубы соединяются с помощью быстро действующего соединения РК (раструб — кольцо), показанного на ри-

сунке 61 и состоящего из раструба, резинового кольца, двух крючков и петель или же муфты (рис. 62).

Каждое дождевальное крыло состоит из 24 труб длиной по 5 *м* и отрезка с заглушкой на конце. На крыле, на приваренных штуцерах через каждые 10 *м* ставятся насадки дефлекторного типа (рис. 63), имеющие отверстие диаметром 14 *мм* и дающие разбрызгивание воды по кругу радиусом около 6 *м* (при напоре 11 *м*). Высота насадки над поверх-

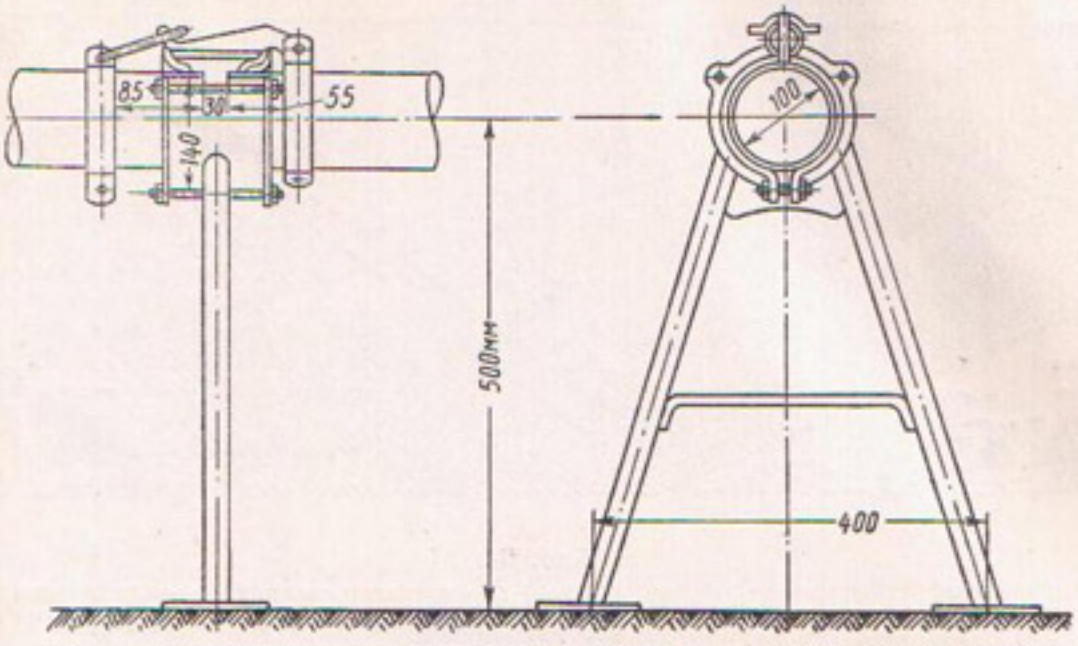


Рис. 62.

ностью земли около 1 *м*. Площадь захвата одного крыла равна 120×10=1200 *м*². Необходимый напор в начале крыла должен быть 20 *м*, а в конце 11 *м*. Полный расход крыла равен 18 *л/сек*, или 65 *м*³/*час*. Интенсивность дождя 0,9 *мм/мин*. Каждое крыло орошает полосу шириной 10 *м*. Схема действующего крыла показана на рисунке 64. При перестановке крыльев необходимо отработавшее крыло переставлять через один интервал (рис. 65) от действующего крыла, чтобы не переносить запасное крыло через поливаемую полосу. Таким образом, КДУ работает как полустационарная установка, когда насосный агрегат и подводящий трубопровод из асбестоцементных труб имеют стационарное положение, а дождевальные крылья являются переносными. Однако КДУ может работать целиком как передвижная установка, когда насосный агрегат перемещается вдоль реки или канала (рис. 66).

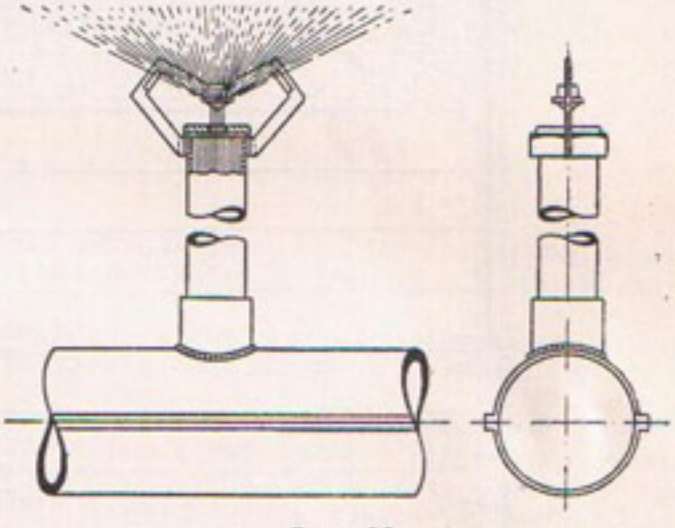


Рис. 63.

Для обслуживания КДУ требуется в смену три человека: один моторист и двое поливальщиков. Расход воды установки 18 *л/сек*, рабочий напор 20 *м*; коэффициент использования времени 0,75—0,80; суточная производительность 3—4 *га* при норме полива 30 *мм*. При поливе этой нормой с интервалом 8 дней КДУ может обслуживать за сезон площадь около 25—30 *га*.

Слабая сторона описанных короткоструйных дождевальных установок в небольшой площади полива (захвата крыла) с одной позиции, в связи с чем возникает необходимость частых перестановок труб и связанное с этим заминание узкорядных культур и большие затраты труда. Для устранения этих недостатков было предложено устройство на основной дождевальной трубе боковых открылков с насадками, что позволяет увеличить ширину захвата установки.

Для уменьшения затрат труда на разборку, сборку и переноску труб после каждого полива в одной позиции конструкторская мысль пошла по

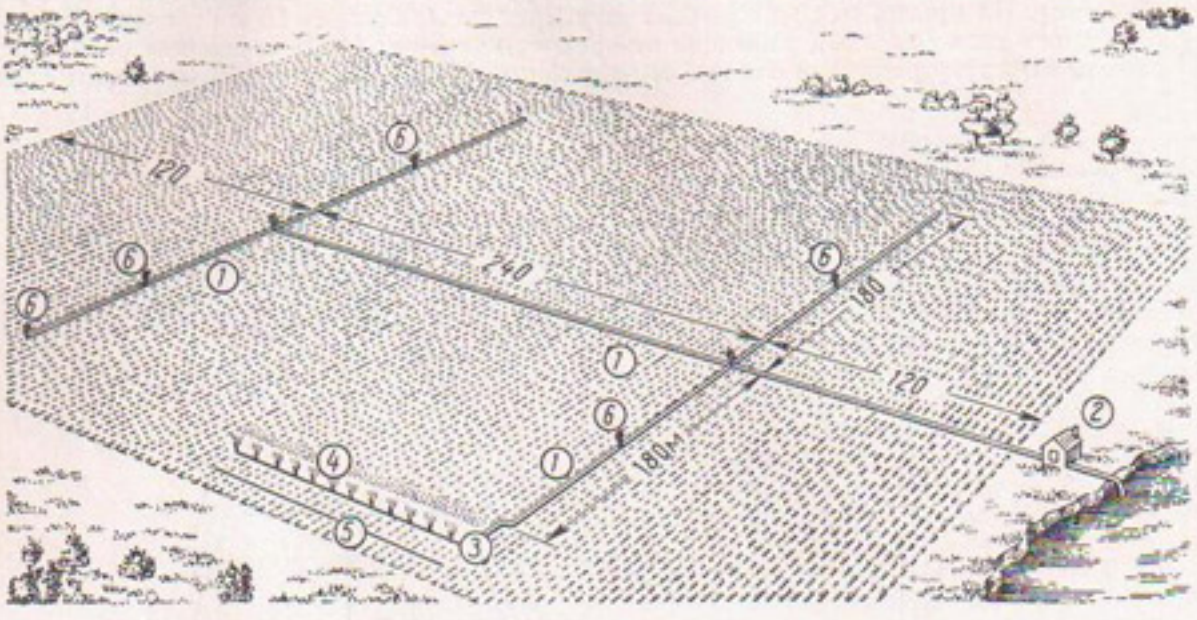


Рис. 64.

1 — стационарный асбестоцементный трубопровод; *2* — насосная станция; *3* — дождевальная установка; *4* — действующее дождевальное крыло; *5* — переносные трубы; *6* — гидранты на стационарном трубопроводе.

такому пути: *соединить принцип увеличения ширины захвата установки при помощи открылков с принципом перемещения дождевальной трубы вместе с открылками на колесах в виде дождевальной тележки.*

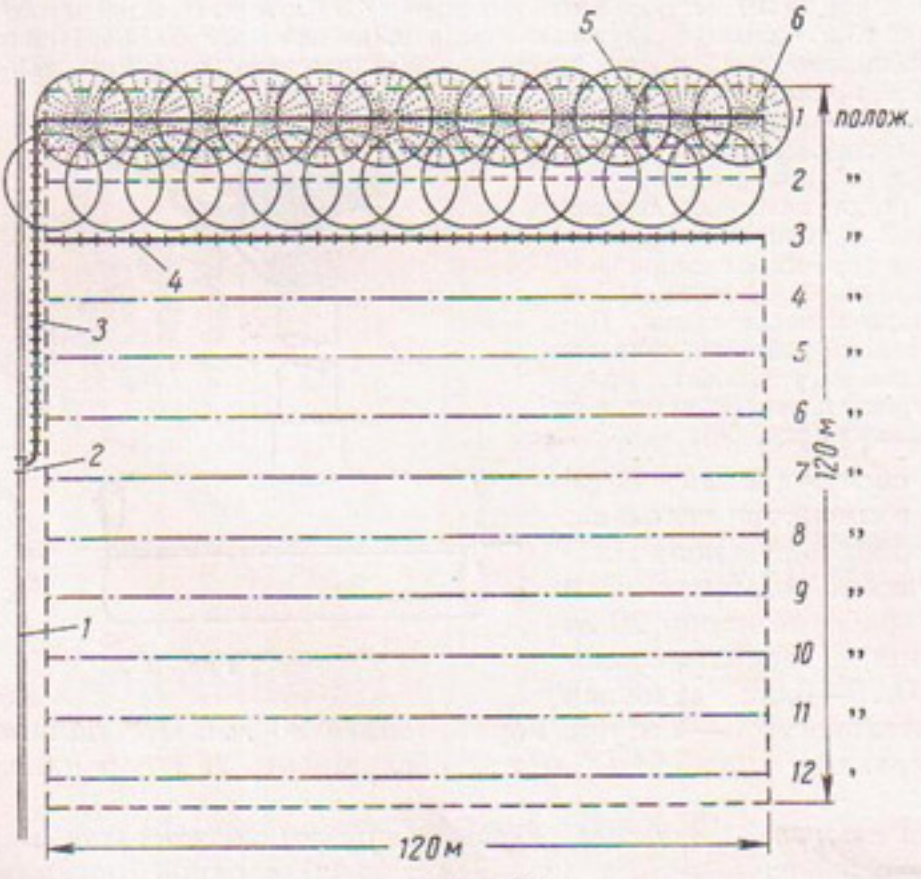


Рис. 65.

1 — стационарный трубопровод; *2* — гидрант; *3* — вспомогательный трубопровод; *4* — второе подготовляемое крыло; *5* — первое действующее крыло; *6* — заглушка.

Так возникли новые виды короткоструйных дождевальных машин, которые работают позиционно, но поставлены на колеса (в виде отдельных те-

ежек) и передвигаются с одной позиции на другую силой двух рабочих (или одной лошади). Таковы машины КДУ-47, КДУ-48, ДМ-20 и ДМ-40 системы ВНИИГиМ. Главнейшие показатели работы этих дождевальных машин даны в таблице 20[1].

Таблица 20

Показатели	Единица измерения	КДУ-41	КДУ-47	ДМ-20	ДМ-40
Расход воды	*л/сек*	18	20	20	40
Рабочий напор в гидранте	*атм*	2,0	1,2	1,2	1,2
Длина дождевального крыла	*м*	120	120	120	100
Рабочая площадь захвата	*м²*	2400	2400	2500	3200
Средняя интенсивность дождя	*мм/мин*	0,9	0,58	0,45	0,75
Средний диаметр капель	*мм*	0,9	0,8	0,9	0,8
Потребное число рабочих в смену	чел.	2—3	2	2	1
Производительность машин за 10 часов ($m_0 = 30$ *мм* и коэффициент использования 0,8)	*га*	1,7	1,92	1,92	3,8
Расстояния между оросителями	*м*	240	240	240	200

Вода в вышеуказанные агрегаты подается по напорному распределительному трубопроводу (переносному или стационарному) с гидрантами через 120 *м*; агрегат присоединяется к гидранту с помощью вспомогательного разборного трубопровода. Расстояния

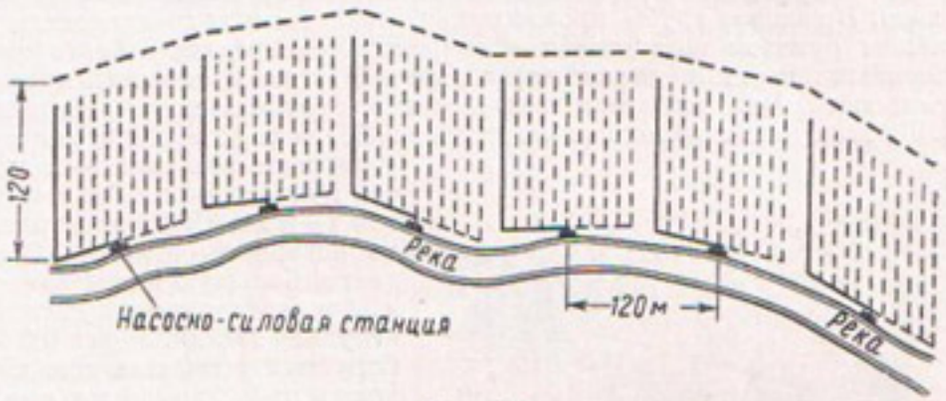


Рис. 66.

между распределительными трубопроводами должны быть равны 240 *м*. В трубопроводы вода нагнетается насосно-силовой станцией мощностью 20 *л. с.*, стоящей на источнике воды для орошения (реке, канале).

Для увеличения площади обслуживания дождевального агрегата и механизированного передвижения его во ВНИИГиМ конструируются более мощные дождевальные агрегаты ДМ-100 и др.

Агрегат ДМ-40 имеет двухконсольную ферму длиной 100 *м*, поставленную на гусеничный трактор СТЗ-НАТИ (рис. 67). Нижним поясом фермы является главная дождевальная труба ($d = 150$ *мм*), подающая воду в присоединенные к ней с обеих сторон боковые открылки с дождевальными насадками: общее число насадок с конусным распылителем 56, расход воды каждой насадки 0,714 *л/сек*.

Питание агрегата водой производится с конца консоли через вспомогательный трубопровод, присоединяемый к гидрантам напорных трубопроводов, в которые вода подается из водоисточника самостоятельной насосно-силовой станцией. Агрегат имеет расход воды 40 *л/сек* и с одной позиции покрывает дождем площадь в 3200 *м²*; интенсивность дождя около 0,75 *мм/мин*. Необходимый рабочий напор 12 *м*. При орошении больших массивов могут соединяться два агрегата, получающие общее питание водой. Расход воды таким сдвоенным агрегатом (ДМ-80) составляет 80 *л/сек*; рабочий напор 15 *м* и площадь захвата около 6400 *м²*. Суточная производительность агрегата ДМ-40 8 *га* при поливной норме 30 *мм*. Машину обслуживает один моторист-поливальщик.

Агрегаты типа ДМ-40 дают более значительную площадь полива за смену по сравнению с КДУ-41, допускают более редкую сеть оросительных каналов, осуществляют меха-

[1] В настоящее время выпускается КДУ-55. Эта установка имеет крыло длиной 150 *м*, расход воды 25 *л/сек*, площадь захвата 2000 *м²*, интенсивность 0,75 *мм/мин*.

низированное перемещение агрегата на поле, однако они очень громоздкие и двигатель в них используется на полную мощность только при передвижении, так как при поливах требуется меньшая мощность, ибо насадки их низконапорные.

В описанных агрегатах каждая насадка увлажняет почву по площади круга, и потому насадки должны быть расположены так, чтобы круги разбрызгивания в плане налегали друг на друга. В дождевальных установках струйного типа вода выбрасывается отдельными тонкими струйками из насадок, расположенных через 50 *см* по длине трубы; труба

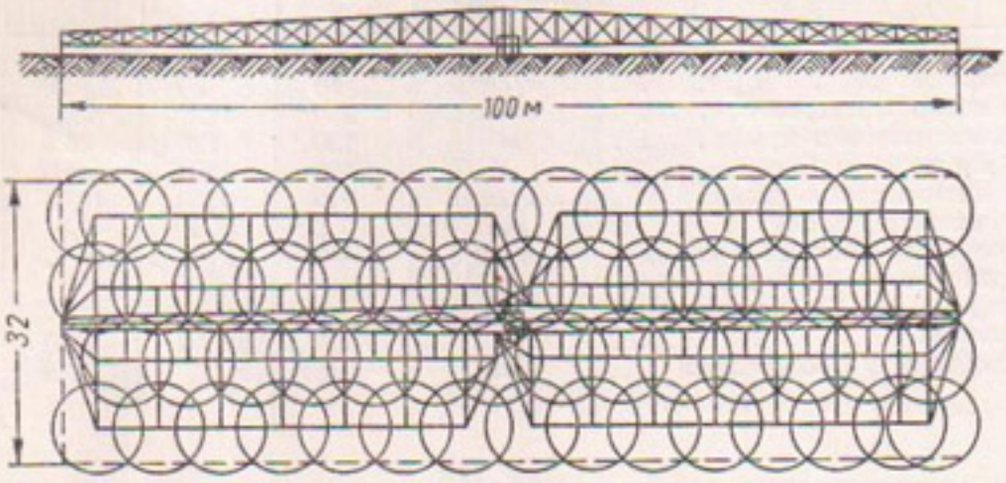


Рис. 67.

во время действия вращается вокруг своей горизонтальной оси на угол 45° от вертикали вправо и влево. Вращение трубы производится переносным гидравлическим двигателем, который гибким рукавом соединяется с гидрантом распределительного трубопровода. Скорость движения поршня двигателя, а вместе с этим и скорость вращения трубы можно регулировать. Вид двигателя и дождевальной трубы во время действия показан на рисунке 68. Ширина увлажняемой полосы вдоль трубы около 16 *м*, так что площадь захвата установки невелика — в этом недостаток данного типа. Диаметр насадок равен 1—2 *мм*. Вода для полива не должна содержать наносов. Эта установка дает небольшую интенсивность дождя — в этом ее достоинство. Расход воды одной струйной насадки равен 0,02—0,03 *л/сек*. Струйная установка дает интенсивность дождя от 0,2 до 0,4 *мм/мин*, что особенно важно на тяжелых почвах.

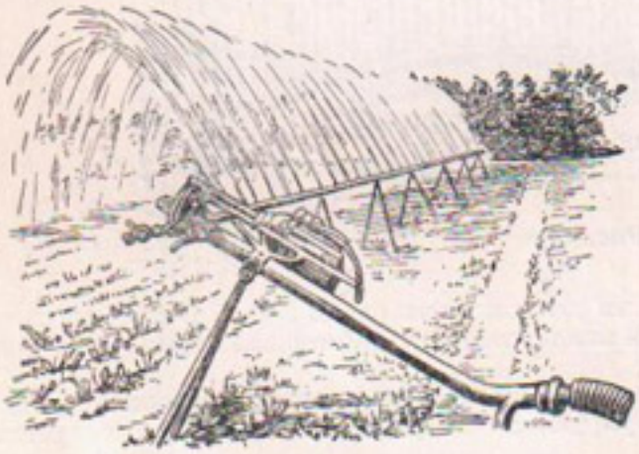


Рис. 68.

Струйные дождевальные агрегаты применяются для орошения небольших участков (ягодников и др.).

Оросительная система при дождевании может быть комбинированной, представляющей сочетание самотечных (более крупных) каналов с закрытой (в основном передвижной) сетью напорных трубопроводов; это позволяет повышать к. п. д. системы и механизировать производство поливов.

Дождевальные агрегаты должны иметь стандартную ширину захвата поливной полосы, чтобы можно было заменять один агрегат другим при одном и том же расстоянии между каналами постоянной оросительной сети.

Равномерность распределения воды по орошаемой площади при низконапорных дождевальных установках зависит от следующих факторов:

а) силы и направления ветра, смещающего падающие струи; особенно неблагоприятен ветер, дующий наперерез или вдоль направления крыльев;

б) условий распределения дождя по длине полета струи: наибольшее количество дождя падает около середины, а наименьшее — на конце, поэтому площади захвата каждого дождевателя должны накладываться одна на другую; струйные установки с вращающейся вокруг своей оси трубой дают бо́льшую равномерность увлажнения полосы;

в) уменьшения давления воды по длине крыла, в силу чего в насадки, расположенные ближе к гидранту, вода поступает под бо́льшим напором, чем в более удаленные, и первые насадки дают больше воды, чем последние; кроме того, крылья, присоединенные ближе

к насосу, работают под бо́льшим напором, чем более удаленные; для уравнивания подачи воды по длине крыла насадки имеют регуляторы.

Короткоструйные низконапорные дождевальные установки позволяют получать дождь меньшей интенсивности, требуют меньшей затраты энергии при одинаковой норме полива и менее подвержены вредному влиянию ветра.

Насадки короткоструйных установок имеют небольшое отверстие и потому требуют осветленной воды.

Высоконапорные (дальнеструйные) системы дождевания

Основной рабочий орган дальнеструйных систем дождевания составляют крупные насадки с наклонным соплом, вращающиеся вокруг вертикальной оси и выбрасывающие под значительным напором мощную струю воды, распыляющуюся по длине полета. Дождевальные насадки ставятся на гидранты напорного трубопровода или же соединяются непосредственно с движущимся насосно-силовым агрегатом (беструбные системы дождевания, самоходные дождевальные агрегаты).

Во время работы сопло и выбрасываемая им и распыляющаяся струя воды (полоса дождя) медленно вращаются вокруг вертикальной оси насадки.

Для вращения дальнеструйных насадок служат: в одних системах водяной двигатель (турбинка) специальной конструкции, в других — помещенные на конце сопла пропеллер или коромысло, в которое ударяет вылетающая из сопла струя воды.

Скорость вращения дальнеструйных дождевальных аппаратов — насадок вокруг вертикальной оси — от 0,33 до 1 оборота в минуту. Чтобы устранить турбулентность выбрасываемой из сопла струи воды и придать ей параллельноструйный характер, в сопле ставятся особые выпрямители струи в виде продольных, круглых или ячеистых трубок (если диаметр сопла $D > 2d$, где d — диаметр отверстия).

Выходное отверстие сопла дальнеструйной насадки имеет диаметр от 18 до 50 *мм* и дает расход воды от 5 до 36 *л/сек*. Дальность полета струи от 40 до 120 *м*, в зависимости от напора, и, сообразно этому, площадь, орошаемая из одного положения аппарата, составляет от 4000 до 40 000 *м*^{2}. Несколько дальнеструйных насадок, поставленных на одном дождевальном трубопроводе, могут одновременно орошать значительную площадь. Дальнеструйные аппараты работают при напорах от 4 до 10—12 *атм*, соответственно этому они требуют более мощных двигателей, чем короткоструйные системы, и большей затраты энергии на полив единицы площади.

Равномерность распределения дождя по площади у дальнеструйных аппаратов зависит от следующих факторов.

1. Количество воды (дождя), выбрасываемое соплом по длине струи при стационарном, невращающемся аппарате, полученное из опыта, показано на рисунке 69, где сплошная кривая показывает распределение суммы осадков в миллиметрах за t минут дождевания по длине струи на разных расстояниях от аппарата. Как видим, наибольшая высота осадков падает на 80—85% общей длины струи, причем высота нарастает приблизительно по прямой. Такова картина в тихую погоду; ветер ухудшает распределение: длина струи сокращается, и максимумы осадков возрастают. Таким образом, при невращающемся аппарате получается весьма неравномерное распределение дождя по длине струи (даже без ветра). Для увеличения равномерности дождя по длине струи принято вращение струи, хотя при этом и сокращается на 10—25% дальность полета струи (вследствие сопротивления воздуха). Площадь обслуживания (покрытия дождем) дальнеструйной вращающейся насадки является площадью круга.

При вращении путь, который проходят отдельные частицы воды, оказывается различным, будучи пропорциональным расстоянию данной точки от дождевального аппарата. В самом деле, если высоты слоя осадков за t мин. при спокойной струе на расстояниях от дождевателя (рис. 70) R_1 и R_2 соответственно равны H_1 и H_2, то при вращении аппарата на 360° в течение времени t количество осадков H_1 *мм* должно будет распределяться на площади кольца $2\pi R_1$, а количество осадков H_2 — на площади $2\pi R_2$ (при

ширине кольца, равной единице), т. е. в первом случае высота слоя осадков будет равна $\frac{H_1}{2\pi R_1}$, а во втором случае $\frac{H_2}{2\pi R_2}$. Так как количество выбрасываемой воды по длине струи распределяется пропорционально расстоянию от дождевателя, то благодаря вращению получается равенство $\frac{H_1}{2\pi R_1} \approx \frac{H_2}{2\pi R_2}$; в действительности, по ряду причин, тут будут колебания, но в основном вращение струи дает более равномерное

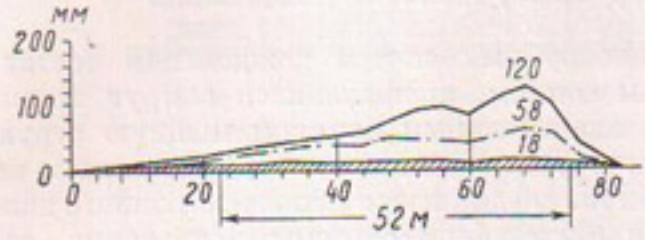


Рис. 69.

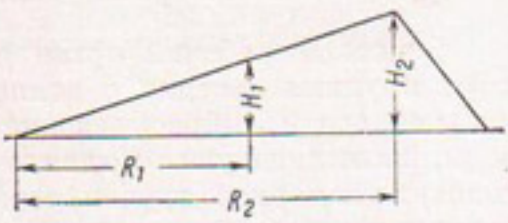


Рис. 70.

распределение осадков, что видно и на рисунке 69 (заштрихованная площадь), причем слой осадков на единицу площади снижается.

2. Одно вращение струи не обеспечивает вполне нужной равномерности распределения дождя: на ближайшей к аппарату внутренней зоне круга получается недостаточное количество осадков.

Для равномерного распределения воды по длине струи в дождевальных аппаратах имеются специальные устройства: небольшие добавочные сопла, увлажняющие среднюю часть круга (рис. 71), или же особые распылители на конце сопла.

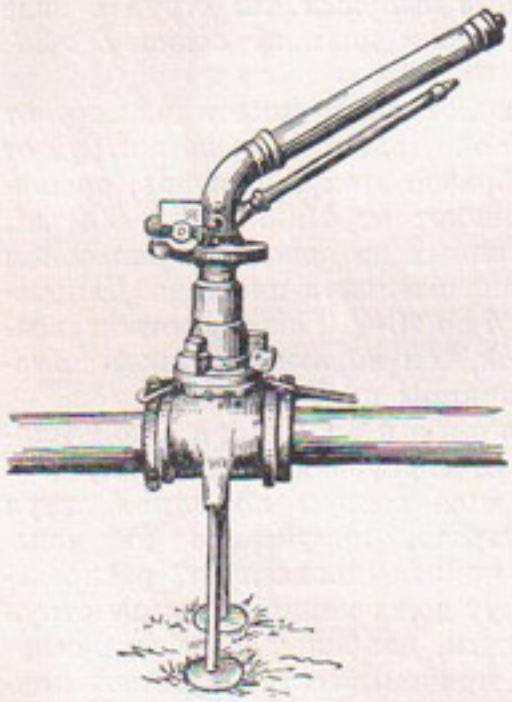


Рис. 71.

3. Ветер сильно ухудшает равномерность распределения дождя, а при скорости 6—7 *м/сек* делает дождевание нецелесообразным.

Оказывая сопротивление вращающейся струе воды, ветер сокращает дальность струи и площадь захвата дождевальной насадки; по опытам ВНИИГиМ, увеличение скорости ветра на 1 *м/сек* сокращает площадь захвата аппарата на 400—500 $м^2$.

4. Как быстрое, так и медленное вращение аппарата невыгодно, так как в этих случаях влияние ветра сказывается сильнее. Поэтому скорость вращения делается от 0,33 до 1 оборота в минуту, причем аппараты с меньшей площадью захвата имеют более быстрое вращение.

Бóльшая площадь обслуживания аппарата из одной позиции, меньшая затрата труда на перестановку и более высокая производительность являются достоинством дальнеструйной системы дождевания по сравнению с короткоструйной.

Недостатки этой системы следующие.

1. Дальнеструйные насадки дают сильную струю, крупные капли дождя и высокую действительную (мгновенную) интенсивность дождя, могущую вредно действовать на растения и почву; однако прерывистость дождя вследствие вращения аппарата обусловливает очень небольшую среднюю интенсивность его, что ослабляет указанный недостаток.

2. Дальнеструйные высоконапорные насадки требуют большей затраты энергии на 1 *га* орошения на 1 *мм* дождя, что повышает эксплуатационные расходы по сравнению с низконапорными насадками.

3. Влияние ветра сказывается неблагоприятно, сильно сокращая производительность насадки.

Дальнеструйные системы дождевания разделяются: 1) по характеру механизма вращения насадок и распыления воды и 2) по условиям подачи воды в насадки и перемещения их по орошаемому полю. В зависимости от этого в настоящее время можно выделить типы дальнеструйных дождевальных систем, указанные в таблице 21.

Таблица 21

Механизм вращения насадки	Насадки установлены на напорном разборном трубопроводе и переставляются вручную	Насадки соединены с насосом и самоходным двигателем и перемещаются на поле самоходом (беструбное дождевание)
Гидравлическая турбина с червячной передачей на корпусе насадки, вращаемая напором струи воды, выходящей ниже основного сопла	Дальнеструйная дождевальная установка ВНИИГиМ (ДДУ), ЮжНИГиМ и др.	Дальнеструйная самоходная дождевальная машина ВИСХОМ: навесная ДДН-30, прицепная ДДП-30С
Коромысловый струепрерыватель, поставленный на выходном конце основного сопла	Дальнеструйная дождевальная установка ГрузНИИГиМ (системы Дидебулидзе)	Дальнеструйная самоходная дождевальная машина ГрузНИИГиМ СБДМ-30

Дальнеструйная насадка ВНИИГиМ (рис. 71) состоит из неподвижного патрубка, которым она соединяется с гидрантом трубопровода, и вращающейся верхней части, состоящей из наклонного сопла (главного и дополнительного)

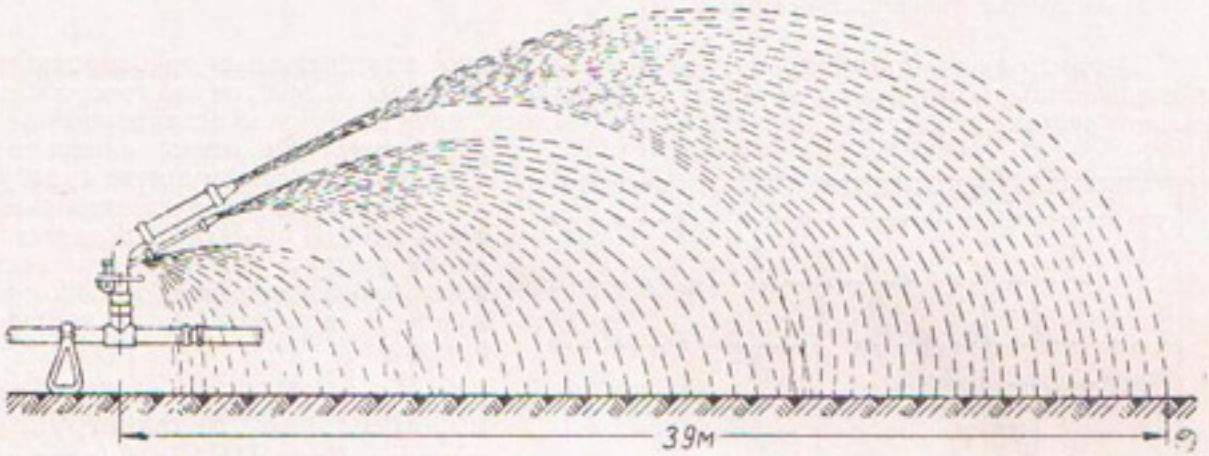


Рис. 72.

и вращающей насадку турбинки, приводимой в движение струей воды, выходящей через специальное отверстие. Аппарат имеет два сопла: 1) главное (диаметр отверстия 21 *мм*), которое дает дальность полета струи около 40 *м* и пропускает около 89% общего расхода воды, и 2) дополнительное сопло (диаметром 7,5 *мм*), дающее дальность полета струи около 17 *м* и пропускающее около 9% общего расхода воды; отверстие диаметром 3,5 *мм*, дающее струю воды на турбинку, пропускает около 2% общего расхода воды. Угол наклона сопла к горизонту 32°. Рабочий напор насадки около 40 *м*; общий расход воды 11 *л/сек*; площадь захвата брутто 4000 $м^2$. Средняя интенсивность дождя 0,16—0,20 *мм/мин*.

Дальнеструйная насадка в действии представлена на рисунке 72. Отдельные звенья труб соединяются между собой при помощи быстро собирающихся муфт.

В дальнеструйной установке ВНИИГиМ общая длина трубопровода 275 *м*, из которых 150 *м* составляют основную линию, а 125 *м* — вспомогательную. Трубы стальные, сварные, с внутренним диаметром 114 *мм*; длина одного звена труб 5 *м*; насадки устанавливаются через 50 *м*. Двигатель СТЗ-15/30 *л. с.* Насос центробежный ЗНК завода имени

Калинина, дающий расход 22 *л/сек* при напоре 55 *м* и 1950 оборотах в минуту. Установка может обслуживать две одновременно работающие дождевальные насадки.

Расстановка трубопроводов и двух одновременно работающих дальнеструйных насадок ВНИИГиМ показана на рисунке 73, причем насосная станция забирает воду из временного оросителя. Порядок перестановки насадок может быть сделан также по способу, показанному на рисунке 74, при котором получается более равномерная нагрузка двигателя.

Расположение дождевальных насадок может быть сделано также по схеме, показанной на рисунке 75; здесь вода берется непосредственно из распределителя, причем насадки имеют радиус действия 39 *м*; одновременно работают три насадки. Общая длина труб здесь около 365 *м*.

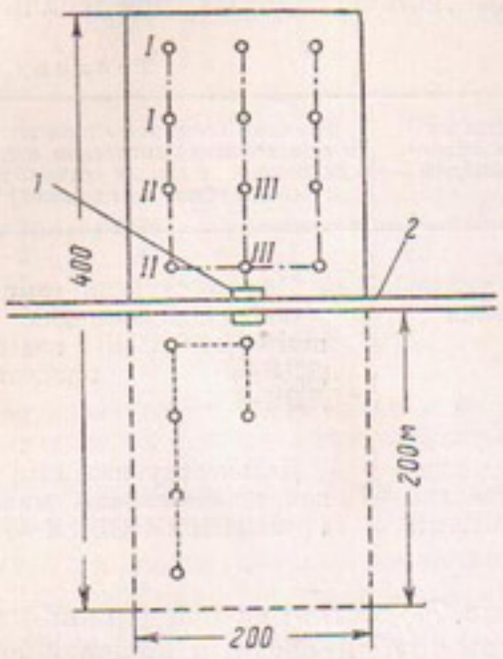


Рис. 73. Схема перестановки дождевальных крыльев установки ВНИИГиМ-1:
1 — насосная станция; *2* — ороситель.

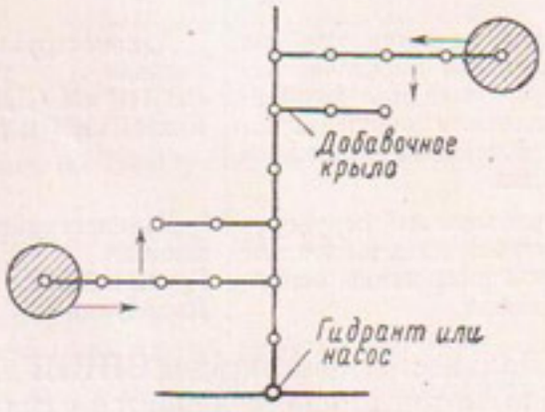


Рис. 74.

В этом случае оросители внутри поля заменены передвижными трубопроводами и, следовательно, отпадают затраты на устройство оросительной сети, не стесняется механизация сельскохозяйственных работ и делается возможной поперечная механизированная обработка, что очень важно при квадратно-гнездовом посеве культур.

Дальнеструйная насадка системы ЮжНИИГиМ-НИМИ представлена на рисунке 76, где слева видна крыльчатка вращающей турбины; показатели ее работы близки к предыдущей.

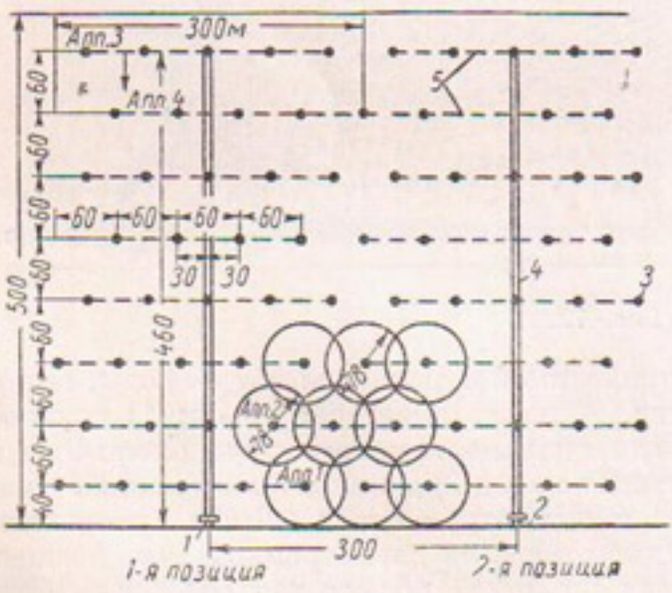


Рис. 75.
1 —насос и трактор; *2* —распределитель; *3* — дальнеструйный дождевальный аппарат; *4* — переносный главный трубопровод; *5* — дождевальный трубопровод.

На рисунке 77 показана коромысловая дальнеструйная насадка ГрузНИИГиМ (системы А. И. Дидебулидзе); в ней как вращение насадки вокруг вертикальной оси, так и выравнивание распыления струи по длине производится коромыслом. Коромысло действует автоматически: струя воды ударяется в лопатку, верхний конец коромысла отталкивается вправо, вниз, вследствие чего лопатка выходит из струи и вращение прекращается, но противовес ставит лопатку в прежнее положение, и т. д. Расход насадки около 7 *л/сек* при рабочем напоре 50 *м*. Площадь увлажнения 3000 $м^2$, а средняя интенсивность дождя 0,17 *мм/мин*.

Взаимное расположение дождевальных насадок по отношению друг к другу может быть сделано двумя способами: по квадратам (рис. 78) и по треугольникам (рис. 79). Выгодно расположение насадок по равностороннему тре-

угольнику, так как в этом случае получается больше полезная площадь орошения (на 20—30%) и лучше обеспечивается равномерность распределения дождя при ветре.

Полезная площадь дождевания одной насадки при радиусе действия R равна: при квадратной форме $2R^2$, а при треугольной (площадь вписанного шестиугольника) — 2,6 R^2, т. е. на 30% больше.

Нужно отметить, что при заборе воды на дождевание из каналов (распределителей) сечение их может быть сделано целиком в выемке.

При полустационарной системе постоянный напорный

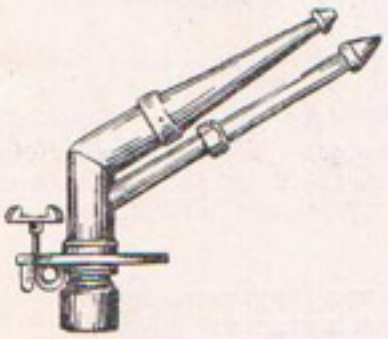


Рис. 76.

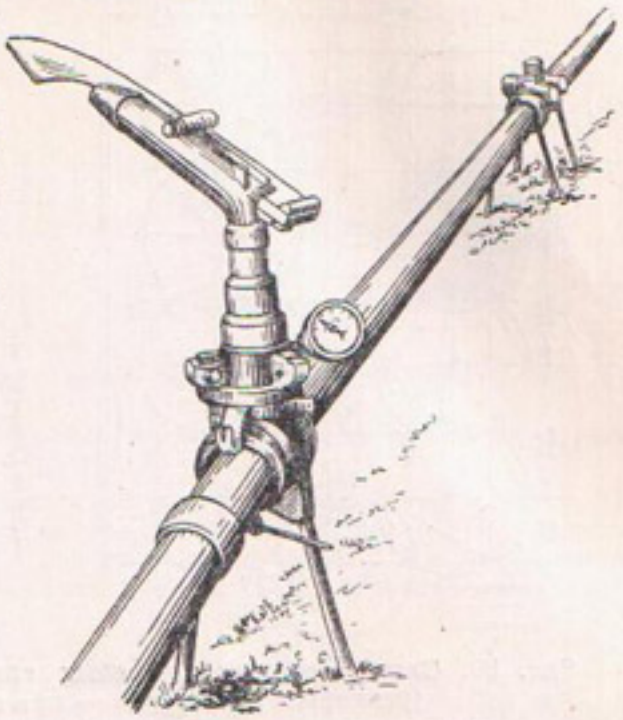


Рис. 77.

трубопровод делается из асбестоцементных, железобетонных или чугунных труб.

Из самоходных дальнеструйных дождевальных агрегатов рассмотрим машину ДДП-30С (системы ВИСХОМ). Дальнеструйная дождеваль-

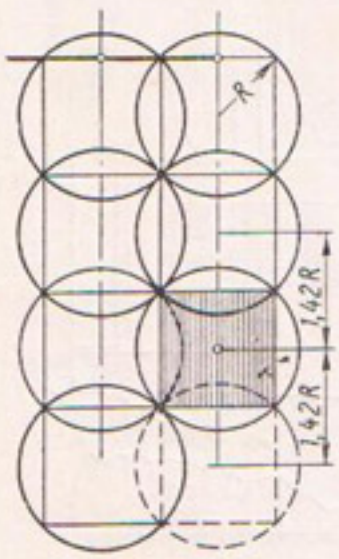


Рис. 78.

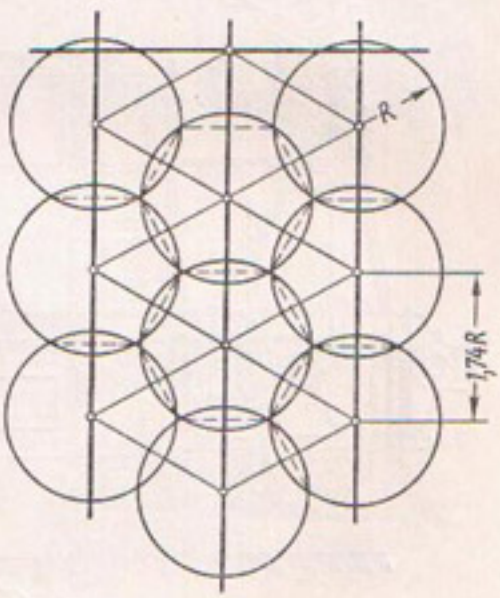


Рис. 79.

ная насадка, центробежный насос НК-6, всасывающий воду аппарат, гидропривод смонтированы на двухколесном ходу, прицепляемом к трактору ДТ-54; насос приводится в действие валом отъема мощности через карданный вал и редуктор. При манометрическом напоре 7,5—8 *атм* расход воды составляет 22—30 *л/сек*, дальность полета струи 50—60 *м* и площадь орошения из одной позиции около 1,08 *га*. Средняя интенсивность дождя

0,127 *мм/мин*; средний диаметр капель 1,66 *мм*, расход горючего около 33 *кг* на 1 *га*. Насадка может поливать по кругу (рис. 80) и по сектору. Машина берет воду из открытого временного оросителя, двигаясь вдоль оросителя слева от него. При поливе по кругу расстояния между оросителями должны

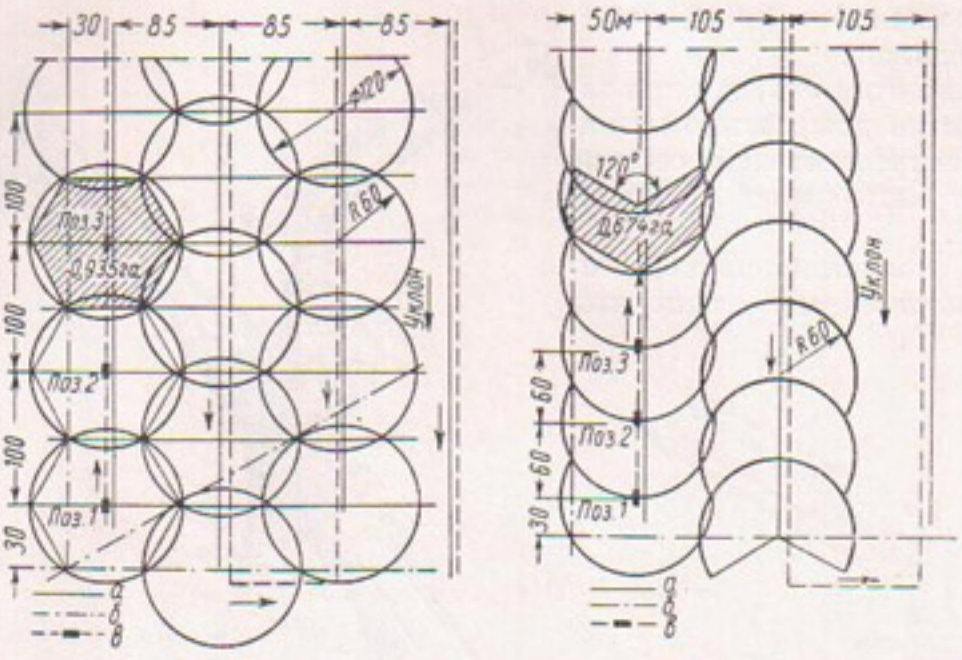


Рис. 80. Схема оросительной сети: слева — при круговом поливе (размеры в *м*); справа — при секторном поливе:

а — временный ороситель; *б* — границы орошаемого участка; *в* — дорога вдоль оросителя и стоянка дождевальной машины.

быть не более 85 *м* и расстояния между стоянками — 100 *м*, а при поливе по сектору расстояния между остановками — 60 *м*. Насадка имеет два сопла, угол между которыми может меняться; число оборотов насадки в минуту равно 0,25.

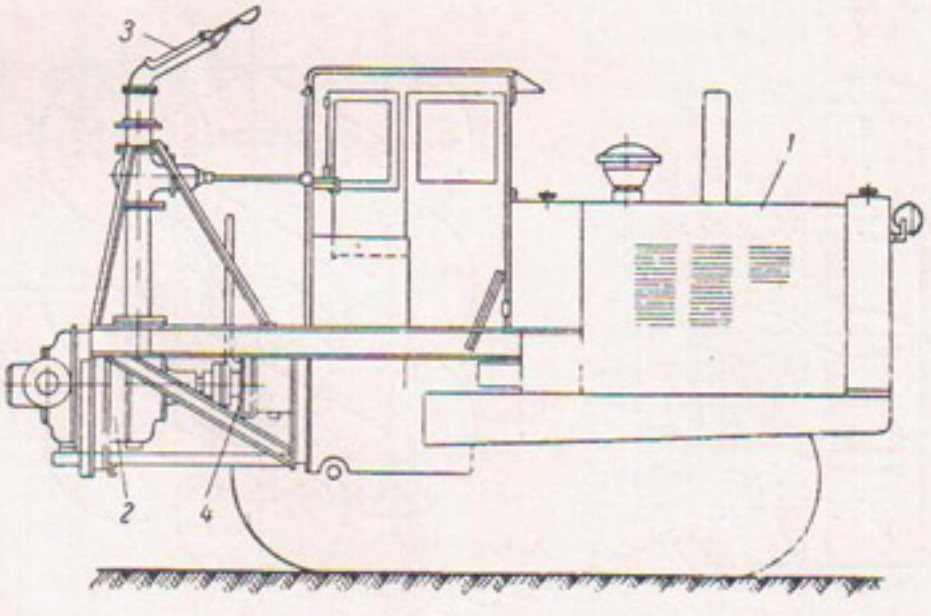


Рис. 81. Высоконапорная дождевальная машина СБДМ-30 (общий вид):

1 — трактор С-65; *2* — насос; *3* — струйный дождевальный аппарат; *4* — редуктор.

Производительность этой машины при работе по сектору на 5—10% меньше, чем при работе по кругу.

Стоянки машин на соседних оросителях делаются в шахматном порядке.

Дождевальный дальнеструйный самоходный агрегат СБДМ-30 системы ГрузНИИГиМ (рис. 81) имеет насадку с коромысловым аппаратом вращения и дает расход воды 30 *л/сек*. Дождевальная насадка, центробежный трехступенчатый насос, редуктор и всасывающее устройство (для забора воды из временных оросителей) смонтированы навесными на гусеничном тракторе «Сталинец-65». При напоре 7 *атм* насос дает расход воды 30 *л/сек*. Радиус действия равен 59 *м*; площадь покрытия дождем 0,70 *га*. Число оборотов насадки 0,8 в минуту. Средняя интенсивность дождя 0,26 *мм/мин*.

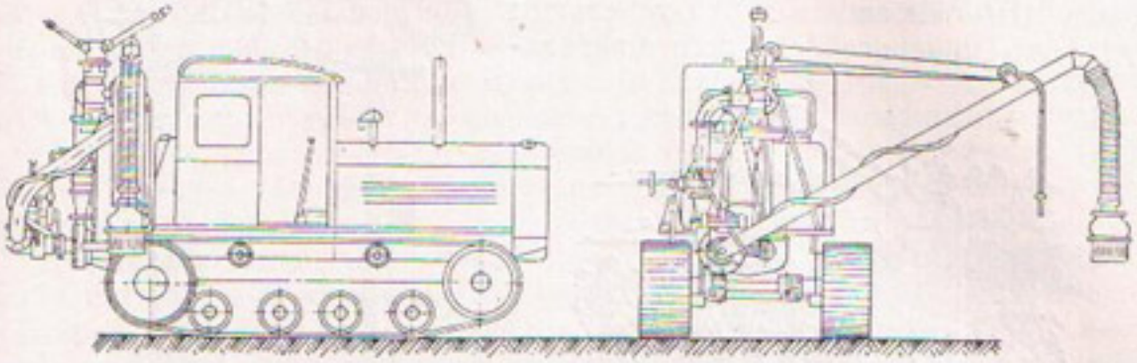


Рис. 82. Схема устройства дальнеструйного дождевального навесного агрегата ДДН-30.

По этому типу ВИСХОМ разработал самоходную дождевальную машину ДДН-30 с навесным дождевальным аппаратом на тракторе ДТ-54 (рис. 82), имеющую насадку с турбинным аппаратом вращения. Эта машина дает расход воды также 30 *л/сек* и при напоре насоса 8,5 *атм* площадь покрытия дождем около 0,90 *га*. Число оборотов в минуту 0,5.



Рис. 82а.

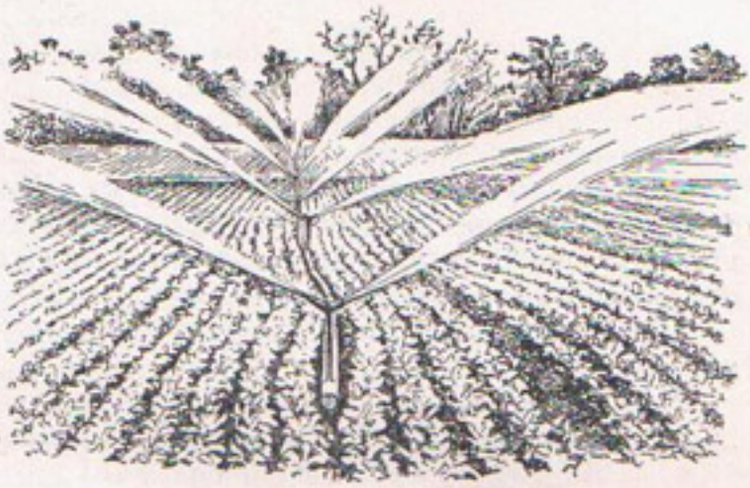


Рис. 82б.

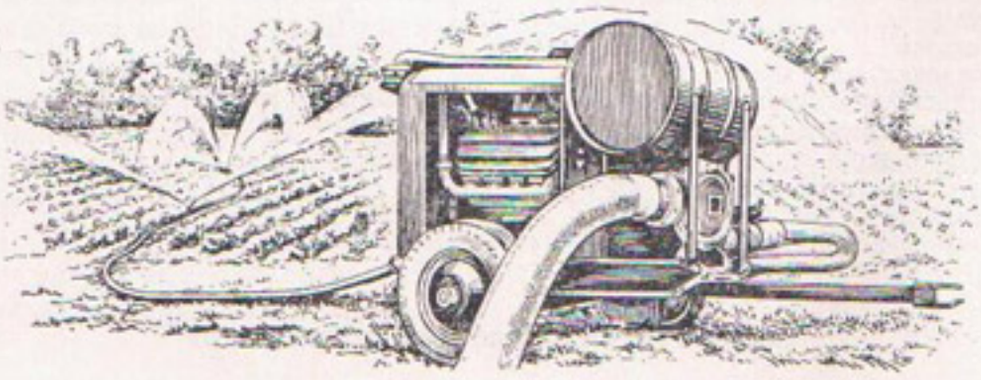


Рис. 82в.

Достоинство самоходных дождевальных агрегатов заключается в полной механизации труда поливальщика и сравнительной легкости их при передвижении[1].

[1] В настоящее время машины ДДП-30С и ДДН-30 заменены машиной ДДН-45 на тракторе ДТ-54А. Машина навесная, расход 45 *л/сек*, воду забирает из оросителей, расположенных через 80 *м*.

В США в настоящее время распространены дождевальные насадки средненапорные (рис. 82а), портативные для небольших участков (рис. 82б) и дальнеструйные для более крупных участков, работающие от передвижных моторов (рис. 82в).

На рисунке 82г показана германская дождевальная установка фирмы Perrot Regnerbau (Calw-Würtemburg). Эти установки могут быть приспособлены для дождевания древесных садовых насаждений, а также для защиты деревьев от заморозков при помощи дождевания их. Насадки типа LKA-30 (рис. 82г) при расположении их по квадратам на расстояниях 24 *м* орошают площади по 576 $м^2$, давая в час слой дождя около 3,37 *мм* и расход воды 1—2,75 $м^3$/*час* при отверстиях насадки d=4—6 *мм*.



Рис. 82г.

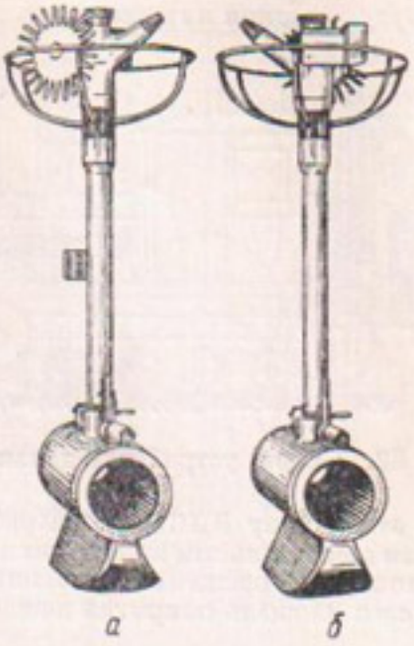


Рис. 82 д. Общий вид среднеструйного разбрызгивателя с защитным кожухом.

Главнейшие показатели работы дальнеструйных дождевальных машин даны в таблице 22.

Таблица 22

Показатели	Единица измерения	ВНИИГиМ-1	СБДМ-30	ДДН-30	ДДП-30С
Расход воды	*л/сек*	20	30	23	22,5
Напор в насосе	*атм*	5,5	7,0	8,25	7,5
Длина дождевального крыла	*м*	275	47	45	58
Рабочая площадь захвата	$м^2$	5000	6900	6200	10 800
Средняя интенсивность дождя	*мм/мин*	0,23	0,26	0,21	0,127
Число рабочих в смену	чел.	2	1	1	1
Производительность машины за 10 часов при норме 30 *мм* (при коэффициенте использования времени 0,8)	*га*	2,0	3,0	2,40	2,20

Среднеструйные системы дождевания

Короткоструйные дождевальные установки, требующие меньшего напора и меньших затрат энергии на полив, дают, однако, малую ширину захвата и требуют частых перестановок. Для устранения или смягчения указанных недостатков могут служить дождевальные системы с дождевальными насадками среднеструйного типа[1]. Эти насадки дают бо́льшую дальность

[1] О дождевальных установках среднеструйного типа см. статью З. И. Метельского в журнале «Гидротехника и мелиорация» № 1, 1957. *Прим. автора.*

полета струи по сравнению с короткоструйными и бóльшую площадь захвата, имеют бóльшую продолжительность работы дождевальных крыльев на одной позиции, что уменьшает частоту перестановок их. Вместе с тем *среднеструйные насадки требуют меньшего напора и меньших затрат энергии на полив по сравнению с дальнеструйными и дают дождь меньшей интенсивности.* Среднеструйные дождевальные насадки, как и дальнеструйные, являются вращающимися, что усложняет их конструкцию и требует особенно осветленной воды для их работы.

Вращение среднеструйных насадок в настоящее время осуществляется тремя способами: а) путем качающейся лопатки или вращающегося диска, б) небольшой гидравлической турбинкой (рис. 82д), в) червячной передачей и г) за счет реактивного действия струи воды с регулятором в виде манжетного механизма.

Дождевальные насадки среднеструйного типа имеют расход воды до 3 *л/сек* при напоре 2,5 *атм*, дают радиус действия при вращении около 18 *м*, скорость вращения около 1 *об/мин*; средняя интенсивность дождя до 5—8 *мм/час*. Расход воды Q, приходящийся на одного поливальщика, при установках среднеструйного типа определяется по З. И. Метельскому так:

$$Q = \frac{\frac{m}{p}}{nt_{ср}}\, q,$$

где m — поливная норма, в *мм*;

p — интенсивность дождя, в *мм/мин*;

n — число поливальщиков, переставляющих одно дождевальное крыло;

q — расход воды, поступающей в одно дождевальное крыло. При $m = 40$ *мм*, $p = 0{,}25$ *мм/мин*, $t_{ср} = 30$ *мин*, $n = 2$ и $q = 20$ *л/сек* получим $Q = 53$ *л/сек*.

Расход воды, приходящийся на одного поливальщика при работе короткоструйной установки КДУ-41, составляет около 10 *л/сек*, так как расход КДУ-41 около 20 *л/сек*, а обслуживается она двумя рабочими; таким образом, среднеструйные насадки дают значительно больший расход воды на одного поливальщика по сравнению с короткоструйными насадками.

Вследствие большей продолжительности стоянки на одной позиции при дождевальных установках среднеструйного типа требуется меньшее число резервных крыльев на каждое работающее дождевальное крыло. Гидранты при среднеструйных установках располагаются не через 120 *м*, а через 50 *м*, и ширина захвата поливом увеличивается с 240 до 400 *м*. Затраты труда на переноску вспомогательных трубопроводов снижаются, так как средняя длина переноски их уменьшается с 50 до 25 *м*, а число переносимых труб с 11 до 2—3.

Применение среднеструйных дождевальных насадок с более частым расположением гидрантов, с увеличением ширины захвата дождевальных установок и применением железобетонной арматуры на асбестоцементных трубопроводах позволяет уменьшить стоимость устройства закрытой оросительной сети на 30%[1]. Эксплуатационные расходы, вследствие сокращения затрат труда на перестановку труб при среднеструйных установках, также снижаются (в среднем на 30%).

Мостовые и консольные системы дождевания

Мостовые и консольные системы дождевания были предложены в СССР для повышения производительности дождевальных агрегатов, уменьшения затрат рабочей силы и энергии и улучшения качества дождя. Эти агрегаты, как указано выше, относятся к короткоструйным и могут работать в дви-

[1] По данным З. И. Метельского (см. журнал «Гидротехника и мелиорация» № 1, 957). *Прим. автора.*

жении (а также и позиционно). В этих агрегатах насосно-силовая станция для подачи воды и создания напора и тележка для поддержания фермы и передвижения агрегата смонтированы на одном тракторе. Агрегат забирает воду непосредственно из открытых оросителей, и подводящие напорные трубопроводы отсутствуют.

Описываемая система дождевания состоит в том, что дождь на орошаемую поверхность дается из одной или двух горизонтальных дождевальных труб с насадками, смонтированных на особой ферме на нужной высоте над поверхностью земли и перемещаемых во время полива по полю. Ферма,



Рис. 83.

к которой подвешены дождевальные трубы, имеет одну опору (консольный тип) или две опоры (мостовой тип), причем эти опоры установлены на передвижной самоходной тележке, где помещаются насос, нагнетающий воду в дождевальную трубу, и двигатель, вращающий насос и передвигающий тележку по полю. Мостовой тип дождевального агрегата показан на рисунке 83; здесь требуется синхронное перемещение обеих опор.

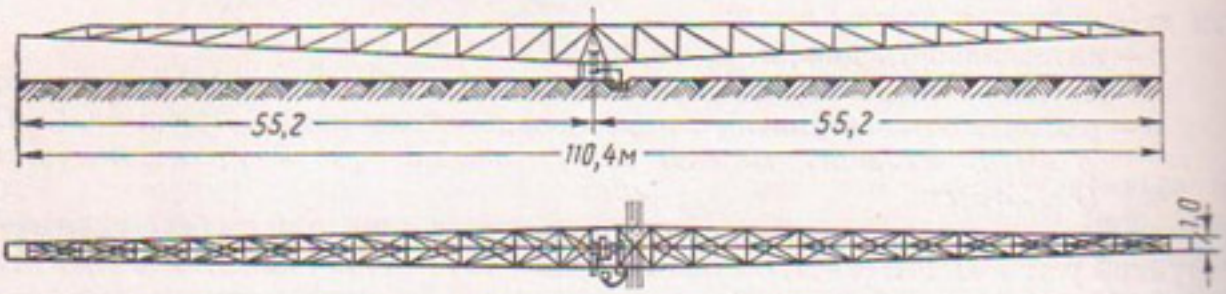


Рис. 84.

Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100 системы инж. М. С. Яншина (ВНИИГиМ) представлен на рисунках 84 и 85. По величине рабочего напора мостовые агрегаты принадлежат к низко- и средненапорным. Консольные агрегаты можно соединять концами в одну общую гибкую систему. Высота расположения трубы над поверхностью земли от 2 до 6 *м*. Длина захвата агрегата от 80 до 120 *м*. Ширина полосы, покрываемой дождем, зави-

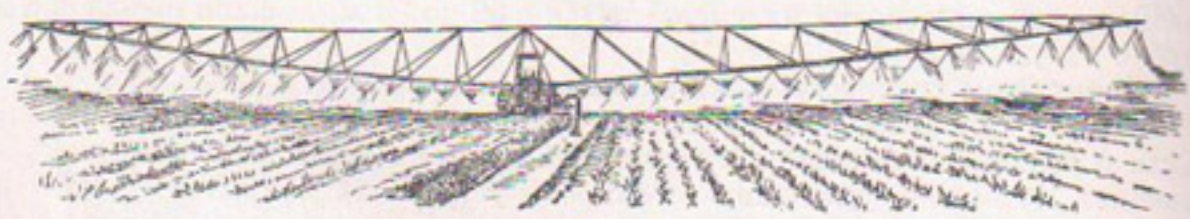


Рис. 85.

сит от характера насадок и напора и колеблется от 8 до 18 *м*. Мостовой агрегат работает в движении, но может работать и стационарно. В первом случае он движется взад и вперед на определенной длине поливного участка l, пока не увлажнит площадь Bl нужной нормой дождя, где B — ширина участка. Во втором случае агрегат работает, стоя в одной позиции, и увлажняет площадь Bd, где d — ширина захвата дождевальной трубы, равная 16—18 *м*.

Агрегат ДДА-100 смонтирован на дизельном тракторе С-65, на котором поставлены: легкая ферма с двумя консолями, имеющая общую длину 110,4 *м* и поддерживающая дождевальные трубы с насадками, и центробежный насос, забирающий при помощи всасывающего рукава воду из оросительного канала и подающий ее в дождевальную трубу. Весь этот агрегат при работе движется вдоль оросительного канала взад и вперед на длине

участка около 500 *м*, покрывая дождем полосу земли по обе стороны канала общей шириной 120 *м*. Скорости движения трактора при орошении: передняя до 1,3 *км/час* и задняя до 1 *км/час*.

Ферма стержневая, треугольного сечения, причем два нижних пояса представляют собой дождевальные трубы, а верхний пояс сделан из круглой стали (рис. 86). Концы консольных ферм подняты над землей на 5 *м*. Верхний пояс соединен с нижними стойками из труб и раскосами из круглого железа. Нижние пояса соединены между собой распорками. Внутренний диаметр дождевальных труб нижнего пояса изменяется от 100 до 50 *мм*. Труба центральной панели, соединенная с насосом, имеет диаметр 125 *мм*. На случай наклона фермы на одну сторону поставлены: а) амортизаторы на консолях и б) обратные клапаны и разделительная стенка на центральной трубе во избежание перелива воды. На дождевальных трубах поставлена 51 дефлекторная насадка с диаметром отверстий от 11 до 19 *мм*, с расходом 1,5—1,8 *л/сек* каждая, разбрызгивающие воду на ширину 16—18 *м* по длине фермы, так что одновременно покрываемая дождем площадь составляет 120·17= =2040 *м*². Расход воды, даваемый насосом, равен 100 *л/сек*. Действительная интенсивность дождя около 3 *мм/мин*. При работе в движении агрегат обслуживает за один проход участок длиной 500 *м* и шириной 120 *м* и дает средний слой дождя 3 *мм* (за один проход) и среднюю интенсивность дождя 0,1 *мм/мин*. Полный напор насоса 25 *м* при 1050 оборотах в минуту.

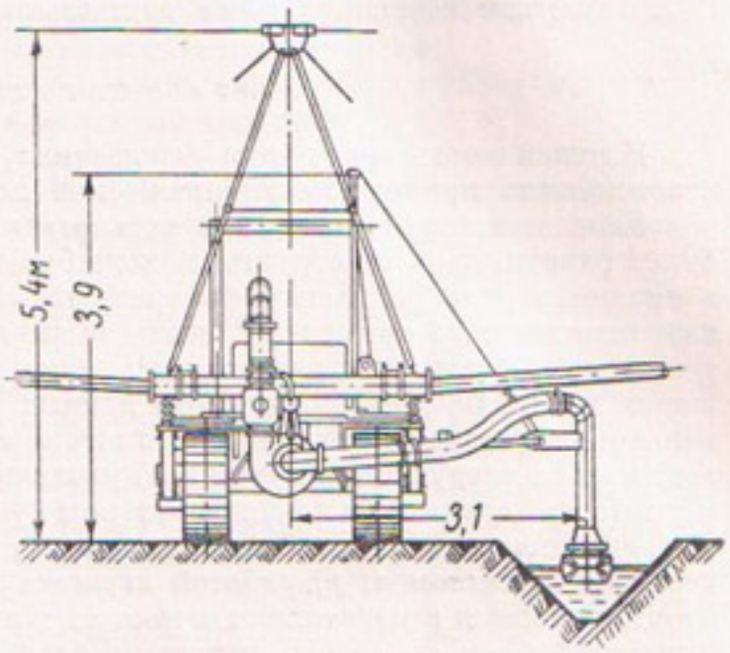


Рис. 86.

Всасывающая линия состоит из колена насоса, шланга и приемной сварной трубы (с обратным клапаном), поднимаемой и опускаемой в канал для забора воды. Агрегат движется вдоль оросителя по дороге шириной около 3,5 *м*; каналы должны нарезаться через 120 *м*; они могут быть сделаны в выемке; для лучшего забора воды при работе агрегата оросители разбиваются (подпорными сооружениями) на бьефы длиной 150—500 *м* с глубиной воды около 0,5 *м*. Лучшее направление оросителей вдоль горизонталей, с уклоном 0,0005. Суточная производительность консольного агрегата при работе 20 часов в сутки составляет около 24 *га* при норме полива 30 *мм*. Агрегат обслуживают один тракторист и один рабочий в смену.

Таким образом, консольным дождевальным агрегатом можно полностью механизировать полив с небольшой затратой рабочей силы и с невысокой средней интенсивностью дождя; растения не вытаптываются. Недостаток его состоит в том, что он, кроме устройства временных оросителей (через 120 *м*), требует устройства проезда вдоль них, для прохода трактора во время полива, что дает потерю около 4—5% полезной площади[1].

Таблица 23

Показатели	Единица измерения	ДДА-100	ДДА-80	ЭДДА-30
Расход воды	*л/сек*	100	80	30
Потребный напор	*атм*	2,7	2,3	2,0
Рабочий захват машины	*м*	120	120	100
Площадь захвата	*м*²	2100	2000	1300
Средняя интенсивность дождя:	*мм/мин*			
а) позиционная		3,0	2,4	1,40
б) в движении		0,1	0,08	0,045
Производительность за 10 часов при норме полива 30 *мм* (при коэффициенте использования времени 0,8)	*га*	10,0	8,0	3,0

Кроме двухконсольного агрегата с расходом воды 100 *л/сек*, сконструированы (ВНИИГиМ) консольные агрегаты с расходами воды 80 и 50 *л/сек* (ДДА-80, ДДА-50). Дождевальный агрегат работает на тракторе ДТ-54 и дает расход воды 80 *л/сек*; в нем при-

[1] В настоящее время ДДА-100 модернизирован и называется ДДА-100М. Он работает на тракторе ДТ-54А, скорость движения вперед 425 *м/час*.

менена новая конструкция плавающего всасывающего клапана с постоянной глубиной погружения, облегчающая забор воды из временных оросителей.

Энгельсской опытно-мелиоративной станцией в настоящее время сконструирован электрифицированный двухконсольный агрегат ЭДДА-30 с расходом воды 30 *л/сек*, смонтированный на самоходном электродвигателе мощностью 13 *квт*. Общая длина двух консолей 80 *м*. Напор в насосе 1,7 *атм*. Площадь покрытия дождем составляет около 1300 $м^2$; скорость движения агрегата вдоль канала может изменяться от 0,046 до 0,358 *км/час*, в соответствии с чем слой подачи воды за один проход изменяется от 29,4 до 3,8 *мм* при действительной интенсивности дождя 1,4—1,5 *мм/мин* и средней (отнесенной ко всей площади движения агрегата) 0,045 *мм/мин*[1].

Главнейшие показатели работы двухконсольных агрегатов даны в таблице 23.

Расчет систем дождевания

Интенсивность дождя при дождевании, как сказано выше, должна соответствовать проницаемости орошаемой почвы и характеру растений.

Если интенсивность дождя не соответствует проницаемости почвы, то будет разрушаться ее структура, вода будет стекать и образовывать застои в низинках рельефа. Дождь большой интенсивности может повредить нежные вегетативные органы растений, вызывать полегание зерновых; подача такого дождя связана с увеличением размеров и стоимости труб. Для уменьшения интенсивности дождя, при данных расходе и напоре воды дождевального агрегата, необходимо увеличение его площади захвата. Это может достигаться следующими путями: а) увеличением числа насадок при помощи устройства открылков на дождевальном крыле короткоструйного агрегата; б) вращением по кругу выбрасывающего и распыляющего воду сопла в дальнеструйных системах; в) работой агрегата в движении, а не стационарно, что применяется в консольных и мостовых агрегатах. В системах, указанных в пунктах «б» и «в», дождь падает на один и тот же участок орошаемой поверхности не непрерывно, а через определенные небольшие промежутки времени (в зависимости от скорости вращения или движения агрегата). В течение каждого промежутка времени почва успевает поглощать выпавшую перед тем воду; таким образом, при высокой действительной интенсивности дождя достигается небольшая средняя интенсивность, отвечающая способности данной почвы поглощать воду. Средняя интенсивность дождя у этих систем составляет 0,1—0,2 *мм/мин*, в зависимости от указанных условий. Очень малая интенсивность дождя увеличивает продолжительность полива и потери воды испарением.

Поливная норма при дождевании колеблется от 15 до 40 *мм* и чаще равна 25—30 *мм*, однако дождеванием можно давать и освежительные поливы малой нормой, в 2—3 *мм*. При дождевании происходят потери на испарение воды при полете ее в воздухе, составляющие от 10 до 20%. Испаряющаяся вода повышает влажность в приземном слое воздуха и уменьшает испарение растений. Режим орошения при дождевании устанавливается на основании изложенных уже принципов с учетом, однако, особенностей физиологического действия дождевания и малых поливных норм, применяемых при нем. При установлении этого режима желательно так подобрать сроки полива культур, чтобы нагрузка насосной станции была возможно более равномерной, близкой к постоянной, для чего нужно, чтобы поливы различных культур не совпадали по времени; это дает большую производительность единицы расхода воды.

Ординаты графика режима орошения должны иметь в течение всего или возможно более длительной части оросительного периода одну и ту же величину. Если одновременно поливается только одна культура, продолжительность дождевания ее t должна быть пропорциональной процентному составу этой культуры α при данной поливной норме m.

---

[1] С описанием различных типов дождевальных машин можно ознакомиться в книге А. М. Посиелова. Дождевание. Сельхозгиз, 1952, а также в работе В. В. Беляева и Б. М. Лебедева. Дождевальные машины. Машгиз, 1957.

Производительность, или площадь обслуживания, одного дождевального агрегата за весь оросительный сезон равна:

$$\omega = 86{,}4\frac{\beta Qt}{\alpha m}\ га,$$

где Q — расход насоса; $Q = nQ_0$;

n — число одновременно работающих аппаратов (дождевальных крыльев или дальнеструйных насадок);

Q_0 — расход воды одним аппаратом;

β — коэффициент полезного использования времени, т. е. отношение числа часов работы агрегата в сутки к 24 часам;

t — длина поливного периода данной (расчетной) культуры, составляющей $\alpha\%$ на всей севооборотной площади;

m — поливная норма этой культуры.

Затраты энергии на производство полива дождеванием определяются следующим путем. Если полный напор агрегата равен H *м*, к. п. д. насоса η, то затраты энергии на 1 *мм* дождя составляют:

$$\frac{H}{36{,}7\eta}\ квт\cdot ч \text{ на } 1\ га,$$

где $H = h + h_f + h_0$, т. е. сумме потерь напора на распыление воды h, на трение в трубах h_f и геодезической высоты подъема h_0.

Это выражение получается таким образом:

$$\frac{H}{36{,}7\eta} = \frac{\gamma QHt\,0{,}736}{75\eta\omega m}, \text{ причем } Q = \frac{10^4\omega}{1000}\cdot\frac{pn}{60} = \frac{\omega pn}{6}\ м^3/сек \text{ и } t = \frac{m}{pn60} \text{ часов},$$

где m — поливная норма, в *мм*; Q — расход агрегата, в $м^3/сек$; ω — площадь, поливаемая агрегатом, в *га*; pn — средняя интенсивность дождя, в *мм/мин*.

Из полученного выражения видно, что затрата энергии на полив 1 *га* у короткоструйных систем, имеющих небольшой напор H, меньше, чем у дальнеструйных, при той же норме дождевания.

Требуемая удельная мощность указанных выше типов дождевальных машин, приходящаяся на единицу даваемого ими расхода воды, составляет следующие величины: низконапорные короткоструйные установки (КДУ и др.) 0,14÷0,24; двухконсольные машины, работающие в движении и позиционно, 0,40÷0,70 и дальнеструйные — 1,2÷2,3 *л. с.* на 1 *л/сек* расхода воды.

Рассмотрим теперь методы расчета основных систем дождевания.

Расчет короткоструйных систем. Если площадь орошения агрегата в одной позиции равна bl, интенсивность дождя p *мм/мин*, то расход воды одним дождевальным агрегатом или крылом должен быть равен:

$$Q_0 = bl\frac{p}{60}\ л/сек.$$

Ширина полосы увлажнения b зависит от радиуса разбрызгивания воды R, будучи равна $b \approx 1{,}8R$. Величина R у дефлекторных насадок возрастает с увеличением диаметра отверстия их d и напора воды h, однако нарастание R с увеличением h у дефлекторных насадок постепенно замедляется, приближаясь к некоторому постоянному $\left(R \approx 2{,}4\sqrt{d}\ м, \text{ где } d \text{ в } мм\right)$. Поэтому наилучший напор воды у дефлекторных насадок будет около $h = 10$—15 *м* и не более 20 *м*. Капли дождя и интенсивность тем меньше, чем меньше d.

Расстояние между крыльями должно быть равно (при расстановке насадок по треугольнику):

$$0{,}9\left(R + \sqrt{R^2 - \frac{a^2}{3{,}2}}\right),$$

где R — полный радиус разбрызгивания насадки, используемый на 90%;

a — расстояние между насадками на крыле.

Распределение дождя по длине R при дефлекторных насадках, по данным инж. С. В. Кардашина, следующее (приведены величины осадков, выраженные в частях среднего слоя, на разной длине R в процентах от полной длины):

R%	100—98	98—80	80—75	75—66	66—24	24—0
Слой дождя	0—0,25	0,25—0,50	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—1,0

При поливной норме m *мм* продолжительность работы крыла в одной позиции должна быть равна $\frac{m}{p}$ минут. Если одновременно работает n дождевальных крыльев, то агрегат с расходом воды $Q = nQ_0$ за сутки польет площадь:

$$\frac{8{,}64\beta Q}{m} \text{ га}.$$

Потери напора в трубопроводе определяются по формуле:

$$h_f = \xi \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{l}{d},$$

где l — длина, а d — диаметр трубы;
v — скорость воды в трубе;

коэффициент $\xi = 0{,}020 + \frac{0{,}0018}{\sqrt{va}}$.

Опыты показывают, что фактические потери напора воды в сварных и цельнотянутых трубах диаметром $d \geqslant 5$ *см* меньше вычисленных по приведенной формуле на 15—30%, в зависимости от диаметра труб (чем больше d, тем больше уменьшение).

Потери напора воды в гибких рукавах могут быть определены по формуле:

$$h_f = k \frac{v^2}{d} l,$$

где коэффициент $k = 0{,}0009 - 0{,}0020$, в зависимости от степени гладкости рукава — резиновый или грубый брезентовый; v, d, l и h выражены в метрах.

Потери напора в дождевальной трубе, имеющей n насадок, на длине l могут быть определены по формуле:

$$h_f = \xi \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{l}{d} \mu,$$

где коэффициент $\mu < 1$ и равен $\mu \approx \frac{1}{3} + \frac{1}{2n} + \frac{1}{6n^2}$.

Если общий расход воды в дождевальной трубе равен Q, то средний расход одной насадки равен:

$$q = \frac{Q}{n}.$$

Расходы насадок в какой-либо точке трубы q и на дальнем конце трубы q_0 относятся как квадратные корни из давлений в тех же точках, т. е.:

$$\frac{q}{q_0} = \sqrt{\frac{p}{p_0}}.$$

Потребный напор в короткоструйных дождевальных насадках составляет от 0,5 до 2,0 *атм*.

Расход воды в трубопроводе равен $Q = \frac{\pi d^2}{4} v$ и скорость $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$, поэтому потери напора в трубах при уменьшении диаметра труб увеличиваются пропорционально пятой степени его, а вместе с этим возрастает и потребная мощность двигателя, которая равна:

$$L = \frac{(h_f + h + h_0) Q\gamma}{75\eta},$$

где h_0 — геодезическая высота подъема воды;
h_f — потери напора в трубах;
h — напор в насадках.

С уменьшением диаметра труб растут и эксплуатационные расходы и стоимость двигателя. Но сильно увеличивать диаметр труб нельзя по двум причинам: 1) удорожается капитальная стоимость и отчисления на амортизацию их и 2) возрастает трудность перестановки труб. По этим соображениям даже при легких тонкостенных трубах диаметр их не делается больше 15 *см*.

Надо выбрать такой диаметр труб, чтобы эксплуатационные расходы, ему соответствующие, были наименьшие[1]. По этим же соображениям в дождевальных установках принимаются скорости воды в трубах в пределах 1—1,5 и не более 2 *м/сек*.

Расчет дальнеструйных систем. Если средняя интенсивность дождя (сообразно почвенным условиям) должна составлять p *мм* в минуту, то расход подачи воды дождевателем должен быть равен:

$$Q_0 = \pi R^2 \frac{pn}{60\mu} \text{ л/сек},$$

где R — дальность полета струи, или радиус действия дождевателя;

n — число оборотов его в 1 минуту; $n \leqslant 1$;

коэффициент $\mu = 1{,}57$ — при расположении аппаратов по квадратам, и $\mu = 1{,}20$ — при расположении аппаратов по треугольникам.

Дальность полета струи R теоретически равна:

$$R = 2 \sin 2\alpha \frac{v^2}{2g} = 2 \sin 2\alpha \, C^2 h,$$

где α — угол наклона сопла к горизонту;

v — начальная скорость струи, выходящей из сопла, равная $v = C\sqrt{2gh}$, где $C = 0{,}96—0{,}98$;

h — давление перед мундштуком + скоростной напор.

При $\alpha = 32{,}5°$ и $C = 0{,}98$ получим теоретическое значение $R = 1{,}74h$

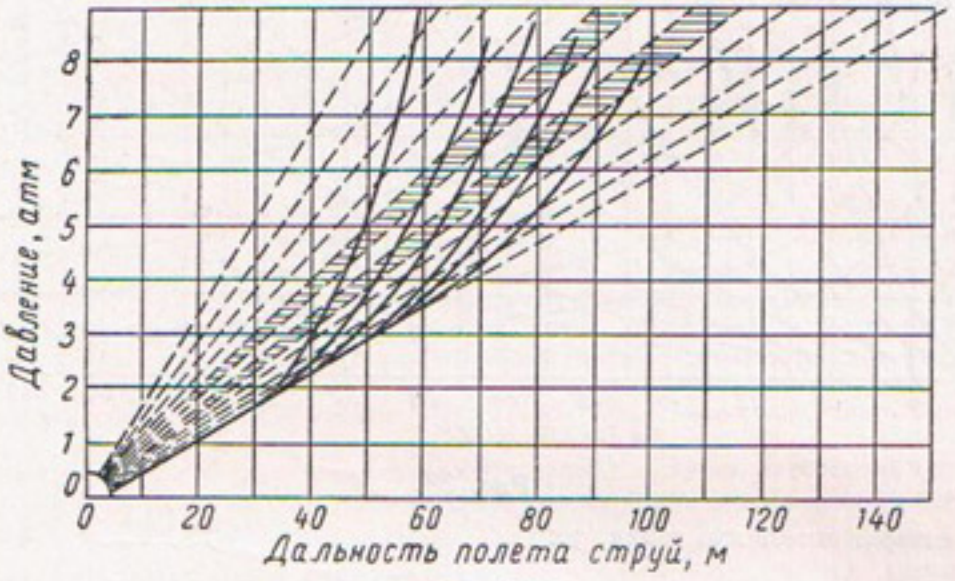


Рис. 87.

В действительности, вследствие сопротивления воздуха дальность полета струи меньше теоретической, и тем меньше, чем меньше диаметр отверстия сопла d. Зависимость дальности полета R от напора воды и диаметра отверстия сопла, по опытным данным, представлена на рисунке 87, где сплошные кривые линии показывают фактические величины дальности R (при $\alpha = 32{,}5°$) при разных диаметрах отверстия (от $d = 20$ *мм* — крайняя левая кривая до $d = 49$ *мм* — крайняя правая кривая). Наклонные пунктирные линии показывают различные соотношения между дальностью полета струи R и напором h; пунктирные наклонные линии со штриховкой между ними показывают соотношения $R : h$, дающие хорошее дробление струи на капли (при $d = 20—35$ *мм*); эти соотношения получаются в пределах 1 : 1—1,3 : 1. Первые допустимы для полей, последние — для трав и пастбищ.

Крайняя правая пунктирная наклонная линия показывает наибольшую (теоретическую) дальность полета струи, равную $R = 1{,}74h$, независимо от

[1] Чем больше диаметр труб, тем меньше эксплуатационные расходы по работе двигателя (меньше затраты энергии), но зато тем больше амортизация труб и расходы на их перестановку. *Прим. автора.*

диаметра отверстия. Для угла наклона сопла $\alpha=32{,}5°$ зависимость фактической дальности струи R от напора воды h *м* и от диаметра отверстия сопла d *м* следующая:

$$R=1{,}55h\left(1-\frac{0{,}95h}{4{,}9+h}\right)\sqrt{1000d}\ м.$$

Связь между расходом воды дождевального аппарата Q_0, диаметром отверстия сопла d *м* и напором воды h *м* определяется по уравнению:

$$Q_0=\frac{\pi d^2}{4}v=\frac{\pi d^2}{4}C\sqrt{2gh}=3{,}41d^2\sqrt{h}\ м^3/сек.$$

Это соотношение представлено на рисунке 88, где также показан тот низший напор, при котором начинается хорошее образование капель дождя.

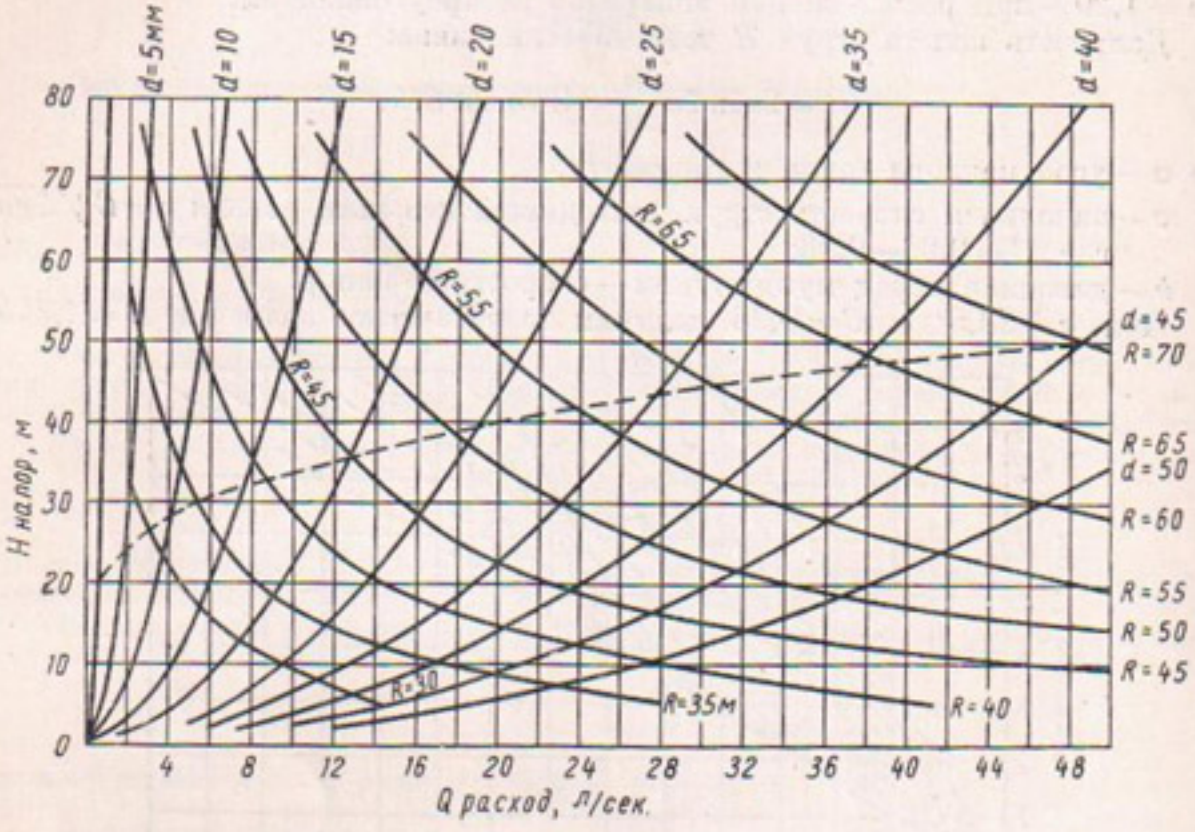


Рис. 88.

Если аппарат имеет два сопла, то:

$$Q_0=3{,}41\,(d^2+d_0^2)\sqrt{h}\ м^3/сек,$$

где d и d_0 — диаметры основного и дополнительного сопл.

Диаметр самой трубы сопла D должен быть таков, чтобы скорость воды в трубе была не больше 3 *м/сек*. Чтобы выходящая струя воды была сомкнутой (прозрачной) и не начинала распыляться ближе чем на 1 *м* от отверстия, нужно, чтобы длина сопла была $\geqslant 8D$. Число оборотов аппарата в минуту должно быть равно:

$$n=\mu\frac{60Q_0}{\pi R^2 p},$$

где коэффициент $\mu=1{,}20-1{,}57$.

Для дачи слоя дождя m *мм*, продолжительность работы дождевального аппарата в одной позиции должна быть равна $t=\frac{m}{pn}$ минут, где p есть средняя интенсивность дождя в *мм/мин*. Средняя интенсивность дождя p *мм/мин* равна расходу воды дождевальным аппаратом за 1 минуту, деленному на увлажняемую за это время площадь, т. е.:

$$p=\frac{60Q_0\mu}{\pi R^2 n}\ мм/мин.$$

Эта величина у дальнеструйных вращающихся аппаратов отличается от действительной интенсивности дождя. Действительная интенсивность дождя характеризует тот слой дождя, какой падает на фактически одновременно покрываемую дождем площадь; для дальнеструйных аппаратов эта площадь близка к вытянутому эллипсу длиной R

и средней шириной a *м* (рис. 89). Таким образом, действительная интенсивность дождя (на контуре покрытия дождем Ra) равна:

$$p_д = \frac{60Q_0}{Ra} \text{ мм/мин}.$$

Действительная интенсивность дождя на контуре Ra имеет в среднем величину 3—5 *мм/мин*, причем по длине R она не постоянна, а изменяется, и наибольшее значение имеет на расстоянии около 75—85% R. Дождь такой интенсивности падает на одновременно увлажняемый контур Ra не непрерывно, а с перерывами по $\frac{60}{n}$ *сек*.

Таким образом, действительная и общая средняя интенсивность дождя относятся между собой, как:

$$p_д : p = \frac{\pi R^2}{\mu} n : Ra = \frac{\pi}{\mu} n \frac{R}{a}.$$

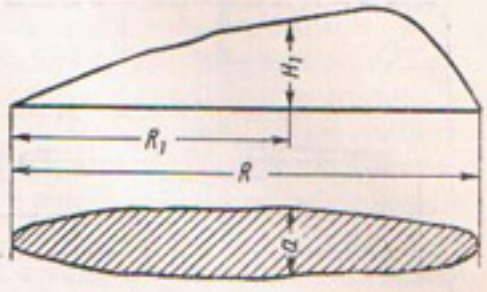


Рис. 89.

Подставляя в формулу для p приведенное значение Q_0, получим следующее значение общей средней интенсивности дождя:

$$p = \frac{2 \cdot 10^5 \mu d^2 \sqrt{h}}{n\pi R^2} = \frac{30\mu d}{n\alpha h^{1,5}} \text{ мм/мин},$$

где $\alpha = \left(1 - \frac{0{,}95h}{4{,}9 + h}\right)^2$.

Таким образом, p уменьшается с уменьшением диаметра отверстия сопла (d), с увеличением напора ($h^{1,5}$) и числа оборотов сопла (n).

Средняя интенсивность дождя p *мм/мин* должна быть не больше проницаемости данной почвы в минуту, т. е. $p \leqslant 60k'$.

Так как k' во времени уменьшается, то желательно по мере продолжительности полива уменьшать и интенсивность дождя. Действительная интенсивность дождя $p_д$ *мм/мин* должна быть такова, чтобы она не разрушала структуру почвы и не повреждала растений. Поэтому на участках с разными почвами интенсивность дождевания должна быть различной.

Производительность насоса агрегата равна Q; число одновременно работающих аппаратов в агрегате $N = Q : Q_0$, где Q_0—расход одного аппарата. Чем больше N и меньше Q_0, тем меньше требуемый напор воды в аппарате, но больше длина, меньше диаметр труб и, следовательно, больше потери напора в трубах h_f. Если площадь, обслуживаемая за оросительный период одним агрегатом, равна ω, а площадь орошаемого севооборота в данном колхозе составляет Ω *га*, то общее число работающих агрегатов в колхозе должно быть равно $\Omega : \omega$ и агрегаты должны быть распределены между рабочими бригадами колхоза с таким расчетом, чтобы не было недогрузки или перегрузки в их работе.

В соответствии с числом работающих аппаратов и схемой расстановки труб и аппаратов определяются расходы воды, диаметры и длины труб, потери напора в них и необходимая мощность двигателя.

Если дождевальные агрегаты берут воду из открытых каналов оросительной системы, то расходы воды каждого канала определяются сообразно сумме расходов одновременно работающих на нем агрегатов. Так как отдельные агрегаты имеют перерывы в своей работе, то во избежание сбросов воды при этих перерывах необходимо так запроектировать совместную работу агрегатов, чтобы перерывы в работе отдельных агрегатов не совпадали. В некоторых случаях не забираемую во время перерывов воду можно использовать на самотечные поливы, если таковые применяются на части площади.

Для забора воды из канала всасывающей трубой агрегата на канале устраиваются водозаборные приемники глубиной до 1 *м*, располагаемые на расстояниях 200—250 *м*, в зависимости от схемы расстановки труб.

Расчет мостовых систем. Расход воды мостового или консольного агрегата, работающего в движении, может быть определен следующим образом (рис. 90):

$$Q = \frac{p_д}{60} bl = hlv \text{ л/сек},$$

где $p_д$ — действительная интенсивность дождя, в *мм/мин*;

l — длина и b — ширина полосы увлажнения; для консольного агрегата $l = 120$ *м* и $b = 16$ *м*;

v — средняя скорость движения агрегата вдоль канала; для консольного агрегата $v = 0{,}27$—$0{,}30$ *м/сек*.

Площадь, поливаемая агрегатом в единицу времени, равна lv. Площадь bl есть площадь одновременного покрытия дождем. Слой дождя, даваемый агрегатом на орошаемую площадь за 1 проход (в одном направлении), обозначим буквой h. Если длина этого прохода агрегата равна S, то время прохода составляет $\frac{S}{v}$ *сек*; количество вылитой за один проход воды на площадь Sl равно $Q\frac{S}{v}$ *л* и слой воды за один проход равен $h=\frac{QS}{vSl}=\frac{Q}{lv}$. Подставляя в это выражение значение Q, по предыдущему получим:

$$h=\frac{p_д b}{60v},$$

где h — выражено в *мм*, $p_д$ — в *мм/мин*, b — в *м* и v — в *м/сек*.

Отсюда $\frac{p_д b}{60}=hv$; поэтому для расхода агрегата может служить и такое выражение инж. М. С. Яншина:

$$Q=l\sqrt{\frac{p_д bhv}{60}}\ л/сек.$$

Если агрегат работает в движении и движется вдоль оросителя на длине участка S взад и вперед, то увлажняемая им площадь равна Sl. Время прохода этой площади в один конец будет равно $\frac{S}{60v}$ мин.

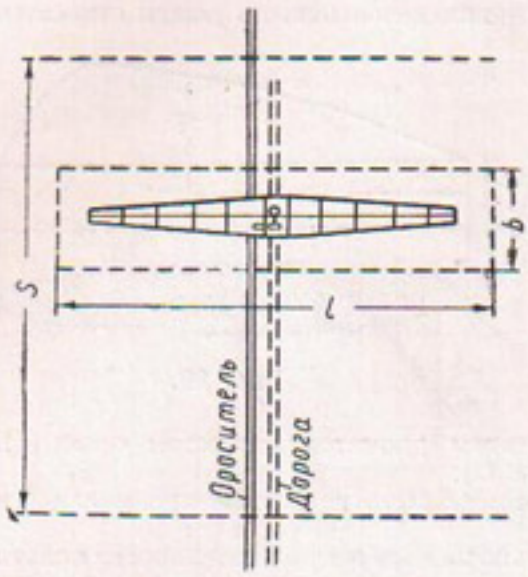


Рис. 90.

Средняя интенсивность дождя в этом случае будет равна:

$$p=\frac{60Q}{Sl}=\frac{b}{S}p_д\ мм/мин,$$

так как $Q=\frac{p_д bl}{60}$; поэтому чем больше длина прохода агрегата S, тем меньше средняя интенсивность дождя, сравнительно с действительной. Дождь распределяется неравномерно: по краям участка S падает слой воды $2h$ *мм* — через время $\frac{2S}{60v}$ *мин*, а посредине его падает слой h *мм* — через время $\frac{S}{60v}$ *мин*. Длину S нельзя делать очень большой, так как тогда процент потерь воды испарением за время прохода достигает большой величины; длина S обычно колеблется от 150 до 400—500 *м*.

Оросительная сеть при дождевании

Как сказано выше, оросительная сеть для подачи воды в дождевальные агрегаты и машины может быть открытой, закрытой или комбинированной — открытой и закрытой, состоящей из трубопроводов.

В случае устройства комбинированной сети крупные каналы делаются в виде открытых редких распределительных каналов, не стесняющих механизации сельскохозяйственных работ. Эти каналы образуют на орошаемой площади крупные поливные участки, внутри которых все оросительные каналы заменяются закрытыми трубопроводами, переносными разборными или подземными стационарными. Из оросительных каналов вода подается непосредственно в дождевальные агрегаты или машины при помощи передвижного насоса и двигателя, установленного на постоянном канале. Трубопроводы здесь заменяют открытые оросители. Такое устройство сети применяется при дальнеструйных системах, при КДУ-47, ДМ-40, при среднеструйных установках и др. При двухконсольных агрегатах, при дальнеструйных беструбных агрегатах крупные распределительные каналы делаются постоянными, а оросительные каналы внутри крупных поливных

участков, подающие воду к дождевальным агрегатам,— в виде временных оросителей. Расстояние между временными оросителями принимается равным двойному или однократному захвату дождевальной машины или агрегата в зависимости от конструкции.

Открытые каналы для орошения дождеванием делаются в выемке и должны иметь запас глубины (25—30 *см*) для аккумуляции воды на случай перебоев в работе машин. Временные оросители проектируются прямолинейными и параллельными друг другу с уклоном около 0,0005 с соблюдением нужного захвата машин. Нужная глубина воды для нормальной работы всасывающего клапана передвижной дождевальной машины создается щитами, подпирающими горизонт воды, или устраиваются временные приямки, разделяющие канал на отдельные бьефы по длине канала (протяжением до 300 *м*). Расход воды в оросителях определяется в соответствии с числом и производительностью дождевальных машин по плану подачи воды. При работе дождевальных машин с длинными боковыми подвесными крыльями (двухконсольные агрегаты, ДМ-40, КДУ-47 и др.) нужно такое расположение оросителей в плане по отношению к рельефу орошаемой площади, которое позволяло бы размещать агрегаты без перекоса концов крыльев, т. е. длинной стороной агрегата по направлению горизонталей орошаемой площади.

Капитальная стоимость орошения дождеванием на 1 *га*, не считая стоимости устройства крупных подводящих воду каналов, зависит от системы дождевания (передвижные дешевле стационарных), мощности агрегатов и размеров максимальной обслуживаемой ими площади за сезон[1].

Сравнивая стоимость дождевания со стоимостью обычного орошения, надо учитывать, что при дождевании: 1) уменьшается планировка площадей, которая значительно удорожает стоимость обычного орошения; 2) в ряде систем можно избежать устройства открытой оросительной сети, заменив ее трубопроводами; 3) открытые каналы могут быть сделаны в выемке без соблюдения условий командования; 4) расходуются меньшие количества воды, поэтому пропускная способность и размеры каналов могут быть меньше. Количество металла, приходящееся на 1 *га* орошаемой площади при дождевании, составляет от 40 до 110 *кг*.

Потребная установленная мощность на 1 *га* орошаемой дождеванием площади колеблется от 0,20 до 0,45 *квт*. Потребление энергии для дачи одного дождя слоем 30 *мм* составляет от 40 до 100 *квт·ч* на 1 *га* орошаемой площади. Общая сумма эксплуатационных расходов слагается (при тепловой энергии) приближенно следующим образом: энергия 37—45%, рабочая сила 17—20, текущий ремонт 5—8, амортизация 12—15, производственные начисления 20—25%; причем, в зависимости от местных условий, цифры могут отклоняться в ту или другую сторону.

Электрификация районов орошения в связи с осуществлением комплексных проблем орошения и гидроэнергетики открывает новые перспективы развития дождевания на базе электроэнергии и ставит задачи разработки новых систем электродождевания и электродождевальных агрегатов.

ПОДПОЧВЕННОЕ ОРОШЕНИЕ

Третьим способом орошения является подпочвенное, когда почва увлажняется подачей воды не с поверхности, а снизу, из заложенных в почве (ниже пахотного слоя) водопроницаемых труб или специально устроенных подземных земляных (так называемых кротовых) ходов. Увлажнительные подземные трубы для поступления из них воды в почву делаются или пористыми по своей поверхности, или имеют отверстия (стыки) через определенные промежутки (30 *см*) по своей длине. Подземные земляные ходы нарезаются в почве специальными «кротовыми» машинами. Увлажнительные трубы и искусственные «кротовины» закладываются на глубине 40—45 *см* от поверхности почвы и на определенных расстояниях друг от друга (в зависимости от системы орошения и свойств почвы). Вода в увлажняющие почву трубы или «кротовины» подается из открытых оросительных каналов или из закрытых распределительных более крупных трубопроводов различными

[1] Последние материалы по дождеванию изложены в «Каталоге дождевальных машин, установок и насосных станций». Изд. Гипроводхоза, 1959 г. и в «Технических условиях и нормах корректирования механизированных оросительных систем», разработанных ВНИИГиМ.

способами: а) под более или менее значительным гидравлическим напором; б) при малом напоре воды; в) при отсутствии напора и даже при наличии вакуума. В зависимости от этого различаются системы: напорного, низкого или безнапорного и вакуумного подпочвенного орошения.

Вода при подпочвенном орошении подается в увлажнительные трубы во время поливов. Поэтому системы подпочвенного орошения являются системами периодического действия. Однако в вакуумных системах возможно и постоянное соединение их с источником воды и осуществление таким образом принципа «непрерывного» действия. Нижние концы увлажнительных труб в низконапорных и безнапорных системах могут быть открытыми, и тогда в трубах устанавливается режим свободного б е з н а п о р н о г о течения воды (с уменьшающимся расходом воды по длине по мере поглощения воды) или же нижние концы труб делаются закрытыми и в увлажнительных трубах создаются условия п о д п о р н о г о режима работы.

Поступление воды из увлажнительных труб в почву и увлажнение ее происходит за счет: а) гидростатического напора (или вакуума) воды в трубах и б) всасывающей силы почвы. Чем больше гидростатический напор воды в трубах и чем больше всасывающая сила почвы, тем быстрее и дальше распространяется вода в почве от оси заложения труб (или кротовин). Подпочвенное орошение наиболее целесообразно на почвах с хорошо выраженной капиллярностью и при достаточно непроницаемой подпочве. Оно неприменимо на крупнозернистых, а также на засоленных почвах.

Достоинства подпочвенного орошения следующие: 1) сохранение структуры верхних слоев почвы, отсутствие образования корки; 2) отсутствие постоянной оросительной сети на поверхности, вследствие этого возможность перекрестной механизированной обработки при квадратных посевах; 3)уменьшение планировки орошаемой поверхности; 4) снижение затрат рабочей силы на полив; 5) уменьшение развития сорняков и вредителей; 6) более прочное сохранение запаса влаги в почве.

Недостатки подпочвенного орошения: 1) слабое увлажнение верхнего слоя почвы для всходов, что ограничивает его применение в районах с недостаточной весенней влажностью; 2) влияние этого способа на подъем солей кверху на засоленных землях, так как оросительная вода поступает снизу; 3) возможность зарления подземных труб; 4) фильтрационные потери воды в нижние слои; 5) высокая стоимость этого орошения, что допускает его применение только при соответствующих условиях.

Всасывающая способность почвы, на использовании которой главным образом базируется подпочвенное орошение, зависит от ее капиллярных свойств, крупности частиц и степени уплотнения: чем больше капиллярность почвы, тем больше ее всасывающая способность при прочих одинаковых условиях. Однако, кроме этих факторов, всасывающая способность почвы в каждый момент времени очень сильно зависит от сухости этой почвы. Чем суше почва, тем больше, при прочих одинаковых условиях, ее всасывающая способность и обратно. При насыщении почвы до полной влагоемкости всасывающая способность почвы равна нулю; наоборот, в воздушносухом состоянии почва обладает максимальной всасывающей способностью.

Всасывающая способность почвы в зависимости от ее влажности изменяется по некоторой кривой (рис. 91). В пределах от капиллярной влагоемкости до полного насыщения всасывающая способность почвы с увеличением влажности уменьшается слабее, чем на промежутке между двойной гигроскопичностью и капиллярной влагоемкостью данной почвы.

Всасывающую способность почвы можно измерять[1] прибором В. Г. Корнева (рис.92). Благодаря всасыванию воды почвой через пористые стенки фильтровальной свечи *1* в сосуде *2* создается разрежение давления и тем больше, чем больше всасывание. Поэтому всасы-

[1] Сосущая сила почв может быть измерена и другими, предложенными позже, способами: капилляриметрами (Секера, С. И. Долгов), центрифугированием (Скофильд, С. И. Долгов), адсорбционным и др. — см. С. И. Д о л г о в. Исследование подвижности почвенной влаги, изд. АН СССР, 1948, а также А. А. Р о д е. Почвенная влага, изд. АН СССР, 1952.

вающую способность можно измерять по разрежению давления манометром 3 и выражать в миллиметрах ртутного столба. Вследствие разрежения давления в сосуде 2 вода может подниматься из сосуда 5 по трубке 4 на определенную высоту, соответствующую всасывающей способности почвы.

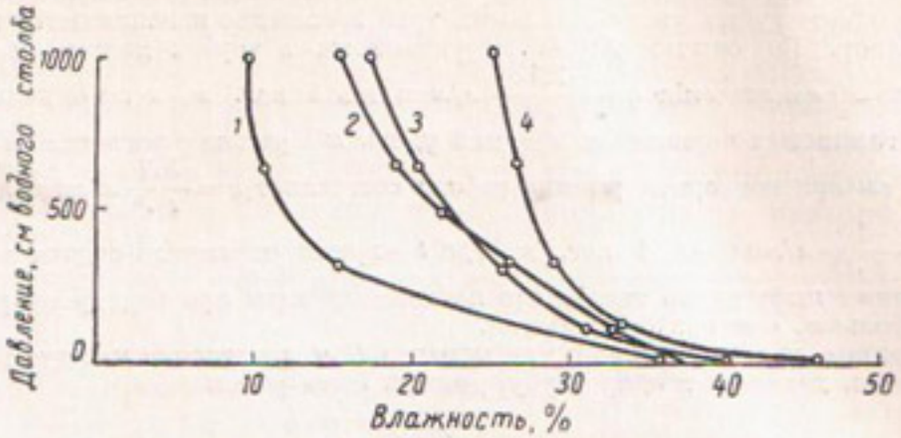


Рис. 91. Изменение влажности почв в зависимости от давления отсасывания (по данным С. И. Долгова):

1 — пылеватый суглинок; *2* — лесс; *3* — серозем; *4* — серозем лиманский.

В зависимости от механического состава и физических свойств почвы величина всасывающей способности почвы в сухом состоянии составляет от 40—50 *см рт. ст.* для тяжелых почв и до 15—20 *см* для легких почв; при содержании воды в 55% полной влагоемкости почвы 4—5 *см* — для тяжелых почв и 1—2 *см* — для легких.

Если влажность почвы увеличивается, то всасывающая способность ее уменьшается, разрежение в приборе становится больше всасывающей способности, и вода начинает поступать в прибор, пока давление в нем, регистрируемое манометром, не упадет до величины, отвечающей всасывающей способности почвы. Обратно, если влажность почвы уменьшается, всасывающая способность ее увеличивается, разрежение в приборе будет меньше всасывающей способности, и вода начинает поступать из прибора в почву до наступления равновесия.

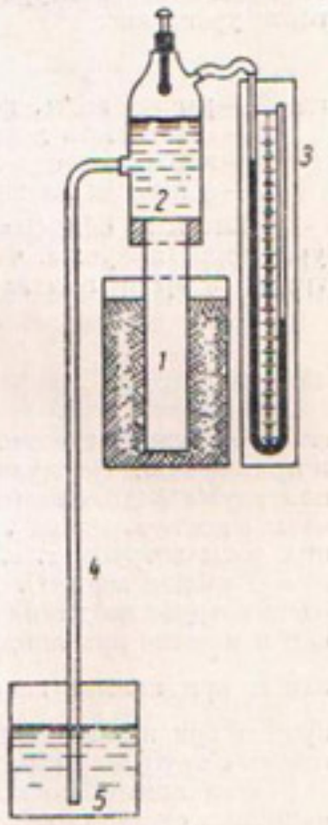


Рис. 92.

Чем суше почва, тем больше ее всасывающая способность и быстрее поглощение ею воды из труб. Поэтому существует (при прочих равных условиях) связь между скоростью поглощения воды из оросительных труб или «кротовых» ходов и температурой почвы и воздуха. Так, в исследованиях В. Р. Ридигера по подземному орошению в Средней Азии было установлено, что средняя скорость поглощения воды с поверхности оросительных «кротовин» в условиях Голодной степи определяется такой эмпирической зависимостью: $v=16{,}5+T^{\circ}$ *см/сутки*, где T° — среднесуточная температура воздуха предшествующего межполивного периода в градусах Цельсия.

Количество воды, поступающее в почву из пористых увлажнительных труб через действующую поверхность их на единицу длины в единицу времени, может быть выражено следующим образом:

$$q=\beta\pi d\, kh^n,$$

где d — диаметр трубы оросителя;

$\beta\pi d$ — действующая, отдающая влагу поверхность трубы на единицу длины, где $\beta \leqslant 1{,}0$;

k — коэффициент водопроницаемости пористой трубы;

h — гидростатический напор воды в трубе;

n — показатель степени, равный (по опытам А. А. Богушевского) от 0,70 до 0,90 при напорах воды в трубе от 5 до 30 *см*.

По мере насыщения почвы водой и уменьшения всасывающей силы почвы скорость поглощения воды почвой из труб во времени уменьшается, следуя в основном зависимости $v_t=\frac{k_1}{t^a}$. Среднее за время t поглощение воды из увлажнительных труб на единицу длины их в единицу времени может быть выражено так:

$$q=\beta\pi d\, kh^n=\beta\pi d=\frac{k_0}{t^a},$$

где h — средний напор воды в трубе в период t.

Отсюда видно, что водопроницаемость пористой трубы k связана со средней скоростью впитывания почвы $\frac{k_0}{t^a}$ и напором h.

Количество поглощаемой в почву воды во времени постепенно уменьшается, и в нижнем конце тупых увлажнительных труб постепенно накапливается вода и увеличивается напор. По опытам А. А. Богушевского, в трубах диаметром $d=6$ *см* при напоре около 20 *см* значение $q=\frac{3{,}12}{t^{0{,}385}}$ *л/мин* на 1 пог. *м*, а по опытам В. И. Бобченко на суглинистых черноземах, средний удельный расход q поглощения воды из кротовин $d=7$ *см* при подпорном режиме работы составляет $q=\frac{5{,}7}{t^{0{,}5}}$ *л/мин*, а при беспод-порном $q=\frac{1}{t^{0{,}33}}$ *л/мин* на 1 пог. *м*, где t — время от начала подачи воды в трубу. Из приведенных цифр видно также, что поглощение воды при подпорном режиме почти в пять раз больше, чем при безнапорном.

Если длина увлажнительной трубы равна L *м*, расстояние между трубами — b *м*, то расход воды, даваемой в одну трубу, должен быть равен:

$$Q=qL=\frac{mbL}{86{,}4\cdot t}\ л/сек,$$

он равен 0,3—0,8 *л/сек*; время подачи воды в трубу (в сутках):

$$t=\frac{bLm}{86{,}4\cdot qL}=\frac{bm}{86{,}4\cdot q},$$

где m — требуемая поливная норма, выраженная в виде слоя воды, *м*;

q — расход воды в дрене, в *л/сек* на 1 пог. *м* ее длины.

Вода, поступающая из увлажнительной трубы в почву, увлажняет до потенциальной полевой влагоемкости определенный контур почвы вокруг трубы. Если среднюю площадь этого контура на длине трубы L *м* обозначим буквой F *м*^{2}, то можно написать такое уравнение:

$$86{,}4\cdot Qt=FLA(\beta_п-\beta_н),$$

где Q — расход воды, подаваемой в трубу, в *л/сек*, в течение времени t суток;

A — скважность данной почвы, в долях объема;

$\beta_п$ — потенциальная влагоемкость ее, в долях от A;

$\beta_н$ — наличная влажность почвы перед поливом, в долях от A.

Так как $86{,}4\ Qt=86{,}4qLt=mbL=\beta\pi dLk_0t^{1-a}=FLA\ (\beta_п-\beta_н)$, то из приведенных уравнений получим, что контур увлажнения почвы, создаваемый вокруг увлажнительной трубы за время полива t суток, будет равен:

$$F=\frac{\beta\pi dk_0t^{1-a}}{A(\beta_п-\beta_н)}=\frac{mb}{A\ (\beta_п-\beta_н)},$$

т. е. он увеличивается по мере возрастания количества даваемой в почву воды (m); в приведенных формулах размерности d — *м*, t — *сут.*, k_0 — *м/сут.* Длина увлажнительной трубы L должна быть такова, чтобы подаваемая в трубу вода могла в течение времени t достичь конца трубы. Она может быть тем больше, чем больше скорость движения воды в трубе, т. е. больше ее уклон (от 0,002 до 0,007) и чем больше поступающий в нее расход воды Q. По мере поглощения воды в почву расход и скорость течения воды в трубе по длине постепенно уменьшаются (наиболее значительно при первых поливах и меньше при повторных поливах). Поэтому время добегания воды до конца трубы t, как и при поливе по бороздам, пропорционально L^n, где L — длина трубы и $n=\frac{1}{a}$, причем при первых поливах $n=1{,}7—1{,}5$, а при повторных $n=1{,}2—1$. Длину увлажнительных труб принимают от 100 до 300 *м*.

Увлажнение почвы вверх и в стороны от оросительной трубы по величине ее в низконапорных системах не вполне равномерно: оно достигает наибольшей величины в верхней и нижней частях по длине трубы. Для более равномерного увлажнения почвы по поперечному сечению выше и ниже трубы и по длине трубы лучше, как показали опыты А. А. Богушевского, применение пористых труб с закрытыми нижними концами, т. е. создание подпорного режима работы. Увлажнительные трубы, отдающие воду в почву через стыки, более сильно увлажняют почву ниже трубы и неравномернее по длине ее. Полив по трубам с закрытыми нижними концами, т. е. с подпором и без сброса, дает большую экономию оросительной воды и позволяет лучше регулировать скорость течения воды в трубе и равномернее увлажнять почву по длине трубы.

При напорной системе подпочвенного орошения вода из непроницаемого главного напорного трубопровода поступает в серию питаемых из

него параллельных увлажнительных гончарных труб (пористых или с открытыми стыками), заложенных на глубине около 45 *см*. Главный трубопровод диаметром 10—12 *см* закладывается по уклону местности. Боковые увлажнительные трубы имеют диаметр $d=7{,}5$ *см*. Стыки остаются открытыми и засыпаются крупными опилками во избежание засорения песком. Уклоны труб от 0,004 до 0,0025. В голове и по длине боковых труб через каждые 30—120 *м* ставятся регулирующие стояки. Закрывая нижние отверстия, можно создавать нужный подпор воды по всей линии труб выше колодца. Таким образом, вода из увлажнительных труб через стыки поступает в почву и увлажняет ее. Если увлажнение почвы надо понизить, нижние отверстия регулирующих стояков открываются, вода свободно стекает по трубам и поступает в водосборную сеть.

Впуск оросительной воды в подземную сеть труб может производиться и из оросительных каналов, для чего в них подпирается горизонт воды до нужного уровня. Напорные системы позволяют применять подпочвенное орошение на более тяжелых почвах и увеличивать расстояния между увлажнительными трубами; при небольших расходах даваемой в трубы воды они обеспечивают более равномерные контуры увлажнения почвы вокруг труб, однако при увеличенных расходах даваемой воды и на легких почвах при этих системах могут происходить большие потери воды на фильтрацию в нижние слои.

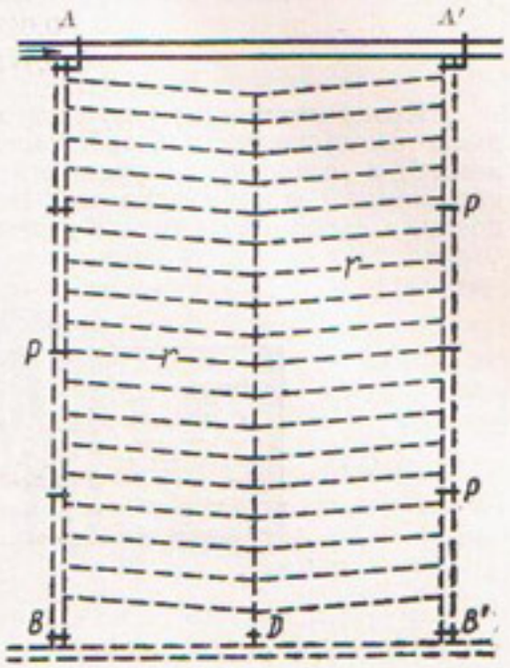


Рис. 93.

Система низконапорного периодического подпочвенного орошения осуществляется в таком виде. От канала AA' отходят подземные оросители AB (рис. 93), представляющие подземные трубопроводы, заложенные на глубине 40—50 *см* на расстояниях 200—400 *м*; от них через каждые 1—2 *м* по длине отходят в обе стороны боковые увлажнительные трубы r длиной 100—200 *м*, нижними концами своими сообщающиеся с дреной D, идущей посредине участка, параллельно оросителю, и выходящей в сброс BB'.

Оросители AB делаются в виде закрытых трубопроводов потому, что при подаче воды в увлажнительные трубы r из открытых каналов надо делать большое число оголовков при выходе этих труб, что удорожает и усложняет работу системы; кроме того, открытые оросители AB стесняют механизацию сельскохозяйственных работ. В голове каждого трубопровода AB на канале AA' должен стоять регулятор (задвижка) и подпорное сооружение для регулирования напора в оросительном трубопроводе во время его работы. Регуляторы-задвижки P должны стоять также по длине оросительных трубопроводов AB и на коллекторе D (для создания подпора в увлажнительных трубах r). Такое устройство подпочвенного орошения позволяет не делать открытой оросительной сети и дает возможность беспрепятственной механизации перекрестной обработки почвы при квадратно-гнездовых посевах.

В настоящее время разрабатывается также (В. Р. Ридигер и др.) система подпочвенного орошения, в которой увлажнительные трубы r делаются в виде «кротовых» ходов с периодической подачей воды; кротовины устраиваются на глубине около 40 *см* при расстояниях 0,7—1 *м* (в зависимости от свойств почвы) при помощи специальных «кротовых машин».

Для получения более устойчивых кротовин нарезку их следует делать осенью при влажности почвы, близкой к полевой влагоемкости данной почвы. Могут быть два режима работы «кротовых» увлажнителей: бесподпорный, при котором кротовина работает неполным ($^1/_3$—$^1/_2$) сечением, с подачей в нее головного расхода воды 0,15—0,30 *л/сек* при уклоне 0,015—0,030 и диаметре 6—7 *см*, и подпорный, при котором кротовина работает полным сечением при закрытом нижнем конце и подпоре порядка 30 *см*, с подачей в нее головного расхода воды около 0,80—0,90 *л/сек*. Вода в увлажнительные кротовины подается из временных оросителей по трубочкам, причем дно оросителей должно быть на 5—10 *см* ниже дна кротовин. Автоматизация распределения воды при подпочвенном орошении по кротовинам позволяет значительно повысить производительность труда поливальщиков. Сравнивая бесподпорный и подпорный способы полива по кротовинам, нужно отметить следующее. При бесподпорном способе достигается большая устойчивость сече-

ния кротовин, но зато вода почвой поглощается медленнее, продолжительность полива растягивается и больше увлажняется нижняя часть контура по сравнению с верхней. При подпорном способе влага почвой поглощается быстрее, лучше увлажняются верхние слои почвы и получается более равномерный контур увлажнения вокруг кротовины; кроме того, продолжительность полива для дачи одинаковой нормы может быть меньше по сравнению с бесподпорным способом. По этим соображениям В. И. Бобченко (ВНИИГиМ) на основании своих опытов подпочвенного «кротового» орошения на суглинистых черноземах Курской области считает более целесообразным подпорный способ орошения при длине кротовин до 100 *м*. Расход воды, даваемый в кротовину в голове, составляет в этих опытах 0,93 *л/сек*, а средний за время полива удельный расход поглощения воды 0,010—0,013 *л/сек* на 1 пог. *м* кротовины. При расстояниях между кротовинами 70 *см*, длине их 100 *м* поливная норма 600 *м*³/*га* соответствует подаче 42 *л* на 1 пог. *м* длины:

$$\frac{0{,}042}{0{,}7 \cdot 1} = 0{,}06 \ м = 600 \ м^3/га.$$

Кроме систем периодического подпочвенного орошения, имеются системы непрерывного подпочвенного абсорбционного орошения. Идея этих систем предложена В. Г. Корневым[1] и основана на принципе действия описанного выше прибора для измерения всасывающей способности почвы. Если в этом приборе (рис. 92) изменяется не влажность почвы, а степень разрежения давления, то при увеличении разрежения в приборе, т. е.

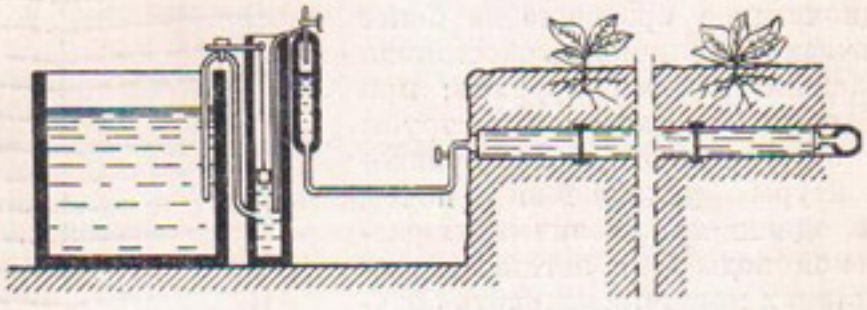


Рис. 94.

падении давления в нем, вода всасывается из почвы в прибор, при уменьшении же разрежения в приборе вода начнет поступать из прибора в почву. Однако отмеченные явления равновесия имеют место только при содержании влаги в почве не меньше 1,5—2 гигроскопичности, иначе почва не отдает влаги в прибор даже при разрежении до величины, отвечающей полной всасывающей силе данной почвы; точно так же прибавка влаги в почве вызовет отдачу воды в прибор только по достижении содержания влаги выше капиллярной скважности почвы.

Связь между влажностью почвы и всасывающей способностью неодинакова при поглощении и при отдаче воды почвой; одной и той же всасывающей способности (разрежению) соответствует при водоотдаче бо́льшая влажность, чем при поглощении воды, или, иначе, уменьшение влажности почвы (водоотдача) регулируется более высоким капиллярным давлением, чем увеличение влажности. Установив и поддерживая в приборе определенные пределы разрежения (вакуума), можно регулировать влажность почвы в нужных пределах.

Если установить и поддерживать в приборе определенный вакуум, отвечающий требуемой влажности почвы, то прибавка влаги в почву сверх этих размеров будет из почвы поступать в прибор и обратно — всякий дефицит влаги в почве до этих размеров будет восполняться из прибора, сообщенного с источником воды. Таким путем поддержанием определенной степени разрежения в приборе можно поддерживать в почве необходимую влажность.

На изложенных принципах и базируются способы непрерывного (вакуумного) подпочвенного орошения.

При вакуумной системе подпочвенного орошения (схематический рис. 94) в почву на глубине 40—50 *см* закладывают пористые трубы, стыки их закрывают непроницаемым материалом. Уложенные в траншею трубы заливают слоем пористой массы из алебастра и глины; эта масса хорошо пропускает воду в обоих направлениях. Расстояния между линиями труб 1,75—2 *м*. Нижние концы рядов труб соединяют с глухой трубой — коллектором, на котором помещается всасывающий сифон для откачивания из труб воздуха и поддержания в них нужной степени разрежения.

Верхние концы подземных труб соединяют с подводящим воду каналом, в котором поддерживается определенный горизонт воды, ниже уровня воды в пористых трубах, куда вода поступает благодаря разрежению внутри труб.

---

[1] В. Г. Корнев. Всасывающая сила почвы и принципы системы автоматического орошения почвы. Труды Государственного института сельскохозяйственных мелиораций, т. 1, 1925. *Прим. автора.*

Для включения в действие вся система труб заполняется водой, так как пористые трубы, пропуская воду, не пропускают воздуха; внутри труб по мере поглощения воды почвой создается разрежение давления, под влиянием которого вода из канала поступает в систему и пополняет убыль воды, впитывающейся в почву. Всасывание воды продолжается до тех пор, пока почва недостаточно увлажнена и всасывающая способность ее превышает величину разрежения в системе, соответствующую высоте подъема воды. Когда почва увлажнится настолько, что всасывающая сила ее станет равной степени разрежения, поступление воды в почву прекращается; когда же почва переувлажнится еще больше, то избыточная влага, не удерживаемая почвой, будет поглощаться пористыми трубами и система станет действовать как дренаж, отводя воду в канал. Устанавливая величину разрежения в трубах (высоту подъема воды), можно поддерживать в почве определенные, нужные для растений размеры влажности.

Недостатки системы непрерывного подпочвенного орошения следующие: 1) нужно постоянно поддерживать в ней вакуум и выкачивать воздух, накапливающийся в трубах; 2) сложность устройства и высокая стоимость системы на 1 *га*.

Во избежание зарления труб вода при подпочвенном орошении должна быть предварительно осветлена от наносов и диаметр труб должен быть не меньше 6—7 *см*.

Вода при подпочвенном орошении поступает в почву и постепенно увлажняет ее, распространяясь концентрическими поверхностями вокруг труб; при этом влажность почвы уменьшается по мере удаления от трубы. Одной из слабых сторон подпочвенного орошения является то, что часть воды, поступающей в почву, уходит ниже активного слоя. Чтобы уменьшить эти потери, количество воды, даваемое в трубы, должно быть равно потреблению воды на испарение почвы и транспирацию растений на полосе между трубами.

Подпочвенное орошение разработано еще недостаточно как теоретически, так и в конструктивном отношении. Здесь требуется исследовать многие вопросы; среди них нужно особо отметить проблему подпочвенного конденсационного орошения, в основе которого должно лежать всяческое усиление процессов в активных слоях почвы конденсации парообразной влаги, содержащейся в атмосферном и почвенном воздухе, и использование этих процессов для увлажнения почвы. В настоящее время намечаются пути практического решения этой проблемы.

Глава третья

ПРОВОДЯЩИЕ КАНАЛЫ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ — МАГИСТРАЛЬНЫЙ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ

Проводящая часть оросительной системы состоит из магистрального канала и совокупности распределительных каналов и имеет задачей доставлять к орошаемой площади забираемые из источника орошения нужные количества воды и в нужные сроки, распределять их на орошаемой площади между отдельными хозяйствами (совхозами и колхозами) и подавать воду в каждое хозяйство и на отдельные крупные поливные участки на основе планов водопользования (внутрихозяйственных и общесистемного).

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И РАСЧЕТА ПРОВОДЯЩИХ КАНАЛОВ

Проводящие каналы оросительной системы — магистральный канал, межхозяйственные и хозяйственные распределительные каналы — служат для необходимой связи между источником орошения и орошаемыми землями в хозяйствах и поддержания нужного планового режима работы всей системы.

Режим работы оросительной системы должен удовлетворять потребности в воде всех обслуживаемых ею орошаемых земель (в колхозах, совхозах, городах) в соответствии: 1) с необходимыми рациональными режимами орошения земель каждого хозяйства, 2) с режимом источника воды для орошения.

Удовлетворяя потребности в воде сельскохозяйственных культур для обеспечения высоких урожаев, режим орошения системы должен отвечать задачам неуклонного улучшения качества орошаемых земель (недопустимость подъема уровня грунтовых вод и засоления почв) и наиболее целесообразного и эффективного использования водных ресурсов источника орошения, питающего систему.

Если данная система не только оросительная, но и обводнительная, то режим работы ее определяется также задачами, условиями и характером обводнения. Поэтому вопросы проектирования и расчета проводящих каналов оросительной системы, предназначенных для орошения и обводнения земель, тесно связаны с вопросами организации хозяйств и территории на этих землях, с планами водопользования как в отдельных хозяйствах, так и во всей системе, с почвенными, топографическими, гидрологическими и гидрогеологическими условиями данного массива.

Основные звенья оросительной системы выполняют следующие функции.

Магистральный канал *3* (рис. 95) доставляет воду, забираемую из источника орошения *1* через головное сооружение *2*, в распределительные межхозяйственные каналы разного порядка *4*, *5*, из которых вода поступает в хозяйственные распределители, из последних — во временные оросители *6* и отсюда в выводные борозды и на полив.

Оросительная регулирующая сеть работает в течение оросительного периода прерывисто, короткими тактами и делается временной или подвижной, проводящие же каналы работают непрерывно или более или менее длительными тактами и делаются постоянными. Для правильной работы всей системы необходимо сочетать непрерывную или длительную работу проводящих каналов с прерывистой работой регулирующей оросительной сети, что достигается составлением внутрихозяйственного плана водопользования в каждом хозяйстве в сочетании с производственным планом данного хозяйства, агротехническими требованиями, организацией труда и в увязке с общесистемным планом водопользования. Работа межхозяйственных (проводящих) распределительных каналов должна отвечать требованиям работы

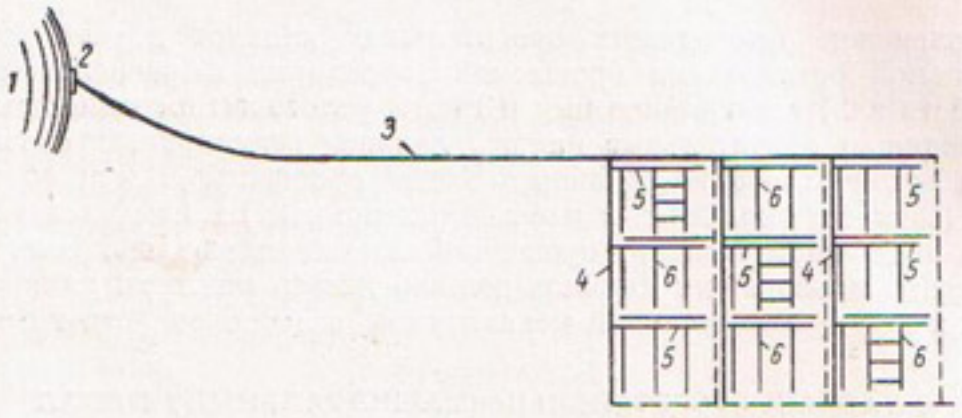


Рис. 95.

1 — источник орошения; *2* — головное сооружение; *3* — магистральный канал; *4* и *5* — распределительные каналы; *6* — временные оросители.

питаемых ими хозяйственных распределителей, подающих воду в хозяйства, что должно достигаться составлением общесистемного плана водопользования на основе внутрихозяйственных планов.

Вся валовая площадь земель в границах данной оросительной системы состоит из орошаемой площади брутто и неорошаемой площади, куда входят непригодные для орошения неудобные земли, озера, водотоки и др. Орошаемая площадь брутто равна площади, непосредственно занятой поливными посевами и насаждениями (орошаемая площадь нетто), плюс земли, занятые каналами, сооружениями, дорогами, постройками в границах орошаемой площади.

Вся орошаемая площадь в пределах системы должна быть освоена. Коэффициент полезного земельного использования (к.з.и.) орошаемой площади (т. е. отношение между орошаемой площадью нетто и брутто) должен быть возможно более высоким — не ниже 0,85—0,90. Очень важно также высокое значение отношения между орошаемой и всей валовой площадью командования системы. Высокое значение к.з.и. служит одним из показателей эффективной работы системы.

Межхозяйственные каналы распределяют воду между всеми хозяйствами на орошаемой площади и подают воду в хозяйственные распределители, которые доставляют ее в каждое хозяйство — совхоз или колхоз и на отдельные поливные участки в хозяйстве; внутрихозяйственные распределители называются участковыми и являются в оросительной системе постоянными каналами последнего порядка, подающими воду на поливные участки.

Поливные участки в системе должны иметь достаточно крупные размеры (10—40 *га* и более) и форму, допускающую производительную механизированную перекрестную (не только продольную, но и поперечную) обработку.

Для обеспечения наиболее эффективной работы системы, получения высоких урожаев, высокой производительности труда и механизмов, наилучшего использования водных и земельных ресурсов необходимо, чтобы расположение, размеры и работа всех элементов оросительной системы были

тесно увязаны с организацией орошаемой территории и хозяйств в системе.

Формы увязки орошения и организации хозяйства зависят от местных экономических и природных условий, от типа хозяйства, характера севооборота и разбивки его полей, от наличия и организации рабочей силы и средств механизации, от размеров, расположения магистрального и распределительных каналов и других условий.

На этой основе должно вестись проектирование и расчет расположения, размеров и работы проводящих оросительных каналов.

2. РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРОВОДЯЩИХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Расположение проводящих оросительных каналов должно отвечать: 1) правильной организации орошаемой территории и расположенных на ней хозяйств и 2) топографическим и геоморфологическим условиям ее.

Проводящие оросительные каналы должны регулярно, в соответствии с планом водопользования, снабжать водой орошаемые земли во всех хозяйствах (совхозах, колхозах и населенных пунктах) и командовать (в максимально возможной степени) орошаемой из них площадью. Вместе с тем расположение проводящих каналов должно давать минимум длины и стоимости их и не стеснять условий механизации сельскохозяйственных работ.

ГЛАВНЫЙ ОРОСИТЕЛЬНЫЙ (МАГИСТРАЛЬНЫЙ) КАНАЛ

Расположение главного, или магистрального, канала, соединяющего оросительную систему с источником воды, должно обеспечить ему командование возможно большей подлежащей орошению площадью и наилучший профиль трассы в отношении стоимости и устойчивости. Обычно он трассируется по высшим отметкам орошаемого склона или по водоразделу, если орошаются оба склона.

При проектировании трассы магистрального канала и основных его ветвей приходится, помимо других факторов, считаться с геоморфологическими условиями района. Большинство площадей орошения в СССР можно отнести к следующим основным геоморфологическим типам[1]: 1) предгорных равнин, 2) речных долин, 3) водораздельных (междуречных) равнин и плато.

Предгорные равнины и сухие дельты горных рек образованы пролювиальными отложениями и могут быть подразделены на следующие главнейшие части: а) галечниковые конусы выноса — вверху, б) лессовые предгорные степи — в середине, в) суглинистые и глинистые равнины — внизу (рис. 96, *а*).

Сюда относятся в значительной своей части оросительные системы рек: Сох, Исфара, Теджен, Мургаб; Бухарский и Каракульский оазисы по р. Зеравшан и ряд других.

Речные долины, образованные древними или современными аллювиальными отложениями, могут иметь двоякое строение: 1) террасовое и поперечный уклон к реке — в образовании их преобладали процессы размыва (рис. 96, *б*); 2) дельтовое и поперечный уклон от реки к коренным берегам — в образовании их преобладали процессы отложения (рис. 96, *в*). Первый вид долины имеют главным образом в верхнем и среднем течении рек, второй — обычно в нижнем течении крупных рек (приморские дельты).

Примерами систем на речных террасах могут быть: Голодностепская, Вахшская, Ферганская, Зеравшанская, а также системы на террасах рр. Волги, Дона и их притоков. Примерами оросительных систем дельтового типа являются системы в дельтах рр. Аму-Дарьи (Хорезм, Кара-Калпакия), Куры и Аракса (Кура-Араксинская низменность).

[1] Этими типами не исчерпываются, конечно, все условия наших орошаемых площадей; см. работы Л. П. Розова, В. А. Ковда и др. *Прим. автора.*

река, Волги и др. В качестве примера пойменных систем можно назвать системы Волго-Ахтубинской поймы.

Водораздельные равнины и плато сложены коренными породами или древнеаллювиальными отложениями и характеризуются плоским рельефом и малыми уклонами, различаясь по степени волнистости своего микрорельефа и изрезанности мелкими речками. В качестве примеров орошаемых районов в этих условиях можно указать сырты Заволжья, Мозкской степи, повышенные Днепровские степи и ряд других объектов (на Украине, в Северном Крыму и др.).

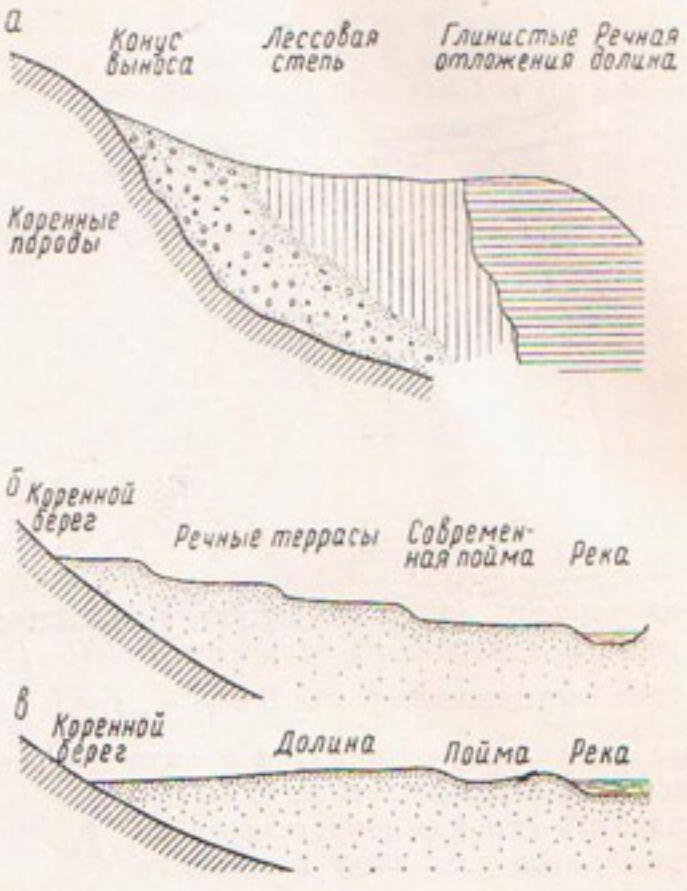


Рис. 96.

Предгорные равнины в верхних частях имеют обычно хорошо выраженные уклоны и более или менее глубоко залегающие грунтовые воды; в нижних частях грунтовые воды и засоленность почв повышаются; почвогрунты подвержены просадочности. Источниками орошения предгорных равнин являются реки и речки, стекающие с гор по конусам выноса, а для нижних частей их — верхние участки основной реки, протекающей по долине.

Речные долины (террасы) обычно имеют средние и небольшие, а в дельтовых частях малые уклоны. Грунтовые воды залегают здесь неглубоко от поверхности, особенно на нижних террасах, а в дельтах имеют очень слабый отток. Степень засоленности грунтовых вод зависит от характера подстилающих пород; при наличии галечников грунтовые воды большей частью незасолены. Почвогрунты характеризуются большей засоленностью сравнительно с предгорными районами, но обычно не подвержены просадкам при орошении.

Основным источником орошения речных долин является главная река и ее притоки, а также воды местного стока, задерживаемые в водохранилищах на балках и речках.

Водораздельные равнины и плато имеют сравнительно небольшие уклоны, но часто — сложный микрорельеф, более или менее глубокое стояние грунтовых вод и хорошие почвенные условия. Эти условия благоприятны для орошения, но трудности создаются высокими отметками подлежащих орошению площадей и ограниченностью водных ресурсов; это заставляет прибегать к механическому подъему воды (часто на значительную высоту) при заборе воды из реки или же к использованию местного стока путем устройства лиманного орошения или создания прудов для орошения небольших участков в сочетании с разбитием лесонасаждений на водоразделах. В качестве примеров орошения в этих условиях можно привести оросительные системы Заволжья с забором воды из р. Волги, орошение украинских степей из р. Днепра, многочисленные орошаемые участки на местном стоке в степных и лесостепных районах и др.

Таким образом, на орошение вода поступает в магистральный канал из реки или из водохранилища. Положение горизонта воды в реке или водохранилище (в критические периоды или постоянно) может быть выше или ниже требуемых отметок подлежащих орошению площадей; в первом случае вода доставляется на орошаемую площадь самотеком, во втором случае необходим механический водоподъем.

Трасса магистрального канала в зависимости от геоморфологических условий и расположения орошаемых земель может иметь следующее положение.

1. При орошении конусов выноса из горной реки (рис. 97) магистральный канал и главные распределители располагаются вдоль или под

острым углом к уклону местности, охватывая веером орошаемые земли на конусе выноса; по такой схеме орошаются многие земли Ферганы и др. (р. Сох).

2. При орошении земель, расположенных в предгорных равнинах, магистральный канал трассируется в направлении горизонталей и располагается сначала вдоль реки, а затем при выходе реки из горной части в долину отходит от нее на более или менее значительное расстояние (рис. 98) (р. Вахш) в зависимости от условий рельефа.

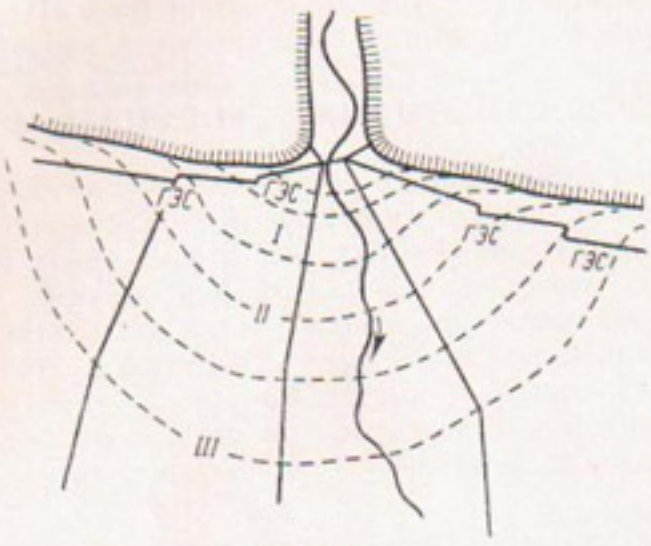
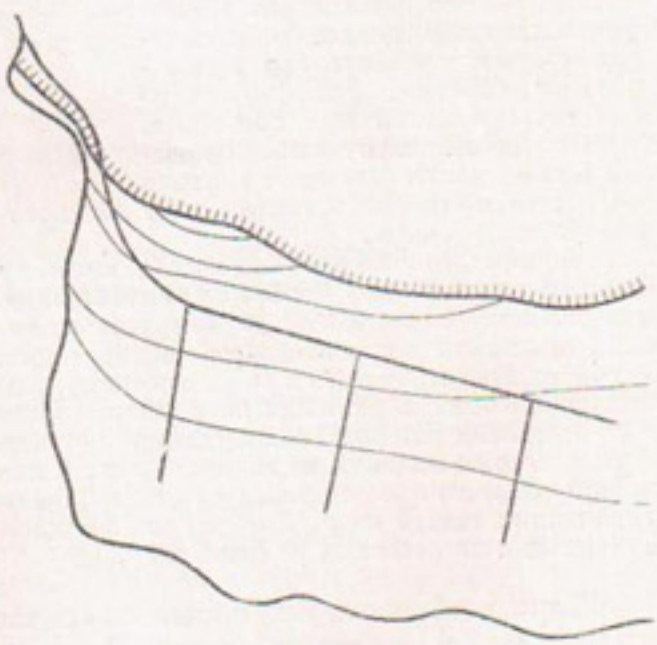


Рис. 97.

3. При орошении из реки земель, расположенных на террасах речной долины (рис. 99), для подачи воды служит головное сооружение A, расположенное на реке на расстоянии L выше орошаемой площади, и магистральный канал, трассируемый вдоль реки с меньшим уклоном I, чем уклон реки i; вследствие этого оросительный канал все время отходит от реки: в горной части он проходит в глубокой выемке, затем выходит в пойму, идет далее по склону террасы и, наконец, на расстоянии L от головного сооружения выходит на террасу или в открытую степь. Здесь канал оказывается выше уровня реки в створе C на величину $h = (i-I)L$. Таким образом, длина холостой части канала равна $L = \frac{h}{i-I}$, где h—разность отметок воды в канале (B) и в реке на расстоянии L от пункта A (в створе C). Для сокращения длины холостой части канала L надо уменьшать его уклон (в допустимых пределах), отводить воду из реки на участках с достаточно большими уклонами; уменьшением h можно сократить длину холостой части канала L, но это влечет снижение командования канала и размеров орошаемой площади. Чем меньше уклон магистрального канала I, тем короче длина холостой части L, тем больше площадь командования (ибо больше h), но зато тем меньше могут быть скорость течения воды в канале и больше размеры сечения канала, т. е. больше опасность заиления и выше стоимость канала; это надо учитывать при выборе уклона I, причем скорость течения воды v должна быть выше критической на заиление.


Рис. 98.

Если длина холостой части канала L, для вывода его на командную точку B, оказывается очень большой, то должны быть рассмотрены следующие возможные варианты решения задачи: 1) устройство головного сооружения с водоподъемной плотиной на реке и 2) механический подъем воды. При первом варианте в голове канала, ниже головного регулятора A_1, на реке ставится водоподъемная плотина, поднимающая уровень воды в реке перед головным регулятором в меженное время на высоту h_1, благодаря чему длина

холостой части канала может быть сделана равной:

$$L_1 = \frac{h - h_1}{i - I} < L,$$

где h—разница отметок точки B и низшего горизонта воды в реке (за оросительный период) в точке C.

Гидравлический уклон реки между пунктами A_1 и C равен i, а уклон канала на участке $A_1 B$ равен I. Отметка воды в канале в пункте B при наличии плотины будет равна $A_1 + h_1 - L_1 I$, а отметка воды в реке в створе C равна $A_1 - L_1 i$. Разность отметок воды в пунктах B и C равна $h_1 + L_1(i - I)$ и вместе с тем составляет h; из этого равенства $h_1 + L(i - I) = h$ и получается вышеуказанное значение L_1.

Вариант водозабора с плотиной, помимо сокращения длины холостой части канала и осветления воды, поступающей в канал, позволяет использовать энергию подпора, создаваемого плотиной.

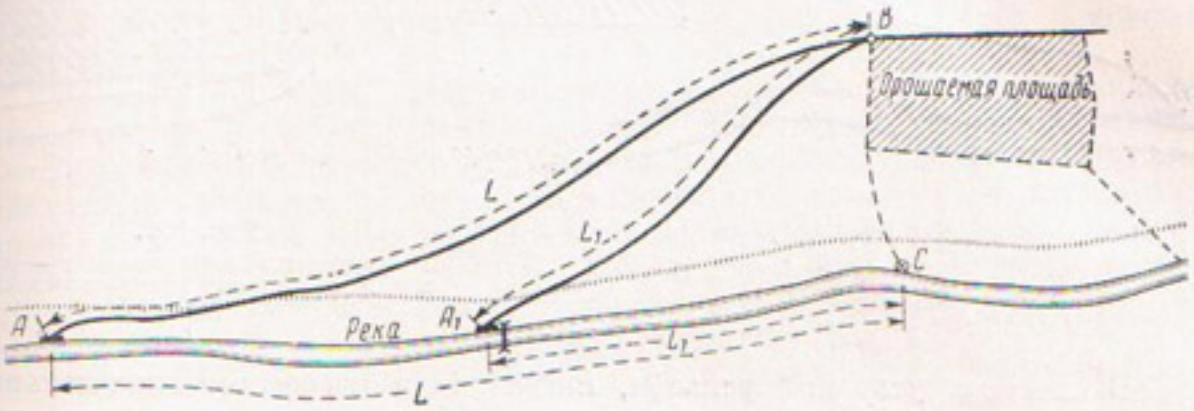


Рис. 99.

Получение гидроэнергии в оросительных системах чрезвычайно важно, так как позволяет механизировать не только хозяйство, но и самую технику орошения.

Холостую часть магистрального канала желательно вести в выемке, чтобы уровень воды был на 0,7—1 *м* ниже поверхности земли.

Если вариант постройки водоподъемной плотины и сокращения благодаря этому длины холостой части магистрального канала до L_1 окажется выгоднее варианта длинного холостого канала L без плотины, то этот вариант и может быть принят.

Однако в ряде случаев может оказаться более целесообразным вариант механического подъема воды на орошение всей площади или части ее. Здесь могут быть два решения.

а) В пункте C (рис. 99) на реке устраивается насосная станция, подающая воду в пункт B на всю орошаемую площадь. Этот вариант осуществляется тогда, когда по техническим и экономическим условиям (погашение стоимости станции и эксплуатационные расходы по подъему воды) он оказывается более целесообразным, чем вариант самотечного орошения (головы в точках A или A_1).

б) Самая высокая часть площади ω_1 орошается с механическим подъемом воды, причем вода берется или из реки (водоподъемная станция в D') или из канала, выведенного из реки (станция в D) (рис. 100). Остальная площадь ω орошается самотеком при помощи канала, выведенного из реки (головное сооружение в A). Когда вода забирается из оросительного канала в D, сокращается длина напорного трубопровода (DB вместо $D'B$), на зато головное сооружение и размеры канала AD должны быть больше, так как они должны быть рассчитаны на орошение всей площади $\omega + \omega_1$.

В дельтовой части реки, когда река течет в собственных наносных отложениях и поднята относительно прилежащих земель, трасса магистраль-

ного канала может располагаться по схеме, представленной на рисунке 101; главный сбросный канал трассируется по низким точкам рельефа и для вывода его в реку требуется глубокая выемка, а иногда и механическая перекачка воды.

При орошении водораздельных участков магистральный канал располагается по водоразделу. Главные ветви магистрального канала проводятся по возможности по местным водоразделам, так как при этом они меньше препятствуют естественному стоку вод, командуют большей площадью, требуют меньше сооружений.

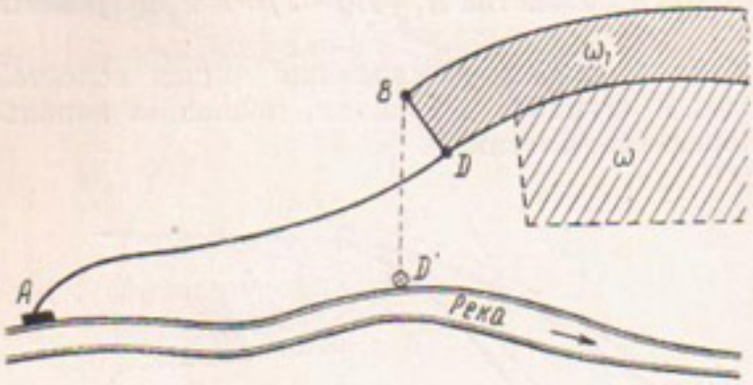


Рис. 100.

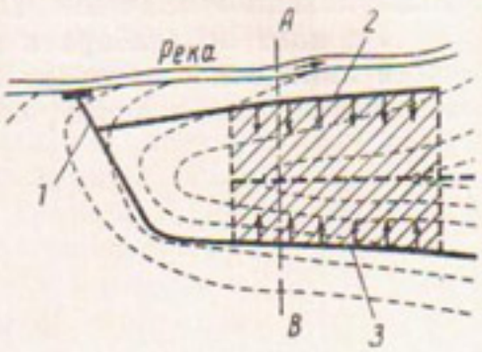


Рис. 101.

1 — магистральный канал; *2* — первая и *3* — вторая ветви магистрального канала.

В сложных условиях рельефа, когда канал пересекает значительные неровности местности, трасса канала должна быть выбрана на основе сравнения вариантов (сокращение длины за счет искусственных сооружений, или обратно).

Главные водосборные каналы располагаются по наиболее пониженным отметкам и естественным тальвегам орошаемой местности.

МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫЕ И ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ, СВЯЗЬ ИХ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ ТЕРРИТОРИИ И ХОЗЯЙСТВА

Расположение распределительных каналов оросительной системы должно отвечать следующим требованиям: 1) соответствовать расположению орошаемых массивов и земель хозяйств (совхозов, колхозов, предприятий, населенных пунктов), границам землепользования, чтобы снабжать водой (в нужных количествах и в нужные сроки, в соответствии с планом водопользования) все хозяйства, на которые разбивается орошаемая площадь системы, и по возможности обеспечивать самостоятельное водопользование для каждого района; 2) иметь нужное командование оросительных каналов для самотечного распределения воды в системе; 3) создавать наиболее благоприятные условия для механизации сельскохозяйственных работ на орошаемых площадях; 4) обеспечивать самостоятельную подачу воды в каждое хозяйство; 5) удовлетворять вышеуказанным требованиям при наименьшем объеме земляных работ и искусственных сооружений, с минимумом удельной длины каналов на 1 *га*, с максимальным коэффициентом полезного использования воды.

Что касается расположения постоянных каналов в каждом хозяйстве, то желательно, чтобы орошаемая площадь хозяйства получала воду по одному главному хозяйственному отводу, связывающему это хозяйство со всей системой; внутри же она разбивается сетью внутрихозяйственных (групповых) и участковых распределителей на достаточно крупные поливные участки, имеющие размеры и форму, допускающие наиболее производительную механизацию сельскохозяйственных работ.

Расположение и размеры поливных участков зависят от рельефа и конфигурации орошаемой площади, а также от размещения орошаемых земель в хозяйстве — севооборотных полей, приусадебного участка, внесевооборотных угодий (сады и др.), бригадных участков.

Поля севооборота размещают с соблюдением следующих требований: а) поля севооборота должны быть равновеликими по площади, так как это обеспечивает равномерность осуществления плана организации труда и механизации; отклонения от среднего размера поля допускаются не больше 5—10%; б) каждое поле севооборота должно быть максимально однородным по своим почвенным, гидрогеологическим, мелиоративным и агротехническим условиям; в) каждое поле севооборота должно иметь удобную по условиям механизации форму, допускающую перекрестную обработку пропашных культур и достаточные размеры.

Расположение и размеры бригадных участков, являющихся производственно-территориальными единицами колхоза (или совхоза), должно обеспечивать: правильную организацию труда и средств производства, эффективное использование земли и воды, хорошую агротехнику и хорошее качество поливов.

Размеры бригадных участков должны быть увязаны с севооборотом, агротехникой и механизацией сельскохозяйственных работ. Бригадные участки должны быть целостными и компактными по своей форме, равновеликими по площади и иметь по возможности самостоятельное питание водой; они должны быть закреплены в полях севооборота таким образом, чтобы был обеспечен равномерный график труда в бригаде по годам ротации севооборота и, следовательно, постоянный состав бригады; колебания нагрузки бригад по годам не должны превышать 10%.

Размещение бригадных участков в полях севооборота может быть следующим:

1) *за бригадой закрепляют участки во всех полях севооборота* — этот способ обеспечивает равномерную нагрузку и постоянство бригад по годам, позволяет иметь сосредоточенную подачу воды, но иногда влечет разбросанность земельных участков одной бригады, невозможность дифференцированного полива, сложное распределение воды;

2) *за бригадой закрепляют целые смежные поля севооборота*, занятые ежегодно разными культурами,— этот способ обеспечивает компактность бригадного участка, позволяет закреплять за бригадой целые каналы, но может создавать неравномерность нагрузки бригады по годам и давать большую длину одновременно работающих распределителей;

3) *за бригадой закрепляют части отдельных смежных полей севооборота*, расположенные в компактных участках, — этот способ дает меньшую длину одновременно работающих каналов, позволяет иметь небольшое число участков у бригады и сохранять более или менее постоянство ее нагрузки по годам.

4) *за бригадой закрепляют весь севооборотный участок*, что допускается при проектировании так называемых параллельных севооборотов и на небольших колхозных орошаемых участках.

Каждый из приведенных способов различно влияет также и на величину потерь воды в оросительных каналах.

Расположение бригадных участков при трех первых отмеченных способах схематически показано на рисунке 102, где арабскими цифрами обозначены бригадные участки, а римскими — поля севооборота.

В зависимости от конкретных условий хозяйства может быть более целесообразным тот или другой способ расположения бригадных участков.

В колхозах хлопководческих районов с хлопково-травопольными севооборотами применяется главным образом третий или второй способ размещения бригадных участков. На колхозных орошаемых участках в степных районах целесообразным является четвертый способ—закрепление всего орошаемого участка за одной бригадой. Он может быть применим и в хлопководческих крупных хозяйствах при наличии в них параллельных севооборотов.

В условиях орошаемых зерновых севооборотов при крупных размерах отдельных полей и бригадных участков применяется первый способ размещения бригадных участков. Во всех случаях бригады должны иметь целое число временных оросителей. Вышеизложенные положения об организации бригад относятся к основным полевым севооборотам (хлопковым, зерновым и др.). Отдельные орошаемые угодья (сады, виноградники) и специальные севообороты (кормовой, овощной) организуются самостоятельно в отношении расположения и закрепления за бригадами.

Совхозы состоят из отделений, представляющих определенные хозяйственные единицы, площадь которых зависит от производственных условий совхоза. Каждое отделение, компактное по площади, должно иметь самостоятельное питание водой из главного совхозного распределителя. Севооборот в каждом отделении устанавливается на основе государственных плановых заданий, с учетом условий отделения. Требования к размещению полей севооборота в основном остаются теми же, что были указаны выше, но поля имеют обычно более крупные размеры. В совхозах бригадные участки в полях севооборота разме-

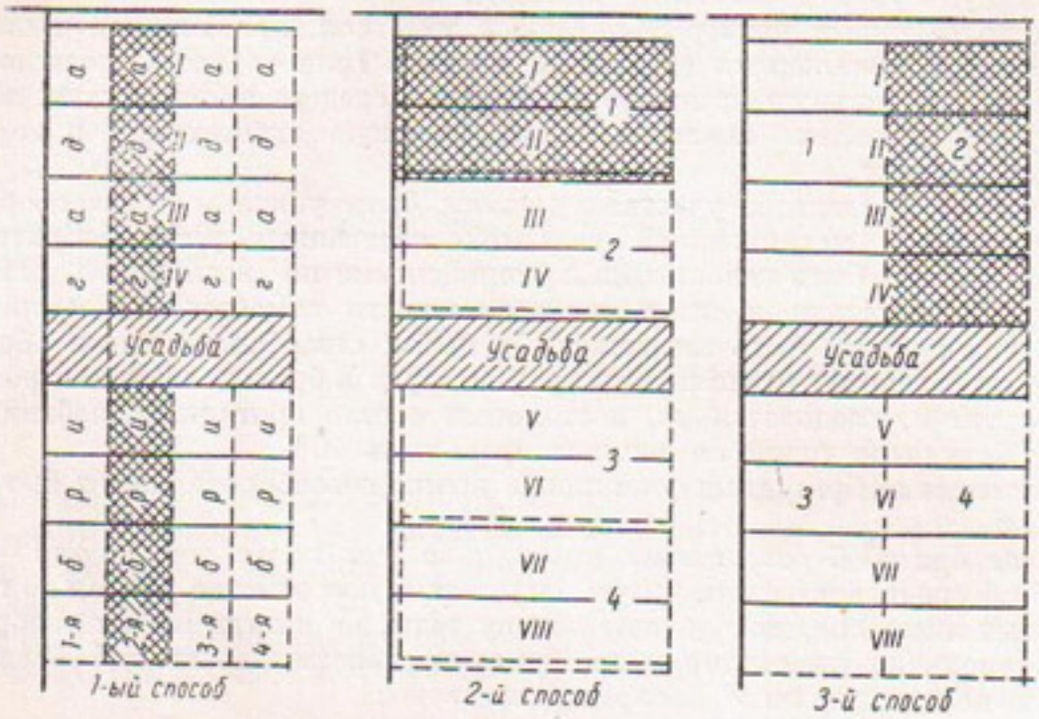


Рис. 102.

щаются двояко: 1) за бригадой закрепляются части смежных полей севооборота, занятых культурами с разной трудоемкостью, на весь период севооборота и 2) за бригадой закрепляются целые поля севооборота, занятые одной культурой, на срок в несколько лет. Первый способ обеспечивает равномерный график труда и постоянство состава бригады, сокращает длину работающих каналов и размеры потерь, но зато бригада имеет удаленные участки и обрабатывает разные культуры (не специализирована). Второй способ, наоборот, позволяет иметь специализированные бригады (на определенной культуре), но зато бригада должна переходить в период севооборота с одного участка на другой и иметь напряженный график труда. При наличии параллельных севооборотов в совхозе может применяться способ закрепления за бригадой всех полей севооборота.

В зависимости от условий рельефа и размеров поливных участков, с одной стороны, и от размеров орошаемого хозяйства и полей севооборота — с другой стороны, могут быть следующие соотношения поливных участков с полями севооборота: 1) поливной участок включает одно целое поле севооборота; 2) поливной участок является частью одного поля севооборота, которое состоит из нескольких поливных участков; 3) поливной участок включает несколько небольших полей севооборота; это может быть при очень малых размерах орошаемого хозяйства. В зависимости от этого участковый распределитель (последнего порядка) обслуживает одну культуру и все поле севооборота или часть поля, или же он обслуживает 2—3 культуры севооборота (в установленные для них сроки полива).

Чем ровнее рельеф орошаемой площади хозяйства, чем меньше ее изрезанность, чем правильнее конфигурация и однороднее почвенные условия,

тем крупнее могут быть размеры поливных участков[1]; чем больше размеры орошаемого хозяйства, тем крупнее размеры орошаемых полей севооборота. Отдельный участковый распределитель соответствующих размеров обслуживает обычно приусадебный участок.

При проектировании расположения постоянных внутрихозяйственных распределителей необходимо стремиться к получению минимальных длины

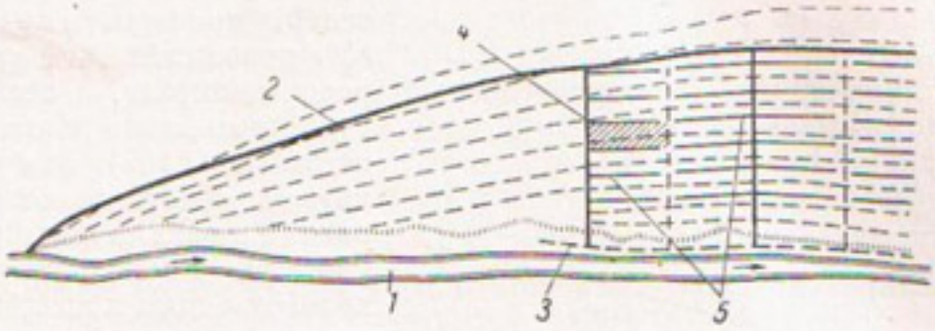


Рис. 103.

1 — река; *2* — магистральный канал; *3* — коллектор; *4* — распределитель *I*; *5* — распределитель *II*.

и объема этих каналов и потерь воды в них, к достижению наивыгоднейших условий механизации сельскохозяйственных работ; для этого поливные участки должны иметь достаточную длину (не меньше 400—600 *м*) и ширину (не меньше 400 *м*), чтобы можно было обеспечить как продольную, так и поперечную (перекрестную) механизированную обработку почвы.

Сообразно указанным выше схемам расположения магистрального канала можно наметить ряд типов расположения распределительной сети.

1. При расположении магистрального канала в направлении горизонталей (речные долины) (рис. 103) распределители старшего порядка *I* располагаются вдоль по уклону, а от них отходят распределители младшего порядка (распределители *II*).

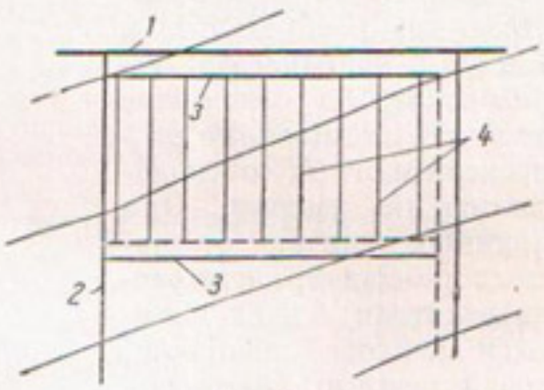


Рис. 104.

1 — межхозяйственный канал; *2* — хозяйственный распределитель; *3* — участковый распределитель; *4* — временные оросители.

В зависимости от размеров орошаемой площади старшие распределители *I* могут быть: межхозяйственными распределителями первого порядка — при больших размерах орошаемой площади системы, или хозяйственными распределителями — при малых размерах орошаемой площади системы. Отходящие от них боковые распределители младшего порядка *II* при больших размерах орошаемой площади системы могут быть межхозяйственными распределителями второго порядка, а при небольших размерах орошаемой площади — хозяйственными распределителями (в этом случае заштрихованная на рисунке площадь представляет площадь одного хозяйства).

Расположение распределителей внутри орошаемой площади хозяйства может быть различным, в зависимости от размеров ее, топографических и других условий. При значительных размерах орошаемой площади хозяйства от хозяйственного распределителя отходят участковые распределители, подающие воду во временные оросители (рис. 104).

---

[1] В старых системах размеры поливных участков могут стеснять ценные древесные насаждения (например, тутовник) или глубокие действующие дрены и коллекторы. *Прим. автора.*

В небольшой системе межхозяйственный канал может служить магистральным. На малых орошаемых участках одного хозяйства хозяйственный канал является вместе с тем и магистральным.

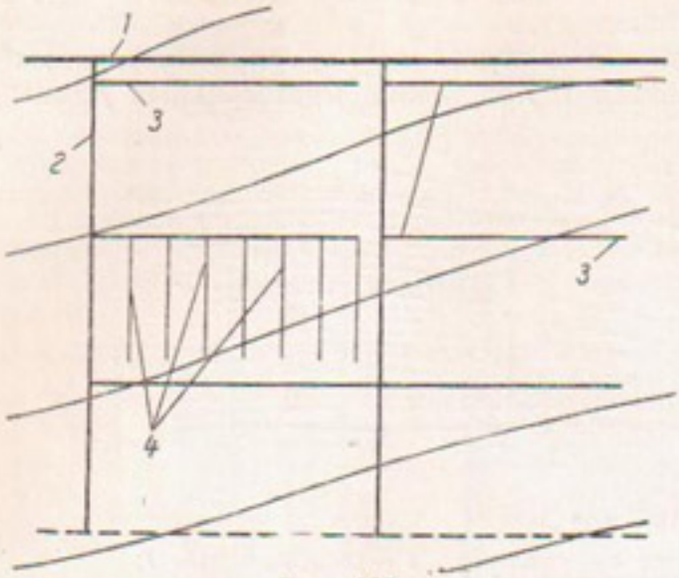


Рис. 105.

1 — хозяйственный распределитель; *2* — групповой распределитель; *3* — участковый распределитель; *4* — временные оросители.

При крупных размерах орошаемой площади хозяйства, кроме участковых распределителей, приходится устраивать еще дополнительные групповые распределители, снабжающие водой несколько поливных участков (рис. 105). Эти распределители обслуживают севооборотные площади или бригадные участки. Расположение межхозяйственных и хозяйственных распределителей по отношению к рельефу орошаемой площади может быть различным и зависит от указанных выше условий, которые к ним предъявляются.

В зависимости от характера микрорельефа распределители, идущие по наибольшему уклону, могут иметь и двустороннее командование.

Аналогично располагаются распределители и при трассировании магистрального канала по водоразделу.

2. При расположении магистрального канала вдоль по уклону и при большой длине орошаемого склона (конусы выноса и предгорные равнины) оросительная сеть получает характер, схематически показанный на рисунке 106. Здесь межхозяйственные распределители *I* идут в направлении горизонталей, а отходящие от них хозяйственные распределители *II* располагаются по уклону. При крупных размерах орошаемых площадей, когда распределители *I* и *II* являются межхозяйственными, хозяйственные распределители отходят от распределителей *II* в направлении горизонталей.

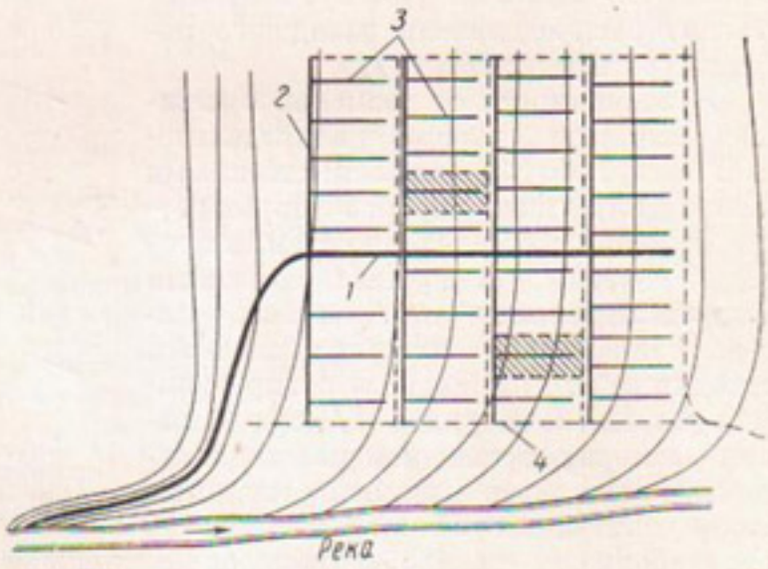


Рис. 106.

1 — магистральный канал; *2* — распределитель *I*; *3* — распределитель *II*; *4* — главный коллектор.

Временные оросители имеют поперечное или продольное расположение, в зависимости от уклона местности и направления полива и посева.

При оценке того или иного варианта расположения распределительных каналов нужно учитывать также уклоны и длину орошаемых склонов: более выгодным, при прочих одинаковых условиях, может оказаться такое расположение, которое дает меньшую стоимость перепадов и лучшие возможности получения гидроэнергии на каналах.

3. Между описанными схемами расположения каналов, в силу сложности рельефа и микрорельефа, конфигурации границ отдельных хозяйств

(совхозов и колхозов), значительности уклонов местности, могут быть промежуточные схемы, при которых магистральный канал, межхозяйственные и хозяйственные распределители идут под углом к направлению наибольшего уклона и к горизонталям орошаемой местности, чтобы скорости течения воды в каналах не выходили из допустимых значений. При этих условиях расположение каналов в плане не имеет однообразного характера. Наивыгоднейшее расположение такое, когда достигается наиболее производительная механизация сельскохозяйственных работ и лучшая организация рабочих бригад, создаются условия высокой производительности труда и проведения планового водопользования, удовлетворяются требования правильной агротехники, предупреждается эрозия почв, обеспечивается рациональное и эффективное использование водных ресурсов. Все это должно достигаться при минимальной стоимости оросительной сети и наибольшем значении к.п.д. системы.

Для выбора наивыгоднейшего расположения сети необходимо сравнение нескольких вариантов разбивки оросительной сети в данных условиях; такой подход позволит наиболее целесообразно увязать требования и интересы орошения и водного хозяйства с требованиями организации высокопроизводительного сельского хозяйства.

Говоря о расположении оросительных каналов, нужно остановиться также на обводнительных каналах, которые нередко совмещаются с магистральными оросительными каналами.

Обводнение безводных местностей, лишенных вовсе или имеющих недостаточное количество естественных водоисточников с водой нужного качества, предусматривает создание источников воды, необходимых для хозяйственного освоения этих местностей (водоснабжения населения, промышленности, сельского хозяйства) и улучшения климатических и гидрологических условий. Для обводнения используются поверхностные воды крупных рек и местного стока путем устройства обводнительных каналов и водохранилищ, а также пригодные по качеству подземные воды путем устройства колодцев.

Расположение обводнительных каналов определяется: 1) расположением площадей, требующих по хозяйственным условиям обводнения в первую очередь (населенные пункты, промышленные предприятия, земли, наиболее ценные для развития животноводства, облесенные площади); 2) наличием на подлежащей обводнению территории соответствующих естественных условий для устройства водоемов, лиманов, естественных тальвегов и протоков для проведения каналов; 3) зоной действия обводнительного канала, т. е. влиянием его на развитие сельского хозяйства и животноводства на прилежащих землях. Устройство обводнительных каналов имеет особо большое значение для развития животноводства в пустынных и полупустынных районах, так как вода из каналов обеспечивает скот хорошей водой в нужных количествах, вместе с тем оно создает возможность для орошения подсобных участков сельскохозяйственных культур, что решает вопросы снабжения населения продовольствием и создания устойчивой кормовой базы.

3. РЕЖИМ РАБОТЫ И РАСХОДЫ ВОДЫ В ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

ПЛАНОВОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ И РАСХОДЫ ВОДЫ НЕТТО В КАНАЛАХ

Режим работы всей системы (и, следовательно, динамика расходов магистрального и распределительных каналов) устанавливается в результате сочетания во времени плановых режимов орошения земель отдельных хозяйств, получающих воду из данного канала, соответствия их режиму источника воды, пропускной способности каналов и почвенно-гидрогеологическим условиям орошаемого массива.

Распределение и использование воды во всех звеньях системы в каждый момент времени производятся по взаимоувязанным планам водопользования — внутрихозяйственному в каждом хозяйстве и общесистемному — во всей системе. Режим работы и расходы воды в оросительных каналах неразрывно связаны с планом водопользования и режимом поливов в хозяйствах.

Организация планового водопользования выражается в нормированном (во времени и в количестве) заборе воды из источника и распределении ее между всеми хозяйствами в системе и между отдельными полями в каждом хозяйстве, в соответствии с их потребностями в воде, по установленным общесистемному и внутрихозяйственным планам водопользования. Плановое

водопользование позволяет обеспечить не только нужный режим орошения, но и более высокий коэффициент полезного использования воды.

Общесистемный план водопользования, представляющий план удовлетворения потребностей в воде данной системы, должен составляться на основе планов водопользования отдельных хозяйств и увязки их с режимом водоисточника, пропускной способностью каналов и с мелиоративными условиями системы (почвенными, гидрогеологическими и др.).

Внутрихозяйственные планы водопользования составляются в соответствии с плановыми сельскохозяйственными заданиями каждого хозяйства, с потребностями орошаемых культур в воде, с организацией территории и труда в данном хозяйстве на основе его производственного плана и являются составной частью этого плана.

Из производственного плана хозяйства берутся данные о посевных поливных площадях, размещении культур и бригадных участков, о плановой урожайности, о средствах механизации, количестве трудоспособных в колхозе и бригадах, об установленных колхозом нормах выработки на поливе и на обработке. Для составления плана водопользования должны быть установлены режим орошения каждой культуры и поля и суточные площади полива; определены расходы воды, подаваемой в оросительные каналы внутрихозяйственной сети, на поля, в бригадные участки; сроки работы каналов; составлены выписки подачи воды по каждому каналу и каждой бригаде. План водопользования осуществляется путем организации правильной подачи и распределения нормированных количеств воды между полями и бригадами и применения рациональных норм и техники орошения на полях.

Если в каждом поле севооборота имеются поливные участки всех бригад, то очередь в пользовании водой устанавливается между полями, а все бригады получают воду одновременно в поливаемом поле. Если же за бригадами закреплены целые поля севооборота или полуполя, то очередь в пользовании водой устанавливается между бригадами, причем необходимо, чтобы одновременно поливаемые бригадные участки были расположены возможно более компактно, чтобы повысить к.п.д.

Каждый колхоз или совхоз должен получать воду непрерывно в течение вегетационного периода по установленному плану водопользования для этого колхоза или совхоза. Подача воды в порядке очередного распределения (по водообороту) в хозяйства допускается: а) при небольшой площади орошения в хозяйстве и, следовательно, малом расходе воды, при котором возрастают потери и затрудняется техника распределения воды при поливах; б) в периоды малого потребления воды; в) в маловодные годы при недостатке воды в источнике орошения.

Расход воды в колхозном распределителе (нетто) при непрерывной подаче определяется по графику режима орошения этого колхоза. Расход воды в колхозном распределителе $Q_{хоз}$ в каждый момент времени равен сумме расходов одновременно работающих в это время участковых распределителей или временных оросителей, подающих воду (согласно плану водопользования) на поливаемые в это время поля имеющихся в колхозе севооборотов (полевого, кормового и др.), приусадебные участки и отдельные угодья (сады и др.).

Таким образом получим расходы воды нетто:

$$Q_{хоз} = \sum Q_{уч} + Q_{ус} + Q_{от},$$

где $\sum Q_{уч}$ — сумма расходов воды в одновременно работающих участковых распределителях;

$Q_{ус}$ — расход воды, подаваемой на приусадебный участок;

$Q_{от}$ — расход воды, подаваемый на отдельные орошаемые в этот момент угодья.

Расход воды в участковом распределителе равен сумме одновременно получающих из него воду временных оросителей, т. е.

$$Q_{уч} = \alpha N \frac{\tau}{t} Q_{вр},$$

где N — общее число временных оросителей на участковом распределителе;
τ — продолжительность работы временного оросителя;
a — часть площади поливного участка $\omega_{уч}$, которая должна быть полита в течение времени t суток.

Если поливной участок является и участком одновременной обработки и занят только одним полем севооборота, то расход воды в участковом распределителе нетто должен быть равен:

$$Q_{уч} = N\frac{\tau}{t}Q_{вр} = Q_{пол} = \frac{\omega m}{86{,}4\,t}\ л/сек,$$

где ω — площадь поля;
m — поливная норма, в $м^3/га$;
t — продолжительность полива поля в сутках; она должна отвечать плановым заданиям поливной площади каждой культуры в хозяйстве и агротехнически допускаемым срокам полива ее в каждый период и быть увязана с организацией труда и механизацией сельскохозяйственных работ в хозяйстве.

Если плановая поливная площадь культуры в севообороте равна Ω $га$, а агротехнически допустимая продолжительность полива ее составляет T суток, то суточная площадь полива должна быть равна $\omega_{сут} = \frac{\Omega}{T}$ и отсюда продолжительность полива поля должна составлять $t = \frac{\omega}{\omega_{сут}}n'$ суток, где n' — число одновременно поливаемых полей данной культуры в севообороте.

Суточная площадь полива пропашных культур (хлопчатника) на поле должна быть увязана с суточной производительностью трактора на культивации. Если суточная площадь полива меньше возможной суточной площади тракторной культивации, то трактор не полностью используется или его надо перебрасывать на другой участок. Если же суточная площадь полива больше суточной площади культивации, получается пересушка почвы и неполное использование воды. Поэтому продолжительность полива поля пропашных культур должна быть увязана с продолжительностью обработки его, с допускаемым разрывом между ними не больше 1 — 2 суток, т. е. необходимо соблюдение условия:

$$t = t_{обр} \pm a,$$

где $t_{обр}$ — продолжительность обработки данного поля, равная площади поля, деленной на суточную площадь тракторной (или ручной) обработки, зависящую от числа и производительности машин (или бригад), работающих на обработке данного поля;
a — допустимый разрыв между временем полива и временем обработки, равный не больше 1 — 2 суток (при тракторной обработке берется $+a$, при ручной обработке $-a$).

Для соблюдения этого условия необходима соответствующая организация труда и механизация сельскохозяйственных работ в хозяйстве. Если $t < t_{обр} - a$, то приходится делать полив поля с перерывами, что увеличивает потери воды.

Если число бригад, работающих одновременно на данном поле, равно n, число поливальщиков в бригаде за смену равно N, число смен в сутки две и норма выработки одного поливальщика за смену равна C $га$, то суточная площадь полива на данном поле будет равна $2nNC$ $га$. Продолжительность полива поля $t = \frac{\omega}{2nNC}$ суток. Если поливной расход воды на одного поливальщика равен p $л/сек$, то расход воды нетто в распределителе $Q_{пол} = nNp = 2nNC\frac{m}{86{,}4}$ $л/сек$, где m — поливная норма, в $м^3/га$.

Из этих выражений видно, что выработка одного поливальщика за смену равна $C = \frac{86{,}4 \cdot p}{2 \cdot m}$ $га$, т. е. при данной норме полива m производительность труда увеличивается прямо пропорционально увеличению поливного расхода p, которым оперирует один поливальщик, а эта величина зависит, кроме опытности поливальщика, от средств механизации и автоматизации полива. Бригадный расход воды (нетто) в одном поле должен

быть равен $Q_{бр} = Np$, а продолжительность полива им $t_{бр} = \frac{\omega_{бр}}{2NC}$, где $\omega_{бр}$ — площадь бригадного участка в данном поле.

Если расход воды во временном оросителе равен $Q_{вр}$, то число одновременно работающих временных оросителей на данном участковом распределителе должно быть равно $n_{ор} = \frac{Q_{уч}}{Q_{вр}}$.

Число бригад, одновременно работающих на поливе севооборотной площади, равно сумме бригад, работающих на одновременно поливаемых полях. Если площадь, поливаемая в данном севообороте в течение периода $t_{сев}$, составляет $\omega_{сев}$, а площадь бригадного участка, поливаемая в течение времени $t_{бр}$, равна $\omega_{бр}$, то расход воды, которым оперирует бригада, должен быть:

$$Q_{бр} = Q_{сев} \frac{\omega_{бр}}{\omega_{сев}} \cdot \frac{t_{сев}}{t_{бр}}.$$

Вода между бригадами внутри севооборота распределяется или непрерывно, когда $t_{бр} = t_{сев}$ и в бригаду подается расход воды, пропорциональный площади бригад-

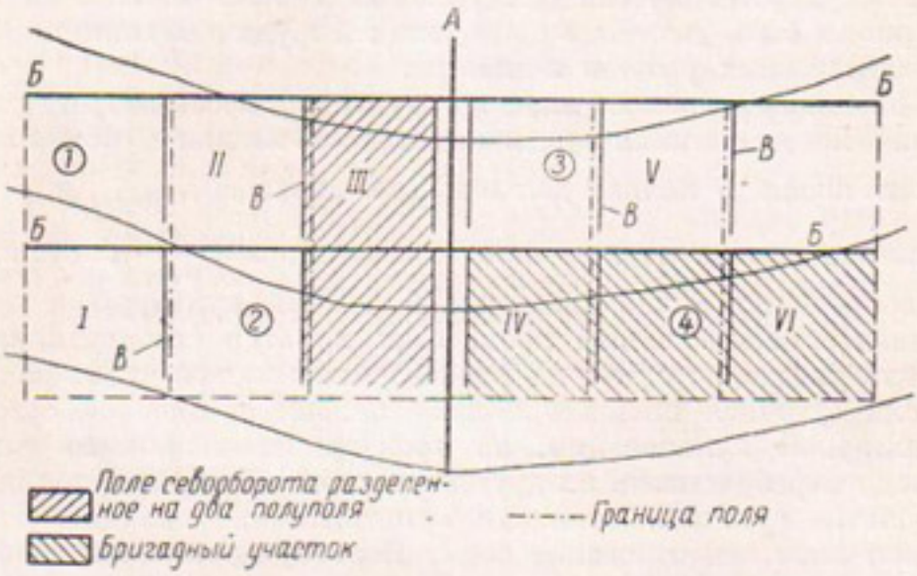


Рис. 107.

I, II, III, IV, V, VI — поля севооборота; *1, 2, 3, 4* — бригадные участки.

ного участка, — $Q_{бр} = Q_{сев} \frac{\omega_{бр}}{\omega_{сев}}$, или же между бригадами вода распределяется по очереди, когда в бригаду подается расход воды, увязанный с площадью бригадного участка и с временем полива и обработок его, установленным по плану водопользования. Если послеполивная обработка почвы механизирована и бригада может рационально использовать весь расход воды $Q_{сев}$, то можно сделать $Q_{сев} = Q_{бр}$ при условии $\frac{\omega_{бр}}{\omega_{сев}} = \frac{t_{бр}}{t_{сев}}$.

Увеличение бригадного расхода воды $Q_{бр}$ требует организации межбригадного водооборота, повышения пропускной способности каналов и более напряженной организации труда и механизации на послеполивных обработках, но зато уменьшает распыленность подачи воды по площади хозяйства, снижает потери воды в каналах и позволяет увеличить поливной расход и производительность полива.

Если за бригадой закреплен весь севооборот, то:

$$Q_{сев} = Q_{бр};\ \omega_{бр} = \omega_{сев} \text{ и } t_{бр} = t_{сев}.$$

Приусадебный участок и внесевооборотные угодья имеют отдельные распределители.

Для иллюстрации изложенных соображений о связи оросительной сети с организацией хозяйства и об увязке работы каналов на поливе с работой тракторов на обработке рассмотрим следующий пример.

В колхозе имеется шестипольный хлопково-люцерновый севооборот, состоящий из четырех полей хлопчатника и двух полей люцерны. Этот севооборот занимает общую площадь 576 *га* (нетто). Площадь каждого поля составляет 96 *га* и состоит из двух поливных участков по 48 *га*. Каждый поливной участок обслуживают восемь временных оросителей. Таким образом, один ороситель поливает 6 *га* (рис. 107); при средней суточной (за две смены) площади обработки вдоль и поперек рядов хлопчатника 24 *га* продолжительность послеполивной культивации каждого поля составит 4 суток (при одновременной работе двух тракторов).

Для обеспечения необходимого равенства темпов и сроков полива и послеполивной обработки хлопчатника необходимо, чтобы продолжительность полива каждого поля хлоп

чатника составляла бы также 4 суток. Для этого при поливной норме хлопчатника около 800 *м³/га* и расходе воды в одном временном оросителе 60 *л/сек* на каждом поливном участке должно одновременно работать два временных оросителя, и расход воды в участковом распределителе должен составлять 120 *л/сек*, а на каждом поле должны одновременно поливаться два участка, т. е. работать четыре временных оросителя.

На данной севооборотной площади работают четыре бригады, причем бригадные участки (каждый площадью 144 *га*) разбиты так, что бригада имеет по два полуполя хлопчатника и по одному полуполю люцерны. Бригадный участок состоит из трех поливных участков по 48 *га* и обслуживается групповым (бригадным) распределителем (*Б*), имеющим расход воды 240 *л/сек* и получающим воду из хозяйственного распределителя (*А*), и тремя участковыми распределителями (*В*), с расходами воды по 120 *л/сек*, берущими воду из группового распределителя. По агротехнически допустимым срокам полива расчетная продолжительность поливного периода составляет 8 суток. Расчетный расход воды в хозяйственном распределителе (*А*), питающем водой данный севооборот, составляет 480 *л/сек* (нетто), т. е. на нем одновременно могут работать два групповых (бригадных) распределителя по 240 *л/сек*; таким образом, между бригадами устанавливается водооборот: первые 4 суток работают первая и вторая бригады, а вторые 4 суток — третья и четвертая бригады. Для послеполивной культивации хлопчатника четыре бригады должны располагать четырьмя пропашными тракторами на продольной и поперечной культивации, причем работа тракторов должна быть организована по очереди: первые 4 суток четыре трактора работают на политых землях первой и второй бригад, а вторые 4 суток — на политых землях третьей и четвертой бригад.

Если при том же расходе воды в хозяйственном распределителе все четыре бригады будут работать одновременно, то расход воды в каждом групповом (бригадном) распределителе может быть уменьшен (120 *л/сек* вместо 240 *л/сек*), но общая продолжительность полива хлопчатника в каждой бригаде будет вдвое больше (8 суток вместо 4). Снижение расхода воды в групповых распределителях позволит уменьшить их размеры, но повысит потери воды в оросительной сети; увеличение продолжительности полива хлопчатника в каждой бригаде вызовет разрыв во времени между поливом и культивацией (при том же общем числе тракторов и закреплении по одному трактору за каждой бригадой на весь поливной период в 8 суток) или же потребует увеличения числа тракторов, используемых для культивации на большой севооборотной площади. Все положительные и отрицательные стороны различных способов увязки размеров и работы каналов внутрихозяйственной оросительной сети с организацией рабочих бригад и средств механизации сельскохозяйственных работ должны быть взвешены в каждом конкретном случае. При соответствующих размерах и рельефе орошаемой площади участковые распределители могут получать воду и непосредственно из хозяйственного распределителя (без групповых); в этом случае поля севооборота располагаются по участковым распределителям.

Расход воды в хозяйственном распределителе в каждый момент времени равен сумме расходов одновременно работающих участковых распределителей — севооборотных, приусадебного и внесевооборотных.

Предположим, что вся площадь поливных земель в хозяйстве составляет Ω *га* и из этой площади в период t_0 суток одновременно поливается: севооборотных культур $\alpha\Omega$ *га* при поливной норме m_1, внесевооборотных угодий $\beta\Omega$ *га* при поливной норме m_2 и приусадебных земель $\gamma\Omega$ *га* при поливной норме m_3. Тогда расход воды нетто в хозяйственном распределителе в период t_0 должен быть:

$$Q_{\text{хоз}} = \frac{\alpha\Omega m_1}{86{,}4t_0} + \frac{\beta\Omega m_2}{86{,}4t_0} + \frac{\gamma\Omega m_3}{86{,}4t_0} \text{ л/сек}.$$

Чтобы установить режим работы хозяйственного распределителя в течение всего оросительного периода, нужно просуммировать во времени расходы всех получающих из него воду оросителей, что удобно сделать построением графика режима работы хозяйственного распределителя. Наибольшая ордината этого графика даст величину расхода воды, который кладется в основу расчета канала.

Для составления внутрихозяйственного плана водопользования на основе плановых заданий поливных посевных площадей и урожаев сельскохозяйственных культур, а также производственного плана данного колхоза должны быть сделаны расчеты водопотребления и установлены режимы орошения по каждой культуре, каждому полю севооборота с учетом агротехнических, почвенно-мелиоративных и климатических условий. При проектировании режимы орошения составляются для годов разной степени засушливости. На основе изложенных выше принципов должны быть установлены нормы, число и сроки поливов каждой культуры в соответствии с фазами

развития ее при данных условиях; должны быть определены необходимые расходы воды нетто и брутто в каналах в соответствии с режимом орошения культур, размещением полей севооборота и бригадных участков, организацией труда и механизации в колхозе и минимальными потерями воды. Расходы воды в каналах и продолжительность полива каждого поля должны быть увязаны с продолжительностью механизированной обработки его. Число колхозников, работающих на поливе, и нормы выработки за смену берутся из производственного плана колхоза.

На основании перечисленных данных составляется календарное распределение по каждому каналу расходов воды, поливаемых и обрабатываемых площадей, сроков полива и обработки, занятых на работе бригад и числа работников по каждому колхозу и полю; на основе общего плана поливов по колхозу составляется производственное задание поливов каждой бригады.

Общесистемный план водопользования составляется на основе внутрихозяйственных планов водопользования с учетом гидрологического режима водоисточника и почвенно-мелиоративных условий орошаемых земель системы. *Сумма расходов воды в одновременно работающих в определенный момент времени хозяйственных (колхозных и совхозных) распределителях дает расход питающего их водой межхозяйственного распределителя младшего порядка.* Расход воды в межхозяйственном распределителе старшего порядка равен сумме расходов воды в питаемых им межхозяйственных распределителях младшего порядка, работающих в рассматриваемый момент времени. И, наконец, расход воды в главном (магистральном) оросительном канале равен сумме расходов воды в питаемых им межхозяйственных распределителях старшего порядка, работающих в этот период времени. *Режим работы и расходы воды брутто в главном (магистральном) канале оросительной системы, определяющие количества воды, подаваемой на данный орошаемый массив из источника орошения, должны быть согласованы с режимом источника и с почвенно-мелиоративными (и гидрогеологическими) условиями этого массива.*

В соответствии со сказанным можно написать такое общее выражение, определяющее расход воды (нетто) в проводящем распределительном канале оросительной системы в какой-либо период времени:

$$Q_0 = \sum Q_1,$$

т. е. расход воды в старшем канале Q_0 равен сумме расходов воды в одновременно работающих питаемых им младших каналах Q_1.

Для установления режима работ межхозяйственного канала суммируются во времени расходы воды в одновременно питаемых им хозяйственных (колхозных и совхозных) распределителях и строится график режима работы этого канала. Наибольшая ордината укомплектованного графика кладется в основу расчета канала.

Связь между расходами воды в старшем Q_0 и отходящем от него младшем распределительном канале Q_1 можно выразить так:

$$Q_0 = Q_1 \frac{\alpha_0 m_0 t_1}{\alpha_1 m_1 t_0} \cdot \frac{\Omega}{\omega},$$

где Ω и ω — площади, орошаемые соответственно старшим и данным младшим каналом;

t_0 — поливной период на старшем канале;

t_1 — продолжительность работы младшего канала в течение периода t_0;

m_1 и m_0 — поливные нормы: m_1 — на младшем канале в течение времени t_1, m_0 — на старшем канале — средняя в течение периода t_0;

α_0 и α_1 — проценты площадей на старшем и младшем каналах, поливаемые в течение времени t_0 и t_1 (соответственно).

Предыдущее выражение можно представить в таком виде:

$$Q_1 = Q_0 \frac{\omega}{\Omega} \xi,$$

где $\xi = \frac{a_1 m_1 t_0}{a_0 m_0 t_1}$.

Выражение ξ, характеризующее условия работы каждого проводящего канала в течение периода t_0, можно назвать *коэффициентом водооборота*; он позволяет учитывать индивидуальные особенности работы каждого проводящего распределительного канала по сравнению с условиями работы главного канала.

В зависимости от условий работы отдельных каналов коэффициент водооборота получает разные значения. Для магистрального канала, работающего в течение оросительного сезона непрерывно, когда $a_0 = a_1$, $m_0 = m_1$ и $t_0 = t_1$, коэффициент водооборота равен единице; наоборот, для участковых распределителей, работающих всегда периодически (при $t_1 < t_0$) и с индивидуальными значениями $m_1 \gtrless m_0$ и $a_1 \gtrless a_0$, коэффициент водооборота может быть больше единицы.

Распределение воды по каналам системы, т. е. порядок получения воды каналами младшего порядка из старших каналов, может быть двух основных видов: 1) все выходящие из данного старшего канала младшие каналы получают воду одновременно и 2) младшие каналы получают воду из старшего не все сразу, а часть их по известной очереди, через определенные промежутки времени.

Когда старший канал дает воду одновременно во все выходящие из него младшие каналы, эти каналы работают переменными расходами воды, в соответствии с колебаниями расхода воды в старшем канале, но пропускная способность старшего канала по длине его может уменьшаться и горизонты воды в нем не требуют создания значительных подпоров.

При подаче воды из старшего канала одновременно не во все, а только в часть выходящих из него младших каналов по известной очереди эта часть младших каналов может работать своими нормальными расходами воды при уменьшенном расходе воды в старшем канале; однако при этом необходимо устройство подпорных сооружений на старшем канале по отдельным участкам его, и пропускная способность старшего канала по длине не может уменьшаться ниже суммы нормальных расходов воды в младших каналах, отходящих на последнем участке старшего канала.

Первый способ — одновременного распределения воды (часто называемый непрерывным) — возможен при достаточной обеспеченности системы водой. Второй способ — очередного распределения воды — применяется при недостаточной обеспеченности системы водой, когда нехватка воды превышает 25% потребности или когда одновременная подача воды во все каналы нецелесообразна (по малости расходов).

Для ведения орошаемого хозяйства в каждом совхозе или колхозе наиболее желательно непрерывное получение воды в течение оросительного периода, обеспечивающее лучшую организацию водопользования. При непрерывной подаче воду внутри хозяйства распределяют (на поле каждой культуры севооборота) в течение оросительного периода по очереди и оросительные каналы внутри хозяйства работают прерывисто. Поэтому в оросительных системах обычно применяется комбинированное распределение воды — непрерывное на более крупных каналах (главный канал системы, межхозяйственные и хозяйственные распределители) и очередное на более мелких — внутрихозяйственных каналах. К очередному распределению воды в межхозяйственной сети приходится прибегать только в случаях маловодья для наиболее целесообразного использования имеющихся водных ресурсов. В этих случаях младшие распределительные каналы получают свой нормальный расход воды, но в течение более короткого времени, т. е. с перерывами через определенные промежутки и на определенный срок. При очередном распределении воды число одновременно работающих распределителей младшего порядка равно $\alpha N \frac{t_1}{t_0}$, где N — общее число этих распределителей на старшем канале; α — часть их, которая должна быть полита в течение периода t_0; t_0 — продолжительность работы старшего, а t_1 — младшего канала (в течение периода t_0). В зависимости от того, на какой категории каналов устанавливается очередь, могут различаться разные виды водооборота.

Главный (магистральный) канал обычно работает непрерывно в течение оросительного периода, но переменными расходами воды (определяемыми графиком режима орошения в системе), т. е. снабжает водой одновременно все выходящие из него распределители, причем каждый из них работает тоже переменным расходом (сообразно изменениям расхода воды в магистральном канале и площади орошения данного распределителя); в периоды маловодья на небольших системах магистральный канал может работать отдельными участками, т. е. питать водой одновременно не все, а часть выходящих из него распределителей (последовательно).

Межхозяйственные каналы, как и магистральный, работают обычно непрерывно, давая воду одновременно во все свои хозяйственные распределители, и только в периоды уменьшенной подачи воды в систему эти каналы работают по очереди, давая воду одновременно только в часть отходящих от них хозяйственных (колхозных или совхозных) распределителей.

Хозяйственные распределители, в зависимости от размещения культур севооборота, режима орошения и плана водопользования, работают или непрерывно, т. е. дают воду во все выходящие из них участковые распределители одновременно, или же последовательно (отдельными участками по длине), давая воду только в часть распределителей по известной очереди. Участковые распределители обычно дают воду одновременно только в часть связанных с ними (временных) оросителей, последовательно переходя от одних к другим. Временные оросители работают обычно по очереди, давая воду одновременно не во все, а только в часть питаемых ими поливных борозд.

В зависимости от сочетания вышеуказанных способов распределения воды в составляющих оросительную систему каналах могут быть различные виды водооборота (табл. 24).

Таблица 24

Способ распределения воды в каналах					Схема водооборота в системе в целом
магистральный канал	межхозяйственный распределитель	хозяйственный распределитель	участковый распределитель	временный ороситель	
Н	Н	Н, О	О	О	Н, Н, Н, О, О Н, Н, О, О, О
	О	Н, О	О	О	Н, О, Н, О, О Н, О, О, О, О
О	О	Н, О	О	О	О, О, Н, О, О О, О, О, О, О
	Н	Н, О	О	О	О, Н, Н, О, О О, Н, О, О, О

В таблице 24 индексом Н обозначено непрерывное распределение воды по каналу — одновременно во все выходящие из него каналы, а индексом О — очередное распределение воды на канале — только в часть выходящих из него каналов.

Сочетание пяти индексов характеризует способ распределения воды в системе: индекс на первом месте относится к главному (магистральному) каналу или его ветви, на втором — к межхозяйственному распределителю, на третьем — к хозяйственному, на четвертом — к участковому и на пятом — к временному оросителю. Если участковые распределители как самостоятельные каналы отсутствуют и их функции несет хозяйственный распределитель, в этом случае формула водораспределения становится четырехчленной.

При нормальной водообеспеченности системы на хозяйственных и межхозяйственных распределителях и на магистральном канале применяется непрерывное распределение воды, а на участковых распределителях и временных оросителях — очередное.

При уменьшенной подаче воды в систему можно или снижать пропорционально расходы воды во всех межхозяйственных и хозяйственных распределителях, не изменяя продолжительности их работы, или же уменьшать число одновременно получающих воду распределителей, оставляя нормальный

их расход и сокращая продолжительность работы каждого, т. е. переходить от одновременного непрерывного к очередному распределению воды. Выбор того или другого из этих способов зависит от степени уменьшения расхода воды в канале против нормального. При непрерывном распределении, при малых расходах воды увеличиваются ее потери, может сильно опускаться горизонт воды в каналах, что требует большого числа подпорных сооружений; но зато легче распределение воды в системе и лучше условия для планового ведения полива в каждом хозяйстве.

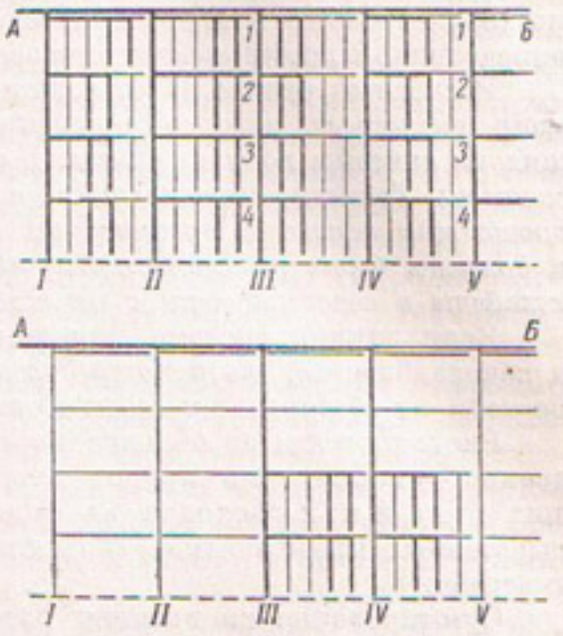


Рис. 108.

Поэтому при нормальной подаче воды в систему лучшей формой распределения воды является Н, Н, О,О; при значительно уменьшенной подаче — ниже 75% нормальной — водораспределение делается очередное, например О, Н, О, О, О или Н, О, О, О, О, в зависимости от характера системы, расходов воды и других местных условий. При распределении воды О, Н, О, О, О очередь существует и магистральном канале между межхозяйственными распределителями, на хозяйственных и участковых распределителях между временными оросителями и на этих последних между бороздами и т. д. Схемы распределения воды Н, Н, О, О и О, О, О, О в одной и той же системе показаны на рисунке 108. Здесь *АБ* — межхозяйственный распределитель; *I—V*— хозяйственные распределители; *1 — 4* — участковые распределители, снабжающие водой каждый по пяти временных оросителей; жирными линиями показаны одновременно работающие участки каналов. Распределение воды должно быть увязано с организацией хозяйства и с пропускной способностью оросительных каналов.

Способ распределения воды должен соответствовать нужному режиму орошения культур, наиболее своевременной и хорошей увязке поливов и обработки почвы с наименьшей затратой труда а также влиянию его на снижение уровня грунтовых вод на орошаемой площади, уменьшению фильтрационных потерь воды в каналах и сокращению общей длины работающих каналов на единицу площади.

В условиях социалистического планового хозяйства на всех системах должно проводиться нормированное плановое водопользование, даже при хорошей обеспеченности системы водой.

Плановое и нормированное водопользование при хорошей агротехнике на орошаемых землях является средством не только сбережения и рационального использования водных ресурсов, но и повышения плодородия орошаемых земель и недопущения заболачивания и засоления их.

РАСХОДЫ ВОДЫ БРУТТО И ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ. ГИДРОМОДУЛЬ

Пропускная способность оросительных каналов определяется расчетным расходом воды $Q_{брутто}$, равным расчетному расходу $Q_{нетто}$, деленному на расчетный коэффициент полезного действия системы данного канала (η). Расход воды $Q_{брутто}$ также равен расходу воды $Q_{нетто}$ плюс потери воды S.

Режим работы и расход воды в магистральном канале системы в каждый момент времени определяются суммой расходов воды одновременно получающих из него воду межхозяйственных каналов в соответствии с планом водопользования и коэффициентом полезного действия его.

Режим работы и расход воды в каждом межхозяйственном канале определяются суммой расходов воды одновременно получающих из него воду хозяйственных распределителей, согласно плану водопользования и коэффициенту полезного действия этого канала.

Режим работы и расход воды в каждом хозяйственном отводе определяются планом водопользования внутри данного хозяйства и коэффициентом полезного использования воды в нем.

При установлении режима работы системы в эксплуатационном плане водопользования на каждый год и при проведении его нужно учитывать плановые, организационно-хозяйственные, климатические, агротехнические и другие условия каждого хозяйства, обслуживаемого этой системой (или каналом) на каждый данный год.

Устанавливая режим работы системы (или канала) при проектировании, расчет его надо вести на определенные (перспективные) организационно-хозяйственные и агротехнические условия и на климатические условия определенной *расчетной* степени засушливости.

Расчетный режим работы системы определяется суммированием во времени расчетных режимов орошения (и обводнения) одновременно получающих из системы воду хозяйств. *Для этого вместе с проектом оросительной системы должен составляться план сельскохозяйственного использования орошаемых земель и организации орошаемых хозяйств на данной системе и должны быть установлены проектные режимы орошения для отдельных хозяйств в соответствии с их особенностями.*

Если данная система, кроме орошения, дает воду и для обводнения и водоснабжения, *то к потребностям в воде на орошение прибавляются расходы на обводнение и водоснабжение по соответствующим периодам года.*

Расходы воды на обводнение слагаются из расходов на создание водоемов — наполнение прудов, естественных котловин, лиманов, пересохших озер и пр.; расходов на водоснабжение населения, животных, промышленных предприятий, сельского хозяйства и для полива подсобных участков.

Суммирование во времени расчетных режимов расхода воды одновременно работающих хозяйственных распределителей (подающих воду на земли каждого хозяйства в системе) делается графически, путем *построения графика расчетного режима работы всей системы и ее отдельных узлов.* График режима расходов воды системы характеризует динамику ее работы и мощность. Площадь этого графика выражает общее количество воды, подаваемой системой на обслуживаемые ею земли за оросительный период. Это количество, деленное на величину орошаемой площади, дает значение общей оросительной нормы системы нетто, знание которой важно для мелиоративного контроля за действием систем.

Режим орошения каждого хозяйства и всей системы при проектировании должен быть проанализирован для годов разной степени засушливости, и за *расчетный* при проектировании должен быть принят режим, отвечающий засушливости определенной повторяемости, или обеспеченности, при расчете на которую орошение наиболее эффективно и гарантирует получение определенной (гарантированной) продукции требуемых по плану сельскохозяйственных культур; чаще это среднезасушливый год, а в некоторых районах — средний (а иногда и засушливый) год.

Проектный режим орошения системы должен устанавливаться с необходимой перспективностью, т. е. с учетом дальнейшего роста урожаев под влиянием повышения агротехники, возможного расширения состава культур, уменьшения потерь воды, улучшения техники полива и повышения эффективности использования оросительной воды.

График режима расходов воды в оросительной системе должен быть укомплектован. При этом должно быть обращено внимание на возможно лучшее согласование режима орошения *с режимом водоисточника*, так как при этом условии можно оросить бóльшую площадь из данного водоисточника без регулирования стока его. Режим орошения с режимом водоисточника может быть согласован путем изменения определяющих его факторов, только в той мере, в какой это допустимо по агрономическим и хозяйственным условиям.

При укомплектовании графика режима расходов воды в системе очень важно проанализировать вопрос о возможности снижения максимальных расходов воды в системе, так как это позволяет уменьшить пропускную способность магистрального канала. В целях уменьшения пропускной способ-

ности каналов и недопущения бесполезных сбросов воды поливы должны производиться круглосуточно, и потому расходы воды в каналах должны определяться, исходя из 24-часовой работы в сутки.

Для определения пропускной способности каналов в качестве расчетного расхода воды надо брать наибольшее значение расхода в канале, подаваемого по укомплектованному графику орошения в течение 20—25 суток, с учетом к. п. д. на рассматриваемом участке канала (*т. е. расход воды брутто*).

При составлении проектного задания и технического проекта орошения новых районов, когда нет еще конкретных проектов организации отдельных хозяйств и не установлены режимы орошения для каждого из них, для расчета расходов воды и пропускной способности каналов применяется следующий метод. Площадь, орошаемая данной системой или каналом, подразделяется на отдельные массивы (мелиоративные районы), более или менее однородные по своим хозяйственным (характер хозяйства, состав культур, севообороты, агротехника) и природным (климат, почвы, гидрогеология) и мелиоративным условиям, и для каждого такого массива устанавливаются типы хозяйств и необходимые режимы орошения, отвечающие этим условиям. Суммирование во времени расчетных режимов орошения отдельных земельных массивов, составляющих всю орошаемую площадь, позволит получить расчетный режим расходов воды во всей системе. Чем детальнее сделано подразделение всей орошаемой площади на отдельные однородные по своим условиям массивы, с составлением нужных для них режимов орошения, тем точнее будет установлен общий проектный режим орошения всей системы, отвечающий ее условиям.

В рассматриваемых случаях расчетный режим расходов воды на орошение каждого идентичного по своим условиям земельного массива устанавливается *в виде графика удельных расходов воды, отнесенных на единицу орошаемой площади и изменяющихся в течение оросительного периода, или так называемого графика гидромодуля орошения*. Ординаты графика гидромодуля каждого массива получаются суммированием величин $\frac{\alpha' m'}{t'}$ для одновременно поливаемых культур на этом массиве. Суммируя во времени ординаты графиков гидромодуля для каждого одновременно орошаемого массива с учетом удельного веса этого массива (представляющего соотношение орошаемых площадей данного массива и всей системы $\omega_1 : \Omega$), получаем график гидромодуля всей системы.

Значение гидромодуля орошаемого массива в определенный период времени (q_1) определяется так:

$$q_1 = \frac{\alpha_1 m_1}{t_1} = \sum \frac{\alpha' m'}{t'} .$$

Значение же гидромодуля всей системы (q_0) в этот период будет равно:

$$q_0 = \sum \frac{\alpha_1 m_1}{t_1} \cdot \frac{\omega_1}{\Omega} = \frac{\alpha_0 m_0}{t_0} .$$

Если вся данная система однородна по своим природным и хозяйственным условиям (составу орошаемых культур и режимам орошения) и представляет собой единый агромелиоративный массив, т. е. можно принять $\omega_1 = \Omega$, то

$$q_0 = q_1 = \sum \frac{\alpha' m'}{t'} = \frac{\alpha_0 m_0}{t_0} .$$

Зная необходимые и допустимые продолжительность и календарные сроки поливов и площади каждой орошаемой культуры на данном массиве и в системе и пользуясь вышеуказанными соотношениями, нетрудно установить нужные расчетные величины α_1 и α_0; m_1 и m_0; t_1 и t_0 для каждого массива и всей системы.

В приведенных выше выражениях приняты обозначения, данные в таблице 25.

Таблица 25

Показатели	На всей системе	На каждом орошаемом массиве	Отдельной культуры на каждом массиве
Одновременно поливаемая площадь в долях от всей площади системы или массива	α_0	α_1	α'
Время полива этой площади или культуры	t_0	t_1	t'
Средняя норма полива этой площади или культуры	m_0	m_1	m'

Площадь графика гидромодуля для отдельного массива или всей системы дает величину оросительной нормы этого массива или системы.

Расход воды (брутто) Q_1 любого проводящего канала в какой-либо период времени, выраженный через значение гидромодуля системы, может быть написан так:

$$Q_1 = \frac{Q_0\omega_1}{\eta_1\Omega}\,\tilde{\xi}_1 = \frac{q_0\omega_1}{\eta_1}\,\tilde{\xi}_1,$$

где q_0 — значение гидромодуля системы в рассматриваемый период;

ω_1 — орошаемая площадь данного канала;

$\tilde{\xi}_1$ — значение коэффициента водооборота на данном канале в рассматриваемый период, равное $\tilde{\xi} = \frac{\alpha_1 m_1 t_0}{\alpha_0 m_0 t_1}$ и позволяющее учитывать особенности орошения и водопользования на этом канале;

η_1 — значение к. п. д. данного канала.

График гидромодуля каждого орошаемого массива устанавливается на основании изучения требуемого состава культур, севооборота, поливных режимов каждой культуры для данного массива, его почвенных, агротехнических, хозяйственных условий, от которых зависят нормы, сроки, число поливов, длина поливных периодов и пр.

График гидромодуля всей системы получается в результате суммирования во времени графиков гидромодуля всех составляющих систему земельных массивов; таким образом, он определяется необходимыми режимами орошения (или обводнения) отдельных составляющих систему массивов, а не наоборот, и может применяться только для тех условий, для которых он получен.

Указанный метод не избавляет от необходимости составления проекта организации хозяйств на орошаемых землях и режимов орошения каждого хозяйства и уточнения на этой основе расчета пропускной способности каналов при окончательном рабочем проектировании, и особенно при эксплуатации; однако он позволяет при проектировании орошения новых районов учитывать при расчете пропускной способности каналов характер последующего сельскохозяйственного использования орошаемых земель, свойства орошаемых почв и потребности орошаемых культур в воде, отвечающие определенным местным хозяйственным, агротехническим и климатическим условиям; в этом большая заслуга нашей мелиоративной науки по сравнению с наукой и практикой зарубежных стран.

Однако пользоваться величиной гидромодуля механически, без тщательного обоснования ее для конкретных местных условий, и обобщать эту величину для всех условий совершенно недопустимо. Нельзя также смешивать проектные расчетные значения гидромодуля с эксплуатационным режимом орошения, сильно изменяющимся по годам, в зависимости от климатических и хозяйственных условий каждого года.

Так как по ряду причин (изменение состава культур, кратковременные пики расходов воды по графику режима орошения, изменение площадей орошения на отдельных каналах) иногда могут потребоваться временно расходы воды, превышающие расчетный расход воды в канале, в каналах до-

пускается в отдельные периоды и на короткий срок определенное форсирование или увеличение расхода воды против нормального.

Чем лучше и перспективнее рассчитаны режимы орошения на данной системе, чем лучше поставлена эксплуатация системы, тем меньше потребность в форсировании расхода воды в каналах. Форсирование расхода воды в каналах сверх нормального увеличивает размеры и стоимость каналов, повышает потери воды и потому может допускаться только в случаях крайней необходимости и действительной обоснованности. Величина коэффициента форсирования для различных каналов колеблется от 1,1 до 1,3.

Форсировка на магистральном канале может обусловливаться подключением к нему новых неорошаемых ранее площадей, введением новых, более требовательных к воде культур и другими условиями. Однако нужно путем повышения к. п. д. и правильной эксплуатацией системы компенсировать потребное увеличение расходов воды. Коэффициент форсировки магистрального канала принимается от 1,10 до 1,20.

В межхозяйственных распределителях — колхозных и совхозных — и участковых распределителях могут требоваться различные расходы воды в силу изменения размещения культур, условий водооборота, организации труда и работы сельскохозяйственных машин, поэтому коэффициент форсировки в этих каналах допускается до 1,20÷1,30. Расход воды во временных оросителях рассчитывается по наиболее напряженному поливу культур севооборота, и поэтому форсировка их не допускается.

Каналы должны быть рассчитаны на пропуск не только нормальных расходов воды брутто, но и форсированных, а также и минимальных (проверка скорости, высоты горизонтов воды и др.), определяемых по графику режима работы канала.

Поперечное сечение каждого канала рассчитывается на расход воды брутто, т. е. с учетом коэффициента полезного действия его. При большой длине оросительных (особенно магистральных) каналов приходится учитывать, что на этой длине в канал могут поступать выклинивающиеся подземные воды; эти воды могут компенсировать часть потребления воды и снижать потери. В этом случае

$$Q_{бр} = Q_{нт} + S - lq,$$

где l — длина канала, на которой имеется приток воды, в *км*;

q — приток воды в канал на 1 *км* его длины.

При определении расхода воды совокупностью каналов должны суммироваться все полезные расходы, подаваемые этими каналами, и все потери воды в допускаемых минимальных размерах на длине как данного канала, так и отходящих от него.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Вследствие несовершенного устройства или плохой эксплуатации в существующих оросительных системах имеют место более или менее значительные потери воды, в силу чего не вся вода, забираемая из источника орошения, поступает на поля. А при неправильном орошении (преувеличенные поливные нормы, плохая техника полива) и не вся вода, поступившая на поля, полезно используется на создание урожая, а часть ее теряется на фильтрацию или сбросы. Вследствие этого фактическое значение к. п. д. во многих оросительных системах оказывается очень низким, опускаясь в ряде случаев до 0,40—0,50. Подобное положение недопустимо.

Потери воды в системах очень вредны, так как: 1) вызывают увеличение сечения каналов; 2) сокращают полезное потребление воды и возможные размеры орошаемых площадей; 3) являются одним из главных источников повышения уровня грунтовых вод на орошаемой площади, так как бóльшая часть потерь происходит за счет фильтрации воды в грунт. Поэтому борьба с потерями воды, борьба за повышение к. п. д. оросительных систем является одной из основных задач правильной постановки орошения.

Потери воды и низкий к. п. д. системы — результат главным образом плохой эксплуатации оросительных систем. Коэффициент полезного использования воды на полях можно довести до 1 ; к. п. д. каналов можно значи-

тельно повысить эксплуатационными мерами и применением антифильтрационных одежд.

Значение к. п. д. межхозяйственных каналов должно быть не меньше 0,70—0,75, внутрихозяйственных — 0,75—0,80, а полезное использование воды на полях не менее 0,85—0,90.

Коэффициент полезного использования оросительной воды в системе η_0, представляющий отношение полезного водопотребления культур на полях (необходимого и достаточного для получения требуемой урожайности), к количеству воды, забираемой для этого из источника орошения, слагается из коэффициентов полезного действия системы оросительных каналов η и полезного использования воды на полях $\eta_п$, т. е. $\eta_0 = \eta\eta_п$. Коэффициент η — отношение количества воды, подаваемой каналами на орошаемые поля, к количеству воды, забираемой из источника орошения; коэффициент $\eta_п$ — отношение полезного водопотребления растений на полях к количеству воды, поступившей на поле.

Выше, в главах о режиме орошения и технике полива, было показано, что применением правильных поливных норм, надлежащей техникой полива и поддержанием комковатой структуры орошаемой почвы можно вести поливы без сброса и без просачивания воды в глубокие слои почвы и таким образом иметь значение коэффициента $\eta_п$ близким к 1.

Что касается к. п. д. оросительных каналов η, то он также может быть значительно повышен до значений, близких к единице, путем борьбы с потерями воды в каналах (на фильтрацию и испарение), что достигается хорошим устройством каналов, правильной организацией водопользования и эксплуатации каналов и применением антифильтрационных одежд.

Коэффициент полезного использования воды в системе:

$$\eta_0 = \frac{\omega E'}{V_{бр}} = \eta\eta_п,$$

где ω — орошаемая площадь системы;

E' — полезное водопотребление растений на единицу площади (минус используемые естественные ресурсы влаги) за рассматриваемый период;

$V_{бр}$ — водозабор в голове системы за тот же период.

Для повышения коэффициента полезного использования воды в системе η_0 нужно всемерно приближать размеры водозабора $V_{бр}$ в систему к размерам действительного полезного потребления воды на орошение $\omega E'$ данной площади путем борьбы с потерями воды в оросительной сети (повышение η) и на полях (повышение $\eta_п$).

Коэффициент полезного действия оросительной системы η представляет отношение количества воды, поданной на поля $V_{нт}$, к количеству воды, поступившей в голове системы $V_{бр}$ за определенный период T, и равен:

$$\eta = \frac{V_{нт}}{V_{бр}} = \frac{Q_{нт}\,t}{Q_{бр}\,T} = \left(1 - \frac{\sum \frac{\sigma l Q}{100}}{Q_{бр}}\right)\frac{t}{T},$$

где $Q_{бр}$ — расход воды, забираемый из источника орошения в голове системы;

$Q_{нт}$ — сумма расходов воды, подаваемых на поля;

$Q_{бр}$ — равен $Q_{нт}$ плюс сумма всех потерь воды от головы системы до мест потребления:

$$Q_{бр} = Q_{нт} + \sum \frac{\sigma l Q}{100};$$

T — продолжительность работы магистрального канала расходом $Q_{бр}$;

t — продолжительность производства поливов, т. е. подачи воды на поля общим расходом $Q_{нт}$ (в течение периода T); $Q_{нт}t = \sum Q't'$;

σ — процент потерь воды в соответствующих каналах на 1 *км* длины;

l — длина работающих каналов, в *км*;

Q — расходы воды в соответствующих работающих каналах.

Для увеличения значения к. п. д. η необходимо: 1) подавать воду в систему и поливать без перерывов, для чего следует вводить круглосуточные поливы и не допускать сбросов; 2) сокращать потери воды во всех одновременно работающих каналах.

При правильной организации водопользования, недопущении потерь воды на полях ($\eta_п \approx 1$) *и введении круглосуточных поливов* ($T = t$) *значение к. п. д. системы будет зависеть от потерь воды в одновременно работающих каналах.*

Эти потери зависят от длины, размеров и расхода воды работающих в данный момент каналов. Чем компактнее расположены одновременно работающие каналы, чем меньше холостые пробеги воды и меньше длина одновременно работающих каналов, чем более полным расходом воды они работают, тем больше коэффициент полезного действия системы. Наиболее невыгодный случай будет тогда, когда подача воды при работе системы неполным (малым) расходом распылена по разным удаленным частям системы.

Поэтому процент потерь воды в каналах особенно возрастает при зимнем водоснабжении поселков из распределительных каналов, когда полезный расход невелик, а наполнение каналов должно быть близким к нормальному. Зимние потери воды из каналов составляют большую долю всех годовых потерь воды в оросительных системах и являются одной из серьезных причин повышения уровня грунтовых вод на орошаемых землях.

Значительно снижается к. п. д. оросительной системы при распределении воды малыми токами по всей площади (без организации водооборота) в периоды уменьшенной подачи воды в систему.

Введение планового водопользования позволяет значительно повышать к. п. д. оросительных систем. По данным САНИИРИ, ВНИИГиМ и других учреждений, введение планового водопользования повышает к.п.д. систем на 20—40% и позволяет соответственно снизить водоподачу в систему.

Наибольшие потери в каналах приходятся на фильтрацию воды в дно и откосы канала; потери на испарение и эксплуатационные (на утечки, прорывы и др.) составляют вместе около 2—3% расхода воды в канале.

Величина потерь воды в каналах зависит от поперечного сечения и глубины наполнения канала водой, от характера грунта, от степени прерывистости работы канала и от постановки эксплуатации системы.

В разных частях оросительной системы потери воды распределяются неравномерно. Особенно значительны потери воды в хозяйственной оросительной сети вследствие большой длины ее и прерывистости работы.

Значения к.п.д. каналов и расходы воды брутто необходимо определять для каждого периода работы каналов по графику режима орошения и распределения воды.

В условиях социалистического орошаемого хозяйства при плановом водопользовании и введении круглосуточных поливов (без сбросов), при небольшой густоте оросительной сети, более крупных поливных расходах, более компактном распределении воды по площади системы (так как культуры расположены крупными полями) имеются все возможности для получения высоких значений к.п.д. оросительных систем.

Потери воды в каналах на фильтрацию. Потери воды на фильтрацию рассмотрим: 1) в каналах, работающих периодически, короткими тактами, и 2) в каналах, работающих длительными тактами или непрерывно.

Каждый из этих случаев работы, в свою очередь, возможен в условиях глубокого залегания водоупора или грунтовых вод, не оказывающих подпора на фильтрационный поток, или же в условиях близкого залегания водоупора или безотточных грунтовых вод, создающих подпор фильтрационному потоку из канала.

При глубоком залегании грунтовых вод и при периодической работе канала короткими тактами фильтрационный поток из канала имеет градиент напора, близкий к единице — $I \simeq 1$. При неглубоком залегании безотточных грунтовых вод (или водоупора) и непрерывной или длительной работе канала происходит боковое растекание фильтрационного потока и градиент напора его меньше единицы — $I < 1$.

Рассмотрим сначала первый случай потерь воды — при периодической работе каналов и свободном бесподпорном движении фильтрационного потока.

Объем воды, просачивающейся в единицу времени в канале на 1 *м* длины его, равен (рис. 109):

$$w = k\left(b + 2vh\sqrt{1+\varphi^2}\right) м^3/сек,$$

где b — ширина канала по дну, в *м*;
φ — коэффициент откосов канала;
h — глубина наполнения канала, в *м*;
k — коэффициент фильтрации грунта канала, определяемый опытным путем в естественных условиях, т. е. с учетом естественного строения грунта, содержащегося в нем защемленного воздуха и верхнего заиленного слоя (пленки) на поверхности канала в *м/сек*;
v — коэффициент поправки на капиллярное боковое поглощение воды в откосы канала; $v = 1{,}1 - 1{,}4$, в зависимости от капиллярных свойств почвы.

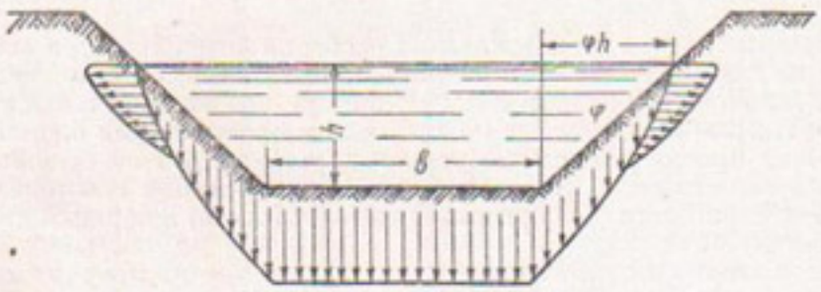


Рис. 109.

Обозначив $\frac{b}{h} = \alpha$, получим расход воды, теряемый на 1 *км* длины канала:

$$S = 1000\,w = 0{,}0116\,kh\left(\alpha + 2v\sqrt{1+\varphi^2}\right) м^3/сек,$$

где k — коэффициент фильтрации грунта, выраженный в *м/сут*.

Процент потерь воды на 1 *км* длины канала (по отношению к расходу воды в нем Q) равен:

$$\sigma = \frac{1000w}{Q}\,100\%.$$

Так как

$$Q = (\alpha + \varphi)\,h^2 v\ м^3/сек,$$

то

$$\sigma = \frac{1{,}16k}{vh}\left(\frac{\alpha + 2v\sqrt{1+\varphi^2}}{\alpha+\varphi}\right)\% \text{ на } 1\ км.$$

Это выражение показывает, что значение σ увеличивается с уменьшением скорости воды в канале; поэтому каналы, работающие в подпоре, имеют больший процент потерь.

Выражая h через $Q\left(h = \sqrt{\frac{Q}{(\alpha+\varphi)v}}\right)$, получим:

$$\sigma = \frac{1{,}16k}{\sqrt{Qv}}\left(\frac{\alpha + 2v\sqrt{1+\varphi^2}}{\sqrt{\alpha+\varphi}}\right)\% \text{ на } 1\ км,$$

где k выражено в *м/сут*, Q — в *м³/сек*, v — в *м/сек*, h — в *м*.

Из этих формул видно, что чем больше Q, тем меньше σ, т. е. *большие каналы теряют воды относительно меньше, чем малые каналы; это очень важное свойство фильтрационных потерь воды в каналах.*

Так как форма поперечного сечения канала влияет на величину потерь, то наивыгоднейшим в отношении уменьшения потерь будет сечение канала,

при котором они будут минимальными. Последнее получим при $\alpha = 2(\nu\sqrt{1+\varphi^2}-\varphi)$[1].

Если канал работает периодически и грунт не насыщен водой, то величина потерь изменяется во времени, постепенно уменьшаясь, так как коэффициент поглощения воды в почву во времени по мере насыщения почвы водой уменьшается. Согласно предыдущему, можно написать, что в какой-то момент времени t от начала пуска воды значение S будет равно:

$$S = \frac{0{,}0116 k_1 h}{t^{0,5}}\left(\alpha + 2\nu\sqrt{1+\varphi^2}\right) м^3/сек,$$

где k_1 — коэффициент, характеризующий скорость поглощения воды в данном грунте в первую единицу времени; значение его зависит от свойств грунта, влажности и других условий.

Все предыдущие формулы потерь относились к случаям свободной бесподпорной фильтрации.

Условия подпора фильтрационного потока уменьшают величину потерь воды из канала. Они создаются при близком залегании от дна канала водоупора или безотточных грунтовых вод. В этих случаях процесс фильтрации воды из канала проходит в три стадии.

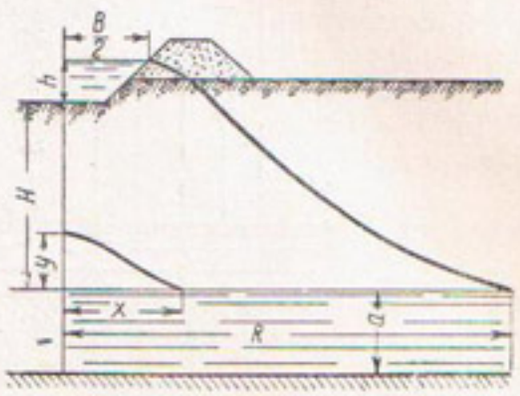


Рис. 110а.

Первая стадия. В течение времени t_1 происходит свободная фильтрация и фильтрационные воды достигают грунтовых вод (или, точнее, капиллярной каймы), причем это время

$$t_1 = \frac{\delta}{k}\left(H - h\ln\frac{H+h}{h}\right),$$

где δ — коэффициент свободной порозности грунта;
k — коэффициент фильтрации грунта;
h — глубина воды в канале;
H — глубина грунтовых вод.

Вторая стадия. После времени t_1, если свободный фильтрационный расход воды из канала S превышает возможный отток грунтовых вод, создаются условия подпора фильтрационного потока воды из канала и под полосой земли вдоль канала начинает образовываться бугор грунтовых вод в силу растекания фильтрационных вод и вытеснения ими части грунтовых вод.

Соотношение между высотой бугра и глубиной вытеснения фильтрационно-грунтовых вод под каналом определяется из зависимостей, изложенных дальше. Бугор грунтовых вод под каналом постепенно нарастает кверху (y) и растекается в стороны (x) (рис. 110 а). В момент, когда высота бугра $y = h_1$ и дальность растекания $x = R_0$, расход растекания в обе стороны равен:

$$Q_{h_1} = \frac{nkh_1}{R_0}(h_1 + a),$$

где a — активная мощность водоносного слоя (с поправкой на высоту капиллярной каймы); коэффициент $n = 2-1{,}5$; расход воды, идущий на нарастание бугра под каналом, в этот момент равен $S - Q_{h_1}$, где S — свободная фильтрация из канала.

Когда $S < Q_{h_1}$, нарастание бугра прекращается.

[1] Указанное выражение соответствует минимуму S при постоянной площади поперечного сечения $\omega = \text{const}$. Нахождение минимума S при $Q = \text{const}$, а также минимальных значений σ здесь не приводится.

Время подъема бугра грунтовых вод t_2 на высоту $h_1=H$ (рис. 110 а) может быть определено из соотношения:

$$t_2=\frac{C\delta R^2}{k\left(\frac{H}{2}+a\right)},$$

где коэффициент $C=0{,}15-0{,}11$; он уменьшается с увеличением отношения $\frac{a}{H}$.

Подъем грунтовых вод в скважинах, опущенных в подстилающий водоносный слой, в силу передачи гидродинамического давления распространяется значительно быстрее и дальше, чем в случае растекания в однородных грунтах.

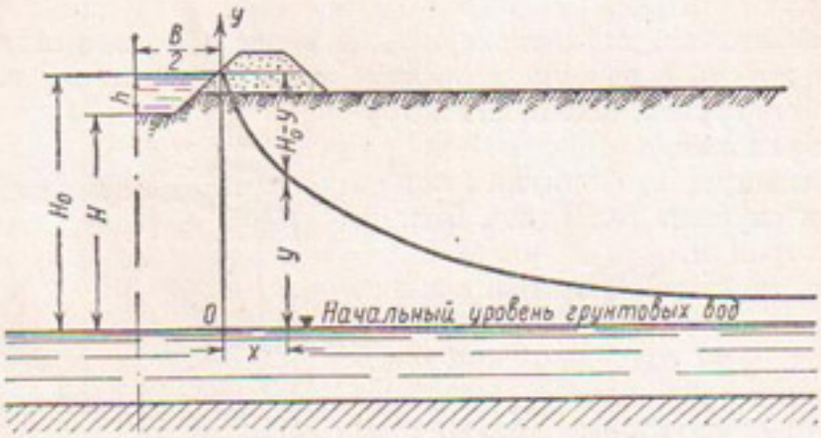


Рис. 110б.

Динамика подъема грунтовых вод в этом случае на разных расстояниях x от канала определяется (по П. И. Шипенко) следующим образом:

$$t=\beta\frac{\delta}{k}\varepsilon\left\{(\alpha x+H_0)\ln\frac{H_0}{H_0-y}-y\right\},$$

где t — время (в сутках), в течение которого грунтовая вода в скважине на расстоянии x *м* от канала поднимется на высоту y *м* над уровнем водоносного слоя;

k — коэффициент фильтрации покровного грунта, в *м/сут*;

β — коэффициент, зависящий от отношения $\alpha=\frac{k}{k_0}$, где k_0 — коэффициент фильтрации подстилающего водоносного слоя, в *м/сут*; коэффициент $\beta=0{,}75$ при $\alpha=1$ и $\beta=0{,}93$ при $\alpha=0{,}25$;

ε — коэффициент, равный отношению $\frac{2}{a}(1+\alpha)\,H_0$; если это отношение меньше единицы, то принимается $\varepsilon=1$;

$H_0=H+h$ и a — по приведенным обозначениям (рис. 110, б).

Третья стадия. Если бугор грунтовых вод поднимается до дна канала и смыкается с фильтрационным потоком из канала, образуется сплошной поток грунтовых вод с полным насыщением грунта и начинается третья стадия подпертой фильтрации, в течение которой фильтрационно-грунтовый поток будет растекаться в стороны от канала и расход фильтрации будет постепенно уменьшаться по мере растекания, т. е. увеличения R и снижения градиента напора $I=\frac{H+h}{R}$. Фильтрация из канала в условиях подпора значительно меньше, чем при свободной фильтрации, особенно при близком залегании безотточных грунтовых вод или водоупора.

Фильтрационный расход воды из канала в обе стороны в момент времени, когда дальность растекания достигает $R_1>R$, будет равен:

$Q_{R_1}=\frac{nk(H+h)}{R_1}(H+h+a)$ *м³/сек* на 1 *м* длины канала, где $n=2-1{,}5$.

Из этого выражения видно, что фильтрация из канала в третью стадию почти не зависит от расхода воды и размеров канала.

Время, в течение которого фильтрационно-грунтовый поток растекается на расстояние (R_1-R), может быть приближенно определено из следующего выражения:

$$t_3=\frac{\delta(R_1^2-R^2)}{nk(H+h+\gamma a)},$$

где δ — объемный коэффициент недостатка насыщения грунта водой, а коэффициент γ зависит от активной мощности водоносного слоя (a); с увеличением мощности слоя a коэффициент γ уменьшается от 2 до 0,5.

Из приведенных выражений видно, что при *залегании под каналом водоносного слоя процесс подъема грунтовых вод на прилежащих к каналу землях происходит значительно быстрее, чем при его отсутствии.* По мере растекания фильтрационных вод и уменьшения градиента их напора влияние каналов на подъем грунтовых вод постепенно затухает.

Подпор фильтрационного потока из канала (при близком залегании грунтовых вод) снижает фильтрационный расход, причем: 1) этот расход уменьшается с уменьшением глубины H и мощности подстилающего слоя грунтовых вод a; 2) фильтрационный расход воды из канала в третью стадию зависит главным образом от условий залегания и режима грунтовых вод под каналом: он постепенно снижается во времени по мере растекания фильтрационного потока, т. е. увеличения R. Если подстилающие орошаемую площадь грунтовые воды имеют отток (в какой-либо водоприемник), то время нарастания бугра грунтовых вод под каналом замедляется; если отток превышает фильтрацию из канала S, то грунтовые воды не поднимаются до дна канала и третья стадия фильтрации не имеет места.

На величину фильтрационных потерь воды из каналов влияют также следующие факторы.

Уменьшение скорости течения воды в каналах и увеличение глубины воды ведет к увеличению потерь в каналах, поэтому заросшие каналы, с малой скоростью течения, теряют воды больше чистых каналов. С повышением температуры воды возрастает скорость фильтрации и увеличиваются потери воды на фильтрацию.

Знание главнейших факторов, от которых зависит величина фильтрационных потерь воды из каналов, необходимо для того, чтобы при проектировании и эксплуатации каналов давать такие устройство и режим работы каналов, которые обусловливали бы минимальные потери воды из них.

Данные непосредственных измерений фактических потерь воды на большом числе оросительных каналов разной пропускной способности показывают, что эти потери могут достигать больших величин (табл. 26).

Таблица 26

Расход воды в канале (в м³/сек)	Потери в % от расхода воды на 1 км	Расход воды в канале (в м³/сек)	Потери в % от расхода воды на 1 км
0,03	16	2,00—3,00	2,5—1,8
0,03—0,10	16—12	3,00—5,00	1,8—1,1
0,10—0,15	12—11	5,00—10,0	1,1—0,6
0,15—0,20	11—9	10,0—20,0	0,6—0,5
0,20—0,30	9—7,5	20,0—30,0	0,5—0,32
0,30—0,50	7,5—6	30,0—50,0	0,32—0,20
0,50—1,00	6—4	50,0—100,0	0,20—0,15
1,00—1,50	4—3	100,0—200,0	0,15—0,05
1,50—2,00	3—2,5	200,0—300,0	0,05—0,02

Сделанная нами обработка фактических данных о потерях воды в большом числе каналов различной пропускной способности позволила установить следующую зависимость величины потерь воды σ (в процентах от расхода воды на 1 *км* длины канала) от расхода воды в канале Q (в *м³/сек*) и проницаемости грунтов:

$$\sigma = \frac{A}{Q^m},$$

где коэффициент A зависит главным образом от свойств грунта.

Ниже приведены значения σ (в процентах), полученные на основании опытных данных для грунтов разной водопроницаемости, по нашим исследованиям и позднее по наблюдениям САНИИРИ (на каналах в Средней Азии).

Каналы в грунтах	По данным автора	По данным САНИИРИ
Легких[1]	$\frac{3,4}{Q^{0,5}}$	$\frac{2,85}{Q^{0,5}} \div \frac{3,5}{Q^{0,5}}$
Средних	$\frac{1,9}{Q^{0,4}}$	$\frac{1,87}{Q^{0,5}} \div \frac{2,3}{Q^{0,5}}$
Тяжелых[2]	$\frac{0,7}{Q^{0,3}}$	$\frac{1,0}{Q^{0,5}} \div \frac{1,3}{Q^{0,5}}$

В приведенных формулах величины, стоящие в числителе, являются кратными значениям коэффициента фильтрации грунтов каналов; при наличии илистой пленки в канале эти величины снижаются. Эти формулы не являются нормативными: они отвечают фактическим условиям состояния, содержания и эксплуатации большинства каналов, часто весьма несовершенным; при хорошем содержании каналов значения величин, стоящих в числителе, могут быть снижены.

Приняв, в соответствии с изложенным выше, общее выражение зависимости процента потерь от расхода воды в канале и свойств грунта в виде $\sigma = \frac{A}{Q^m}$, где Q — расход воды в канале нетто, из условия $dQ_x = Q_x \frac{A dx}{100\, Q_x^m}$ получим такое уравнение связи между расходами воды в канале в верхнем $Q_{бр}$ и нижнем $Q_{нт}$ сечениях его на расстоянии l *км*:

$$Q_{бр}^m - Q_{нт}^m = \frac{mAl}{100}.$$

Из этого уравнения получим:

$$S = Q_{бр} - Q_{нт} = Q_{нт} \left\{ \left(1 + \frac{m\sigma l}{100} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right\}.$$

При $m = 0,5$ $S = Q_{нт} \frac{\sigma l}{100} \left(1 + \frac{\sigma l}{400} \right)$.

При небольшой длине l величина $S \approx Q_{нт} \frac{\sigma l}{100}$.

Приведем здесь некоторые другие имеющиеся формулы фильтрационных потерь воды в каналах.

В. В. Ведерников (1934 г.) для случая глубокого залегания грунтовых вод дает такую формулу потерь воды на 1 *км* длины канала:

$$S = 0,0116\, k \left(B + 2 \frac{K}{K_1} h \right) м^3/сек,$$

где k — коэффициент фильтрации грунта, в *м/сут*;
B — ширина зеркала воды, в *м*;
h — глубина воды, в *м*;
K и K_1 — полные эллиптические интегралы 1-го рода; отношение их $2 \frac{K}{K_1}$ определяется по особому, даваемому автором графику.

Н. Н. Павловский дает следующую формулу для учета фильтрационных потерь (без подпора) в каналах криволинейного сечения, близкого к трапецеидальному:

$$S = 0,0116\, k (B + 2h)\ м^3/сек \text{ на } 1\ км \text{ длины},$$

где k — коэффициент фильтрации грунта, в *м/сут*;
B — ширина канала поверху, в *м*;
h — глубина воды в канале, в *м*.

---

[1] Потери воды σ в крупногалечниковых грунтах могут доходить до $\frac{10}{\sqrt{Q}} \div \frac{12}{\sqrt{Q}}$% (по данным Киргизского филиала Академии наук СССР). *Прим. автора.*

[2] Нужно отметить, что эти формулы для малых расходов воды в канале (меньше 0,05 $м^3/сек$) недостаточно точны. *Прим. автора.*

С. Ф. Аверьянов на основании исследований, проводившихся на кафедре мелиорации МИИВХ и в Секции по научной разработке водохозяйственных проблем Академии наук СССР, получил следующие формулы для определения фильтрационных потерь воды из каналов.

При свободной фильтрации. Фильтрация в момент t от начала работы канала:

$$S_\Phi = \overline{S}_\Phi \left(1 + \frac{0{,}6\,b}{\sqrt{t}}\right),$$

где

$$\overline{S}_\Phi = k_\text{в}\lambda_1 (B + 2h_0);\ \lambda_1 = 1 + \frac{H_\text{к}}{2B};$$

$$k_\text{в} = k_\Phi \left(1 - \frac{p}{m - w_0}\right)^{3{,}5};\ b = \frac{\sqrt{1{,}5h_0 + w_1 H_\text{к}}}{k_\text{в}};$$

S_Φ — фильтрационный расход воды при установившейся свободной фильтрации;
t — время от начала работы канала, в сутках;
$H_\text{к}$ — максимальная высота капиллярного поднятия воды в данном грунте, в *м*;
B — ширина по урезу воды в канале, в *м*;
h_0 — глубина воды в канале, в *м*;
m — порозность грунта, в процентах от объема;
w_1 — полная влагоемкость грунта, в процентах от объема;
w_0 — минимальная влагоемкость грунта, в процентах от объема;
$p = (m - w_1)$ — содержание защемленного воздуха, в процентах от объема;
k_Φ — коэффициент фильтрации грунта при полном насыщении его водой, в *м/сут*;
$k_\text{в}$ — коэффициент водопроницаемости с учетом защемленного воздуха;
b — коэффициент в формуле впитывания, определяемый по приведенной выше формуле.

Суммарные потери за время работы канала t суток равны:

$$W = \overline{S}_\Phi t \left(1 + 1{,}2\,\frac{b}{\sqrt{t}}\right) = \overline{S}_\Phi (t + 1{,}2b\sqrt{t}).$$

При подпертой фильтрации. Фильтрация в момент времени t от начала работы канала:

$$S_\Phi = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (H_0 - T_0)\sqrt{kTm\beta} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}},$$

где k — коэффициент фильтрации, в *м/сут*;
T — средняя мощность подстилающего потока грунтовых вод;
$(H_0 - T_0)$ — превышение горизонта воды в канале над начальной поверхностью грунтовых вод в створе канала;
β — коэффициент, учитывающий ширину канала, близкий к единице.

Суммарная величина потерь при подпертой фильтрации за время t равна:

$$W = \frac{4}{\sqrt{\pi}} (H_0 - T_0)\sqrt{kTm}\sqrt{t}.$$

Условия подпертой фильтрации создаются в том случае, если потери при свободной фильтрации превышают возможный отток и испарение грунтовых вод.

Если $(H_0 - T_0) < 0{,}53\,\frac{\overline{S}_\Phi b}{\sqrt{kTm}}$, то с самого начала устанавливается режим подпертой фильтрации. В условиях подпора отток (и испарение) грунтовых вод является минимальным значением потерь при установившейся фильтрации.

Потери воды в каналах на испарение. Кроме потерь воды на фильтрацию, в каналах происходят потери воды на испарение с водной поверхности каналов. Потери на испарение на 1 *км* длины канала составляют:

$$E = 0{,}0116he\,(\alpha + 2\varphi)\ м^3/сек$$

и

$$\varepsilon = \frac{1{,}16e\,(\alpha + 2\varphi)}{(\alpha + \varphi)\,h}\,\%\ \text{от расхода канала},$$

где e — слой испарения, в *м/сут*;
$\alpha = \frac{b}{h}$ — отношение ширины к глубине воды в канале;
φ — заложение откосов;
h — глубина воды в канале, в *м*.

Суточная интенсивность испарения в жаркие дни доходит до $e=20$ *мм*. Потери на испарение с водной поверхности E обычно невелики по сравнению с потерями на фильтрацию S.

Общие потери воды в канале на единицу длины равны сумме потерь на фильтрацию и на испарение:

$$S_{об}=S+E=0{,}0116h\{(\alpha+2\gamma\sqrt{1+\varphi^2})k+(\alpha+2\varphi)e\}\ м^3/сек.$$

Наряду с испарением с водной поверхности канала при близком залегании грунтовых вод могут также испаряться фильтрационно-грунтовые воды вдоль канала на полосе такой ширины, на которой грунтовые воды находятся выше 2,5—3 *м* от поверхности. Это испарение снижает грунтовые воды вдоль канала и соответственно повышает фильтрационный расход воды.

Помимо потерь воды на фильтрацию и испарение в оросительных системах, вода теряется вследствие утечки воды в сооружениях, прорыва дамб, сбросов воды и т. п. Правильной эксплуатацией канала все эти потери должны быть устранены.

БОРЬБА С ПОТЕРЯМИ ВОДЫ В КАНАЛАХ

Потери воды в оросительных каналах снижают к. п. д. оросительных систем, увеличивают водозабор и способствуют питанию грунтовых вод на орошаемых землях. Поэтому на оросительных системах необходимо принимать все меры к уменьшению потерь воды в каналах. Если, например, для определенного канала длиной l установлено минимально допустимое значение к. п. д., равное η_0, то потери воды на длине этого канала должны составлять не больше $100\frac{1-\eta_0}{\eta_0}$ от расхода воды в канале нетто $\left(\frac{\sigma l}{100}\leqslant\frac{1-\eta_0}{\eta_0}\right)$, откуда и должны быть установлены допустимые размеры потерь воды σ на единицу длины канала.

Мероприятия по борьбе с потерями воды в каналах слагаются из строительных и эксплуатационных.

Строительные меры по уменьшению фильтрации воды из каналов включают в себя: а) устройство сечения и профиля каналов, дающих минимум потерь; б) уменьшение фильтрационных свойств грунта ложа каналов; в) устройство водонепроницаемых экранов и антифильтрационных одежд; г) применение закрытых систем орошения.

К главнейшим эксплуатационным мерам борьбы с потерями воды относятся следующие: а) плановое водопользование; б) своевременный ремонт и очистка каналов от зарастания (выжигание, скашивание, химические способы борьбы); в) рыхление растрескавшейся поверхности канала; г) сокращение излишней протяженности внутрихозяйственной сети и установление наиболее целесообразного режима работы каналов; д) недопущение излишней форсировки каналов и работы их с большим подпором и со сбросами.

Плановое водопользование позволяет установить такой режим работы каналов (непрерывная подача или работа тактами) и такое сочетание одновременно работающих каналов, при которых суммарная фильтрация воды будет наименьшей.

Проектирование сечений каналов, дающих минимум фильтрации, требует определенного соотношения $\alpha=\frac{b}{h}$.

Мероприятия по уменьшению фильтрационных свойств грунта каналов сводятся к следующим. Вода в грунте фильтрует главным образом в той части пор, которая не занята так называемой связанной водой, адсорбированной частицами грунта (активная пористость). Одним из возможных средств уменьшения фильтрационных свойств грунта является снижение активной пористости грунта, для чего необходимо или уменьшение расстояний между твердыми частицами грунта, или заполнение крупных пор мельчайшими диспергированными частицами

данного грунта или другим водонепроницаемым материалом. Можно указать на следующие мероприятия по уменьшению фильтрации воды через грунт: рыхление и трамбование грунта; уплотнение и укатка грунта, взрывной способ выполнения каналов; кольматация канала мельчайшими наносами; диспергация грунта поверхности каналов: а) солонцеванием, б) биологическим оглеением; нефтевание, битумизация, силикатирование.

Хорошим фактором, уменьшающим фильтрацию воды, является наличие в грунте прослоек различной скважности, обусловливающих образование в более пористых слоях зажатого неподвижного воздуха. Поэтому создание слоистых экранов (из грунтов разной порозности) является одним из средств борьбы с фильтрацией воды в каналах. Наконец, наиболее сильное средство — это покрытие дна и откосов каналов специальными антифильтрационными одеждами. Ниже будут рассмотрены главнейшие из вышеуказанных мероприятий по борьбе с потерями воды в каналах[1].

Рыхление дна и откосов периодически действующих каналов, как показали опыты САНИИРИ, в соединении с последующей кольматацией дает уменьшение потерь воды в 2—4 раза.

Рыхление производится лапчатым культиватором на глубину 10—15 *см* в два прохода. Рыхление делается два раза: 1) после прекращения пуска воды по каналу (как поспеет почва), чтобы предотвратить образование трещин грунта, и 2) перед пуском воды (чтобы закрыть ходы землероев и трещины грунта). В песчаных и гравелистых грунтах рыхление каналов малоэффективно.

Хорошей мерой борьбы с фильтрацией является уплотнение грунта дна и откосов канала, выполняемое кулачковыми катками или механическим трамбованием. Уплотнение кулачковыми катками за несколько проходов достигает глубины 0,25—0,30 *м* и обычно называется мелким уплотнением. Уплотнение трамбующими машинами достигает глубины 0,60—1 *м* и поэтому называется глубоким уплотнением.

Уплотнение для борьбы с фильтрацией применяется главным образом в связных грунтах (чернозем, суглинок, лесс). Уплотнение следует делать при влажности грунта, близкой к нижнему пределу пластичности (по Аттербергу), а для лёссов — к максимальной молекулярной влагоемкости.

При работе кулачковых катков оптимальная влажность несколько снижается из-за налипания грунта между кулачками.

Содержание солей в грунте снижает оптимальную влажность грунта и затрачиваемую работу[2]. В результате уплотнения объемный вес грунта (вес единицы объема) нужно довести до 1,45—1,50 в глинистых грунтах, до 1,50—1,60 *г/см*^{3} в средних суглинках, до 1,6—1,75 в легких суглинках, что позволяет уменьшать коэффициент фильтрации грунта от 5 до 40 раз и более. Чем больше затрачиваемая на уплотнение работа, тем больше уменьшение порозности и коэффициента фильтрации грунта (табл. 27).

Таблица 27

Грунты	Наилучшая влажность для уплотнения (в %)	Уменьшение порозности грунта после уплотнения	Требуемая работа по уплотнению (в *кгм/см*^{2})
Глина	25—29	С 0,65—0,60 до 0,46	2,0—2,5
Чернозем	25—30	» 0,60—0,55 » 0,40	2,0—2,5
Суглинок:			
тяжелый	22—25	» 0,55—0,50 » 0,35	1,8—2,2
средний	21—23	» 0,50—0,45 » 0,32	1,8—2,2
легкий	15—18	» 0,45—0,42 » 0,30	1,7—2,1
Супесь	12—15	» 0,40 » 0,26	1,5—2,0

[1] Более подробное описание мероприятий по борьбе с потерями воды в каналах см. в книге «Способы борьбы с потерями воды на фильтрацию из оросительных каналов», Сельхозгиз, М., 1952. *Прим. автора.* См. также В. В. Пославский. Борьба с потерями воды из оросительных каналов за рубежом и в СССР (краткий обзор мероприятий). Гипроводхоз, М., 1957.

[2] См. Е. Д. Рождественский. «Гидротехника и мелиорация» № 1, 1952. *Прим. автора.*

Например, имеются такие данные (А. А. Черных) для средних суглинков Курской области об уменьшении коэффициента фильтрации (табл. 28).

Таблица 28

Показатели	Объемный вес (в г/см³)	Коэффициент фильтрации (в см/сек)
До уплотнения грунта	1,06	$130 \cdot 10^{-6}$
После уплотнения работой 0,1 кгм/см²	1,36	$34 \cdot 10^{-6}$
» » » 0,4 »	1,42	$8 \cdot 10^{-6}$
» » » 0,8 »	1,50	$4 \cdot 10^{-6}$
» » » 1,2 »	1,60	$2 \cdot 10^{-6}$
» » » 2,0 »	1,66	$1 \cdot 10^{-6}$

На лессовидных суглинках, имеющих до уплотнения объемный вес 1,45, в результате уплотнения при затрате работы 2 кгм/см² объемный вес достиг величины 1,79, а коэффициент фильтрации уменьшился в 38 раз. Снижение потерь воды в результате уплотнения зависит от уменьшения коэффициента фильтрации грунта и от толщины уплотненного слоя (экрана) грунта. При наличии машин хорошим средством является ударное уплотнение, так как оно меньше зависит от свойств и влажности грунта и дает бо́льшую глу-

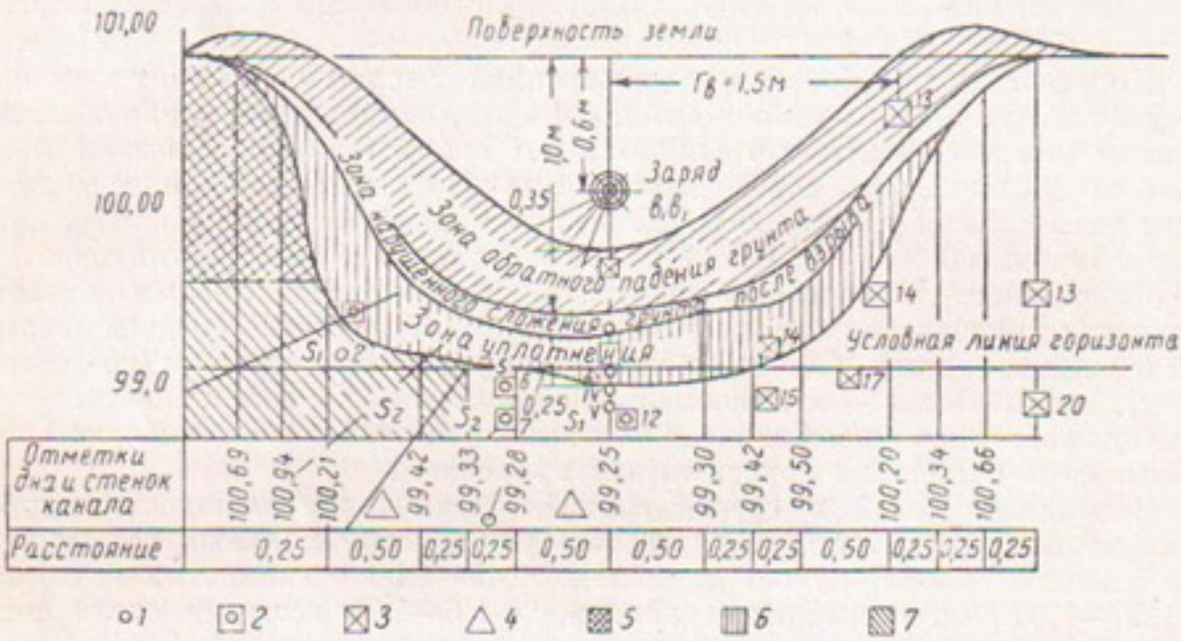


Рис. 111. Поперечное сечение канала (ПК О+15), образованного взрывом горизонтального заряда (с применением зарядной машины ЗМ-1).

Места отбора проб грунта для определения: *1* — объемного и удельного весов, пористости и влажности; *2* — механического агрегатного состава; *3* — механического и микроагрегатного состава; *4* — коэффициент фильтрации; *5* — тяжелый суглинок; *6* — зона уплотнения; *7* — лессовидный суглинок.

бину и равномерность уплотнения. Слабая сторона способа уплотнения состоит в постепенном разуплотнении грунта в периодически действующих каналах под действием образования трещин, проникания корнями сорной растительности, замерзания и высыхания и др. Поэтому требуется повторное уплотнение.

По данным ГрузНИИГиМ, рациональная толщина уплотненного экрана для небольших постоянных каналов составляет около 40—50 *см*. При уменьшении расчетной водопроницаемости на этой глубине до 25 раз осредненные потери воды уменьшаются в 3—5 раз на срок от 3 до 5 лет.

Во вновь строящихся или расширяемых каналах для уменьшения фильтрации может служить взрывной способ производства работ. В выемке, образованной взрывом на выброс, образуется три зоны: 1) обратно упавшего грунта мощностью 0,5—1,0 *м*; 2) нарушенного грунта мощностью 0,10—0,20 *м* и 3) уплотненного грунта мощностью 0,25—0,45 *м* (рис. 111). Мощность этих зон зависит от веса заряда взрывчатого вещества и характера грунта. Плотность же грунта во второй и третьей зонах после взрыва зна-

чительно и очень быстро (мгновенно) увеличивается; объемный вес в суглинистых грунтах увеличивается на 7—8% по сравнению с первоначальным до взрыва, и сильно возрастает процент содержания мельчайших частиц и мелких пор за счет уменьшения крупных пор. В результате скорость фильтрации воды во взрывных каналах становится в 10—20 раз меньше, чем в копаных каналах[1].

Одной из мер борьбы с фильтрацией в каналах в песчаных грунтах является искусственное кольматирование их, т. е. вмыв в поры грунта канала (по смоченной поверхности) глинистых частиц с целью закупоривания пор и уменьшения активной пористости грунта. Глинистые частицы вмываются в песчанистые грунты на глубину 5—20 *см* в зависимости от среднего диаметра частиц кольматируемого грунта (D *мм*) и кольматирующей глины (d *мм*). Отношение $\frac{d}{D}$ должно быть не меньше 0,20—0,15 (А. Н. Патрашев). Общее количество вмытых глинистых частиц послойно уменьшается по глубине закольматированного слоя, причем в верхних частях преобладают мельчайшие частицы, а в нижних более крупные; в соответствии с этим по глубине закольматированного слоя коэффициент фильтрации увеличивается. Дно канала кольматируется более эффективно, чем откосы. В результате кольматации фильтрация воды из каналов в производственных условиях уменьшается в 5—10 раз.

По исследованиям Т. А. Неговской, количество кольматирующего материала (глины), необходимое на 1 $м^2$ поверхности канала, ориентировочно равно $W=18D$ *кг*, где D — диаметр преобладающих частиц песка в *мм*, а наилучший диаметр глинистых частиц (d *мм*) определяется из таблицы 29.

Таблица 29

Диаметр частиц кольматируемого грунта, D *мм*	Диаметр частиц кольматирующей глины, d *мм*	Потребное количество глины (в *кг* на 1 $м^2$)	Грунты
1,0—0,50	0,10—0,025	18,0	Крупные пески
0,50—0,25	0,05—0,005	9,0	Средние »
0,25—0,10	0,005	4,5	Мелкие »

Максимально допустимая мутность воды при кольматировании каналов должна быть $\varrho=2$ *кг*/$м^3$ — при кольматации крупнопесчаных грунтов и $\varrho=2$ *кг*/$м^3$ — при кольматации средне- и мелкопесчаных грунтов. Общая продолжительность непрерывной кольматации канала $t=\frac{WS}{\beta Q}$ *сек*, где S — общая кольматируемая поверхность канала, а Q — расход воды, даваемый в кольматируемый канал; скорость течения воды в канале при кольматации должна быть 0,05—0,20 *м*/*сек*, в зависимости от диаметра частиц кольматирующего материала d, а последующая скорость в закольматированных каналах — не больше 0,6—0,7 *м*/*сек*. Длительно действующие каналы кольматируют в поливной период, внутрихозяйственные каналы можно кольматировать и в межполивной период.

Каналы большой длины кольматируют отдельными участками, путем устройства временных перемычек на каналах с водосливами для пропуска воды. Длина участков кольматирования зависит от скорости и глубины воды в канале, гидравлической крупности осаждаемых частиц и мутности потока и надежнее всего может быть найдена опытным путем — определением мутности потока по длине и в конце участка; если мутность в конце участка превышает допустимую, надо увеличить длину участка или уменьшить скорость воды в канале. Необходимая мутность воды в канале создается путем приготовления раствора глины в особых котлованах вблизи канала и добавки этого раствора в воду канала из расчета нужной начальной мутности. Кольматацию каналов следует начинать со старших каналов, переходя последовательно к младшим.

При чистке закольматированных каналов от наносов нужно следить за тем, чтобы сохранить закольматированный слой грунта.

---

[1] По вопросу о влиянии взрыва на физические свойства грунта см. статьи С. В. Астапова, В. М. Кушинова, И. С. Федорова в журналах «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1952, и «Гидротехническое строительство» № 2 и № 11, 1953. *Прим. автора.*

Одним из средств уменьшения активной пористости грунта и сокращения фильтрации воды в них служит искусственная диспергация грунта, достигаемая химическими и химико-биологическими методами.

Химическая диспергация верхних слоев дна и откосов канала осуществляется посредством воздействия на них солей натрия (NaCl, NaOH и др.), в результате чего поглощающий комплекс грунта обогащается катионами Na, вызывая диспергацию и набухание частиц грунта, что резко уменьшает активную порозность и обусловливает почти полную водонепроницаемость его, а также незарастание канала растительностью. Этот метод солонцевания предложен А. Н. Соколовским и разрабатывался Л. П. Розовым, С. П. Засосовым и другими авторами.

Потребное количество соли NaCl на 1 $м^2$ поверхности определяется так:

$$p = 0{,}58ahT \ кг/м^2,$$

где a—объемный вес грунта;

h—толщина слоя грунта, подлежащая диспергации (в $м$) и равная 0,10—0,20 $м$;

T—общая емкость поглощения грунта в миллиэквивалентах на 100 $г$; значение T колеблется от 40—60 (черноземы) до 10—15 (сероземы).

Солонцованные одежды каналов не оказывают вредного действия на орошаемые поля, деревья же вдоль солонцованных каналов могут пострадать в силу вредного влияния солей натрия.

Практическая величина p получается равной от 2 до 5 $кг$ на 1 $м^2$ поверхности.

Соль вносится в почву в сухом виде или в растворе. Первый способ более целесообразен на каналах с пологими откосами (1 : 1,25) и работающих прерывисто. При этом способе снимается верхний слой грунта (10—20 $см$) дна и откосов канала и поверхность покрывается ровным слоем сухой соли (по нужной норме), затем снятый слой грунта укладывается обратно на место и уплотняется; после этого канал поступает в эксплуатацию. При втором способе поверхность дна и откосов канала, предварительно просушенная и взрыхленная, пропитывается концентрированным (20%) раствором соли в несколько приемов. После этого смоченную поверхность канала покрывают слоем песка или грунта в 2—3 $см$, с трамбованием. Перед пуском в эксплуатацию канал предварительно замачивают (1—2 суток) стоячей водой (которую после надо сбросить).

Длительность действия рассматриваемых солонцовых одежд 3—4 года. Потери воды в солонцованных каналах в первые 2 года действия уменьшаются в 2—5 раз; каналы не зарастают сорной растительностью. Однако солонцовые одежды не допускают повышения скорости воды в канале, непрочны механически, малоэффективны на грунтах, содержащих гипс или карбонаты, требуют ценных химических реагентов и действуют относительно непродолжительно.

На песчаных грунтах смоченная поверхность канала покрывается глиняной облицовкой, с добавкой к глине необходимого по расчету количества соли.

Уменьшение водопроницаемости связанных грунтов путем разрушения структурности и повышения дисперсности может достигаться также искусственным оглеением их. Этот метод предложен и испытывается Грузинским институтом гидротехники и мелиорации (ГрузНИИГиМ). Сущность метода состоит в том, что на дне и откосах канала устраивается прослойка толщиной 5—7 $см$ из растительных измельченных веществ (листья, прелая и свежая солома, сорные травы, испорченный силос и др.), прикрываемая сверху защитным уплотненным слоем грунта толщиной 10—15 $см$; отношение растительного материала и грунта по весу составляет 1 : 4. В этой прослойке, в условиях полного насыщения водой, развиваются восстановительные (раскислительные) биохимические процессы разложения органического вещества (оглеение); эти процессы постепенно распространяются в толщу подстилающего естественного грунта, вызывают искусственное оглеение его, сильно снижающее водопроницаемость грунта, вследствие уменьшения агрегатности и повышения пластичности и дисперсности. Вследствие этого на дне и откосах канала образуется сплошной маловодопроницаемый слой грунта; этот слой (а не растительная прослойка) и уменьшает фильтрацию воды из канала. Процесс оглеения и снижения водопроницаемости грунта начинается с первых же дней наполнения канала водой, но распространяется в толщу грунта постепенно. В опытах ГрузНИИГиМ длительность процесса была от $1^1/_2$ до $4^1/_2$ месяцев, причем водопроницаемость грунта снижалась в 17—44 раза и более. Перерывы в подаче воды по каналу вызывают окислительные процессы вместо восстановительных, и водопроницаемость грунта начинает увеличиваться, но остается значительно меньшей, чем до оглеения. В силу этого способ искусственного оглеения наиболее применим для каналов более или менее длительного действия и для водохранилищ и не рекомендуется для оросительных каналов, работающих кратковременно и с большими перерывами.

Для уменьшения активной пористости и фильтрации грунтов применяется также заполнение пор грунта вяжущими или твердеющими веществами — б и т у м и з а ц и я и с и л и к а т и р о в а н и е.

Битумизация основана на пропитывании грунта каналов нефтью, мазутом, битумной эмульсией, каменноугольным дегтем при $t° = 100—120°$ (в количестве 4—12% от веса улучшаемого грунта в слое 6—12 *см*). Поверхность канала, предварительно спланированная, покрывается горячей (150°) нефтью или битумом в несколько приемов; после каждого приема поверхность покрывают просеянной землей, а в конце—слоем грунта в 3 *см* толщиной; обыкновенно требуется 8—12 *кг* битума на 1 $м^2$ поверхности. Скорость воды в каналах с битумным покрытием не допускается более 1 *м/сек*. Долговечность одежды 4—5 лет. Одежда легко разрушается механически, не зарастает. Потери воды уменьшаются в 3—4 раза.

Силикатирование состоит в пропитывании грунта дна и откосов канала раствором жидкого стекла, с фиксацией выделяющейся кремнекислоты раствором кремнефтористого натрия или хлористого кальция. Силикатирование применимо на мелкозернистых незасоленных грунтах и чистых песках без органических примесей. Силикатированные грунты обладают хорошей водонепроницаемостью, морозоустойчивостью и пластичностью, но неустойчивы под действием атмосферной влаги. Мероприятие относительно дорогое и в ирригации мало применимо.

Следует отметить исследования по применению гидрофобных (несмачиваемых водой) грунтов в целях борьбы с фильтрацией из каналов. Гидрофобность грунтов достигается обработкой их специальными препаратами (например, мылонафтами).

В случаях прохождения каналов в сильно проницаемых грунтах (крупные пески, галечники и др.), плохой обеспеченности системы водой и высокой стоимости воды, кроме вышеуказанных мероприятий по борьбе с потерями воды в каналах, приходится устраивать с п е ц и а л ь н ы е а н т и ф и л ь т р а ц и о н н ы е о д е ж д ы смоченной поверхности каналов.

Антифильтрационные одежды в первую очередь должны применяться на каналах непрерывного или длительного действия.

К антифильтрационным одеждам каналов предъявляются следующие требования: 1) обеспечение нужной водонепроницаемости при возможной дешевизне; 2) достаточная прочность и долговечность, отсутствие зарастания канала, прочность от воздействия температурных изменений; 3) возможность повышения скорости течения воды в канале и уменьшения поперечного сечения канала.

Существует несколько видов антифильтрационных одежд оросительных каналов.

Бетонная одежда каналов наиболее прочная и довольно распространенная. Преимущество ее в возможности большой скорости течения воды, которая может доходить до 15 *м/сек*; однако на практике, ввиду сравнительной тонкости одежды, не допускают скорость течения, превышающую 4—10 *м/сек* (в зависимости от качества одежды), между тем как в земляном русле максимальная допустимая скорость обычно не больше 1 *м/сек*. Благодаря этому бетонированные каналы могут иметь меньшее живое сечение. С другой стороны, бетонированные каналы одинакового живого сечения с небетонированными могут пропускать больший расход воды, так как бетонированные каналы имеют меньший коэффициент шероховатости, равный 0,012—0,016 (по сравнению с 0,022—0,030 для земляных русел); это позволяет при малых уклонах местности давать бетонированным каналам меньший уклон для получения нужной скорости.

При одной и той же пропускной способности объем земляных работ нового бетонированного канала может быть до трех раз меньше небетонированного (земляного); благодаря меньшей ширине бетонированных каналов соответственно уменьшаются и размеры искусственных сооружений на них.

К недостаткам бетонной одежды относятся: 1) образование трещин при температурных изменениях и 2) разрушение бетона от действия солей, особенно гипса.

Толщина бетонной одежды определяется крутизной откоса канала, температурными условиями, размерами канала и качеством наносов в воде. Допускать работу одежды как подпорной стенки не следует, и потому откосы новых бетонированных каналов обычно делаются 1 : 1,25 и 1 : 1,5 (не круче угла естественного откоса грунта).

При коэффициенте откоса, равном или меньшем коэффициента естественного откоса грунта, одежда делается тонкой — от 5 до 12 *см*.

Одежду толщиной в 4—5 *см* можно делать только на малых каналах и в местностях, где нет сильных морозов (ниже 15° С), если вода не несет гальки и откосы каналов дренированы; в противном случае бетонная одежда должна иметь толщину 8—12 *см*.

Поперечное сечение бетонированного канала должно быть по возможности с максимальным значением гидравлического радиуса и минимумом смоченной поверхности.

Одежда откосов делается на 15—30 *см* выше наибольшего горизонта воды в канале.

Образование трещин в бетонной одежде при температурных изменениях является одним из крупных недостатков бетонных одежд. Чтобы избежать случайных трещин, на определенных расстояниях в бетонной одежде делают искусственные предохранительные строительно-усадочные и температурные швы: поперечные на откосах и по дну канала и продольные — по контакту облицовки откосов с дном канала. Швы заделывают пластическим материалом, непроницаемым для воды (чаще асфальтом). Однако швы представляют слабое место бетонной одежды и требуют ухода. Широкие швы оказываются водопроницаемыми, а узкие расходятся или выпучиваются при изменениях температуры. Иногда не делают швов в расчете, что тонкие трещины будут постепенно заилены наносами.

Обычно расстояние между швами l принимают около 3—5 *м* при толщине одежды 5—8 *см*. Швы в дне и откосах иногда располагаются вперевязку, чтобы избежать слишком длинного сплошного шва. Ширина швов практически от 1 до 5 *см*, причем щель заполняется асфальтом или чистым цементом.

Необходимо, чтобы откосы и дамбы канала дали полную осадку до начала бетонирования, поэтому предварительно должна быть произведена основательная замочка канала.

Под бетонную одежду в слабых грунтах делают специальную подготовку основания из слоя песка толщиной 10—15 *см*, а на плохих участках песок заменяется гравием; эта подготовка служит для уплотнения, придания правильной поверхности и дренирования дна и откосов канала под облицовкой.

Вверху одежда должна кончаться горизонтальной бермой шириной 15—25 *см*. Эта берма предохраняет от просачивания поверхностной воды под одежду и от насыщения водой лежащего под одеждой слоя засыпки, что очень вредно, особенно при заморозках.

Внизу, в месте соприкосновения одежды откоса с одеждой дна, желательно в больших каналах устраивать уголщение облицовки откоса, чтобы создать упор, во избежание возможных сползаний одежды откоса.

Для больших каналов применяется армирование бетонной одежды проволочной сеткой — для тонких одежд и железными прутьями — для более толстых одежд.

Армированные бетонные одежды применяются: 1) при крутых откосах или слабых грунтах; 2) при давлении грунтовых вод на одежду извне; 3) при сползающих откосах канала. Толщина этих одежд 8—12 *см*.

От бетона для одежды каналов требуется прежде всего водонепроницаемость, достаточная пластичность и в ряде районов морозостойкость. Соответственно этому должен подбираться состав и марка бетона по ГОСТ 4795-49, 4801-49 на гидротехнический бетон. Бетон должен быть жирным, состава 1 : 6—1 : 9. Бетонировка каналов в скальных грунтах, при заложении откосов 1 : 1 и круче, производится с устройством опалубки по отдельным секциям.

При пологих откосах каналов бетон с завода подвозят автосамосвалами, укладывают на место драглайнами, разравнивают по откосу и уплотняют поверхностными вибраторами.

Хорошее качество бетона получается при торкретировании, когда цементный раствор поступает на бетонируемую поверхность с большой скоростью, около 100 *м/сек*, благодаря чему достигается большая плотность бетона. Выталкивание бетона с такой скоростью производится с помощью компрессора под давлением 2,5—3 *атм*, причем вода подается насосом под давлением тоже 2,5 *атм*, а сухая смесь с водой соединяется в наконечнике, из которого и выбрасывается готовый раствор. Торкрет должен выдерживаться во влажном состоянии 3—4 недели после бетонировки.

Если бетонируемый канал пересекает слои грунтовых вод, необходимо устройство дренажа для отвода воды из-под одежды, так как иначе вода, расширяясь в объеме при замерзании, будет давить на облицовку, выпучивать и разрушать ее. Дрены кладутся вдоль подошвы канала на глубине 0,3—0,5 *м* и глубже от дна канала, в зависимости от мощности грунтового потока. Иногда устраивают не одну, а две дрены. Дрены выпускаются в коллекторы. Траншеи заполняются галькой; дрены делаются диаметром 10—12 *см* (рис. 112). Дренаж одежды необходим также и для перехватывания фильтрационных вод из канала, если таковые просачиваются через швы или трещины в одежде. В случае сильного притока воды необходима укладка под

всей одеждой (по откосу) дренирующего слоя (щебня, гальки) толщиной 15—30 *см*, вода из которого поступает в продольную дрену.

Указанные затруднения в устройстве бетонирования земляных русел каналов привели к использованию армобетонных и железобетонных лотков.

Асфальтовая одежда представляет собой покрытие дна и откосов канала слоем асфальтового бетона толщиной 4—7 *см*. Под этот слой делается хорошее основание в виде песчано-гравелистой подготовки; на лессовых грунтах без этого возможно выпучивание. Состав асфальтобетона следующий: песчаный грунт 80%, битум 10, мел 5, каменноугольный пек 5%. Содержание битума к весу всех минеральных составляющих одежды должно быть 7—

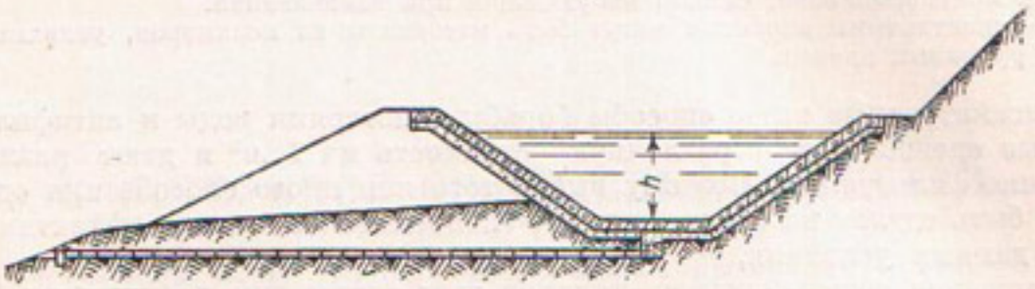


Рис. 112. Схема расположения поперечного дренажа.

8,5%; объемный вес асфальтового бетона должен быть не менее 2,2. Коэффициент шероховатости асфальтовой одежды 0,013—0,014.

Достоинства асфальтовых одежд состоят в их пластичности, большой водоупорности, морозоустойчивости; они не подвержены вредному действию солей, допускают легкое исправление повреждений. Недостаток этих одежд—оплывание при высокой температуре и возможность прорастания растениями.



Рис. 113. Глиняная облицовка с защитным слоем из щебенисто-песчанистой отсыпки (размеры в *м*):

1—щебенисто-песчанистая отсыпка; *2*—глинистый экран; *3*—естественный грунт.

Глиняная одежда делается толщиной 10—20 *см* при послойном уплотнении. Откосы должны быть пологие — полуторные, двойные; поверх укладывается защитный слой песка или гравия. Лучший грунт для одежды — легко уплотняемый суглинок, без комков и органических примесей, незамерзший. Глиняная одежда не допускает скоростей воды в канале свыше 0,50—0,70 *м/сек*, зарастает растениями, но зато менее дорога и дает сбережение воды до 70%; целесообразна в гипсоносных грунтах.

Для предохранения от сползания слоя глины на откосах канала делают в шахматном порядке насечки глубиной 3—4 *см* на расстояниях 10—15 *см* одна от другой. Для увеличения прочности глиняной одежды прибавляют к глине около 15 *кг* соломы на 1 $м^3$ глины. Глину следует укладывать при влажности 18—24% и трамбовать спустя 10 часов после укладки. Сверху глиняной одежды делается защитный слой из песчано-щебенчатой отсыпки толщиной около 20 *см*. Откосы каналов делаются от двойных до полуторных. Поперечное сечение глиняной одежды дано на рисунке 113.

В зависимости от характера антифильтрационной одежды и качества выполнения работ потери на фильтрацию в каналах уменьшаются на величину от 30—35 до 80—95% по сравнению с каналами без применения

одежд, и в соответствии с этим значительно повышается коэффициент полезного действия их[1].

Из местных материалов для уменьшения фильтрации воды из каналов можно назвать также кальцинированный лесс — лесс с добавкой 15—20% обожженной извести (опыт САНИИРИ). Толщину одежды из этого материала принимают 15—20 *см*.

В предгорных оросительных системах и при наличии на месте камня хорошие результаты, как показал опыт Киргизской ССР, дает покрытие дна и откоса канала каменной мостовой с размером камней 0,15—0,25 *м*. Особенно хорошие результаты дают каменные отмостки на цементном растворе. Отмостка канала допускает скорости воды 3—4 *м/сек* и выше; откосы канала должны быть 1,25—1,50.

В последнее время находят применение экраны из бентонитовых глин, содержащих минерал монтмориллонит, сильно набухающий при замачивании.

Перспективными экранами могут быть материалы из полимеров, укладываемых в виде рулонных пленок.

Рассмотренные выше способы борьбы с потерями воды и антифильтрационные одежды имеют различную стоимость на 1 $м^2$ и дают различное снижение фильтрации. Поэтому выбор того или иного способа или одежды может быть сделан на основе технико-экономической оценки эффективности его в данных условиях.

Снижение потерь воды из каналов дает следующие результаты: 1) повышает к. и. д. оросительной системы и позволяет уменьшить расходы воды брутто и размеры каналов или же расширить орошаемую площадь без дополнительных затрат воды; 2) уменьшает питание грунтовых вод и способствует недопущению засоления орошаемых земель; 3) некоторые виды антифильтрационных одежд дают возможность увеличить допустимые скорости течения воды в каналах, уменьшить шероховатость русла, что позволяет уменьшить поперечное сечение канала и объем земляных работ при данном расходе воды или же повысить пропускную способность канала при данном сечении; увеличение скорости и уклона каналов позволяет сократить число перепадов и размеры искусственных сооружений.

Все эти положительные стороны применения тех или иных антифильтрационных мероприятий и одежд в каждом конкретном объекте могут быть выражены в определенных показателях. Этой оценке должны быть противопоставлены ежегодные расходы средств, связанные с осуществлением данного антифильтрационного мероприятия или одежды, слагающиеся из погашения капитальных затрат и расходов на содержание и ремонт одежд, и равные $\Sigma\ 0{,}01\ CPrl$, где C — стоимость данного вида одежды на 1 $м^2$ поверхности канала; P — смоченная поверхность канала на единице его длины, в $м^2$; r — процент погашения и содержания одежд; l — длина канала с данным типом одежды.

Сопоставление положительных показателей (в ценностном выражении) антифильтрационных мероприятий с затратами средств на их осуществление позволяет установить целесообразность того или иного вида их на данной системе.

---

[1] О расчете фильтрационных потерь из экранированных каналов см. В. И. Аравин и С. Н. Нумеров. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. Госстройиздат, М.—Л., 1955; М. С. Вызго. Гидравлический расчет фильтрации из каналов и противофильтрационного слоя. Изд. АН КазССР, 1959; Н. К. Фенин. Искусственная кольматация каналов. «Гидротехника и мелиорация» № 6, 1953; С. Ф. Аверьянов. О расчете фильтрационных потерь из экранированных каналов. «Гидротехника и мелиорация» № 4, 1957.

Глава четвертая

КОНСТРУКЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Конструкция оросительных систем может быть трех основных типов: 1) *открытой*, состоящей из открытых каналов, устроенных в естественном грунте; 2) *закрытой*, в виде трубопроводов, напорных или безнапорных, большей частью заложенных под землей; 3) *комбинированной*, в которой крупные каналы (межхозяйственные и крупные внутрихозяйственные) делаются открытыми, а мелкие — закрытыми. Открытые системы менее совершенны, чем закрытые, но зато, вследствие большей своей простоты и доступности и в силу исторических условий развития орошения, этот тип является пока преобладающим во всех странах. Закрытые системы имеют более высокий к. п. д.; при этих системах потери земельной площади малы, фильтрационные потери воды исключаются; однако устройство закрытых систем более сложно, требует ценных строительных материалов; при малых уклонах местности закрытые системы нуждаются в подкачке воды. Комбинированные системы, представляющие сочетание открытых каналов и закрытых трубопроводов, имеют значение при реконструкции более или менее крупных оросительных систем. Рассмотрим открытые и закрытые конструкции оросительных систем, так как комбинированные системы являются переходными между ними.

1. ОТКРЫТЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Системы этого типа состоят из открытых оросительных каналов. По мере перехода от магистрального канала к оросителям уменьшаются размеры каналов, возрастают высоты командования непосредственно над прилежащей к каналу поверхностью и увеличивается удельная длина каналов на единицу орошаемой площади. Поэтому при новой системе орошения наиболее густая сеть малых оросительных каналов делается временной, позволяющей более полно использовать орошаемые земли и повысить механизацию сельскохозяйственных работ.

Для проектирования проводящих каналов очень важное значение имеют условия командования канала над орошаемой местностью при необходимой пропускной способности его.

КОМАНДОВАНИЕ И СОПРЯЖЕНИЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Отметки горизонта воды в оросительных каналах определяются в зависимости от отметок орошаемых из них площадей и нужной величины превышения горизонта воды в каналах. Чем больше высота командования, тем полнее может быть орошена вся площадь, но зато труднее вывод воды и

больше стоимость каналов. Поэтому командование воды в каналах над орошаемой поверхностью надо делать только таким, какое необходимо и достаточно для правильного производства орошения.

Горизонты воды временных оросителей должны быть выше орошаемых из них площадей на 0,05—0,10 *м*. Горизонты воды в участковом распределителе должны быть выше горизонта воды в головах временных оросителей его на 0,05—0,10 *м*, а при применении переносных трубопроводов, вместо временных оросителей, на 0,15—0,20 *м*.

Горизонты воды в остальных каналах при нормальном расходе воды должны превышать горизонты выходящих из них каналов низшего порядка (при максимальном расходе воды) на величину потери напора в регуляторе — около 0,05—0,10—0,20 *м*, в зависимости от допускаемой скорости воды в регуляторе. Это превышение может быть осуществлено как за счет соответствующего наполнения канала, так и за счет подпора, создаваемого подпорными сооружениями.

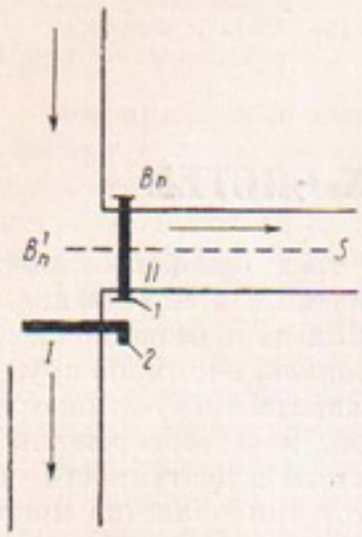


Рис. 114.
1 — регулятор; *2* — подпорное сооружение.

Нужная отметка $B'_п$ горизонта воды (рис. 114 и 115) в любом канале (*I*) выше берущего из него воду бокового регулятора (*II*) равна отметке $B_п$ в отходящем канале непосредственно ниже регулятора плюс необходимый напор в регуляторе:

$$B'_п = B_п + \psi_п,$$

где

$$B_п = A + \Sigma li + \Sigma^{n-1}\psi \text{ и } A = A_0 + h,$$

A_0 — отметка высших точек орошаемой из данного канала площади; h — слой поливной воды над орошаемой поверхностью ($h = 0{,}05 - 0{,}10$ *м*); Σli — сумма превышений на уклонах каналов от высших точек поливаемой поверхности до рассматриваемого сечения канала; $\Sigma\psi$ — сумма превышений глубин воды в старших каналах над младшими или напоров в регуляторах при пропуске нормальных расходов воды.

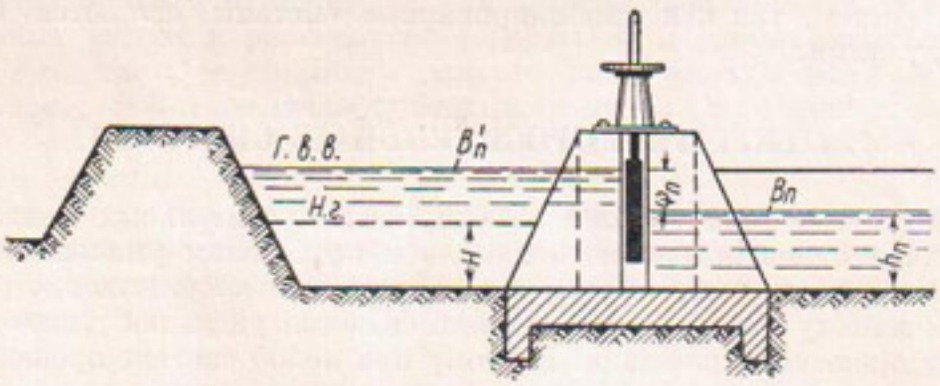


Рис. 115.

Если дно каждого старшего и выходящего из него бокового канала лежит на одном уровне, то:

$$B_п = A_0 + h_п + \Sigma li,$$

где $h_п$ — глубина воды в отходящем канале.

Таким путем могут быть определены отметки горизонта воды во всех сечениях по длине старшего канала, где от него отходят боковые каналы. Зная эти отметки в различных сечениях и расстояния между ними по длине канала, можно построить продольный профиль нужных отметок горизонта воды в канале и сообразно с ним наметить нормальный продольный профиль уровня воды в канале по всей его длине; при этом надо

учесть степень необходимости и возможности устройства подпорных сооружений на канале ниже боковых регуляторов.

Если отметка подпорного горизонта воды в каком-либо сечении канала равна B'_n, а отметка поверхности земли в том же сечении A_1 (рис. 116), то командующий слой воды над поверхностью земли будет равен $B'_n - A_1$; высота насыпи должна быть $a = B'_n - A_1 + \Delta$, так как гребень дамбы должен быть выше максимального уровня воды на высоту $\Delta \approx \frac{h}{3} \approx 10-50\,см$, в зависимости от размеров канала и характера откосов.



Рис. 116.

Если глубина воды в старшем канале при наибольшем расходе воды в нем равна H_{max} и поставлено условие, чтобы при этом расходе канал работал без подпора, то глубина выемки будет:

$$x = A_1 - (B'_n - H_{max}).$$

Если соотношение отметок A_1 и B'_n таково, что сечение канала проходит в полувыемке-полунасыпи, желательно глубину выемки x подобрать так, чтобы объем выемки равнялся объему двух насыпей.

Зная глубину выемки x, найдем отметку нормального горизонта воды в канале $B_0 = A_1 - x + H$, где H—нормальная глубина воды в старшем канале, причем H надо определить как при наибольшем, так и при наименьшем расходе воды.

Если отметка B_0 при минимальном расходе воды в старшем канале будет меньше отметки подпорного горизонта B'_n, нужной для того, чтобы давать в боковой канал полный его расход, в этом случае необходимо подпорное сооружение, и высота подпора должна быть равна $B'_n - B_0$.

Вопрос о необходимости подпорных сооружений должен решаться при различных видах водооборота на канале; рассмотрим здесь два случая.

I. Очередное распределение воды осуществляется на старшем канале. Подача полных расходов воды в младшие каналы может быть достигнута двояко: 1) на старшем канале устраиваются подпорные сооружения, что вызывает увеличение высоты дамб канала, увеличивает его заиляемость, но обеспечивает хорошее командование; 2) младшие каналы проектируются углубленными, что влечет сокращение командной площади их, но подпорные сооружения при этом не нужны.

II. Очередное распределение воды существует на младшем канале и непрерывное распределение на старшем канале (т. е. при уменьшении расхода воды в старшем канале, в младший канал подается соответственно уменьшенный расход); в этом случае могут быть также два варианта:

1) младшие каналы проектируются так, что при нормальных расходах воды в старшем канале горизонты воды в головах младших каналов будут ниже горизонта в старшем только на величину потери напора в регуляторе ψ; в этом варианте, при минимальном расходе воды в старшем канале, нужно создавать подпор воды h, но меньший, чем при очередном распределении воды на старшем канале (рис. 117, *а*);

2) младшие каналы проектируются углубленными настолько, чтобы при минимальном расходе воды в старшем канале горизонты воды в нем были выше горизонта воды в младшем канале только на величину потери напора в регуляторе ψ (рис. 117, *б*). В этом варианте, при нормальных расходах воды в старшем канале, получается бóльшая разность горизонтов воды H в старшем и младшем каналах и увеличенная скорость прохода воды через регуляторы. Достоинство этого варианта — отсутствие подпора и заиления в старших каналах; недостаток — углубление боковых каналов и уменьшение командной площади.

Пороги боковых каналов нужно располагать на одном уровне с дном старшего канала (особенно это важно для оросителей), так как это обеспе-

чивает перенос наносов из распределителей в мельчайшую сеть и на поля и сохраняет необходимый горизонт воды в отходящем канале, несмотря на значительные колебания уровней воды в старшем канале.

Порог небольших распределителей располагают иногда даже ниже дна старшего распределителя, когда расход воды в нем может быть обеспечен при неполной нагрузке канала — без подпорного сооружения. Расположение порога отходящего канала выше дна старшего может быть допущено только в том случае, если горизонт воды в старшем канале постоянен и не опускается ниже уровня, необходимого для отвода в боковой канал максимального его расхода.

При дождевании и подпочвенном орошении условия командования проводящих каналов изменяются. При дождевании все сечение канала, откуда

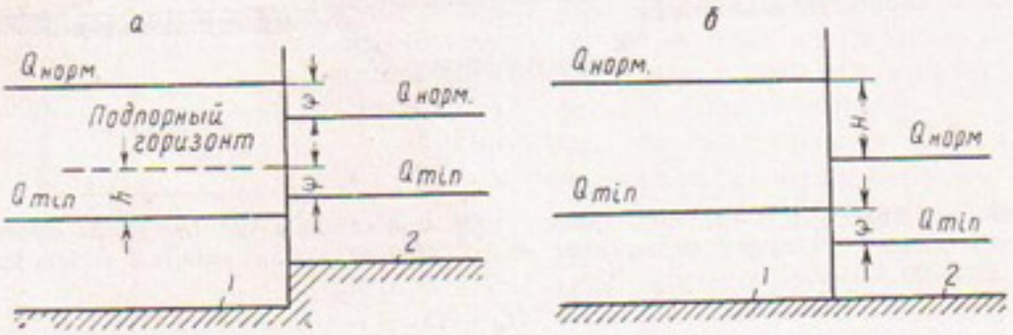


Рис. 117.
1 — старший канал; 2 — младший канал.

берется вода насосом, может быть сделано в выемке, нужно только надлежащее командование старших распределителей и магистрального канала, чтобы самотеком доставлять и разводить воду по орошаемой площади, а также желательно обеспечить возможность аккумулирования в канале воды, поступающей в случае остановки насоса. При подпочвенном орошении горизонт воды в оросительных каналах, из которых вода должна поступать в подземные трубы, приходится держать более высоко, нежели при дождевании, чтобы создать достаточный напор воды для движения ее в подземных трубах.

Углы отвода боковых каналов, в целях более удобного поступления воды в них, желательно делать $>90°$. Радиусы закруглений должны быть возможно бо́льшими, в нашей практике обычно приняты $R \geqslant 5B$, где B — ширина зеркала воды в канале при нормальном расходе воды. Для крупных магистральных каналов радиусы делаются не меньше 100—150 *м*, а для более мелких распределителей не меньше 20—40 *м*. Если радиус закруглений приходится делать $R<5B$, нужно проверить скорость воды на размыв грунта и в случае надобности крепить вогнутый берег канала.

ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ И ПРОФИЛИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ; ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ

Поперечное сечение оросительных каналов должно отвечать следующим основным условиям.

1. Неразмываемость русла канала. Сечение должно быть таким, чтобы при данном уклоне канала I скорость течения воды не превышала допустимой в отношении размываемости грунта канала,— условие для определения наибольшей скорости $v_{0\ max}$.

2. Незаиляемость канала. Поперечное сечение канала должно быть таким, чтобы поток воды обладал необходимой транспортирующей способностью в отношении наносов, содержащихся в поступающей в канал оросительной воде, и имел такую скорость, при которой не происходи-

ло бы заиления или отложения в канале взвешенных частиц,— условие для определения критической v_{omin}.

3. Минимум фильтрации. Так как фильтрационные потери воды в каналах зависят также и от формы поперечного сечения канала, то она должна удовлетворять условию минимальной фильтрации.

4. Максимум пропускной способности или максимум гидравлического радиуса R; это условие дает наименьшее живое сечение и, следовательно, минимум объема каналов.

5. Устойчивость русла и необходимая конструктивность сечения канала.

Если все эти условия на данном канале не могут быть удовлетворены одновременно, то нужно отдавать предпочтение тем из них, которые имеют в данном конкретном случае наибольшее практическое значение.

Рассмотрим каждое из перечисленных условий.

Неразмываемость русла каналов

Для соблюдения этого условия нужно, чтобы средняя скорость воды в канале не превышала определенной максимальной допустимой величины, выше которой может начаться размыв грунта. Значение этой критической максимальной неразмывающей скорости зависит:

а) от свойств грунта — механического состава, структуры и плотности строения его: чем больше плотность грунта, тем больше максимальная неразмывающая скорость;

б) от глубины воды и величины гидравлического радиуса R потока, от коэффициента шероховатости русла n: чем больше R и чем меньше n, тем больше критическая неразмывающая скорость;

в) от содержания и качества наносов в воде: мелкие илистые наносы повышают величину неразмывающей скорости, крупнозернистые же наносы, наоборот, уменьшают эту скорость, усиливая размыв.

Значения критической максимальной неразмывающей скорости данного грунта определяются опытным путем. Средняя скорость воды в канале не должна превышать максимальной неразмывающей скорости.

В таблице 30 приводятся ориентировочные, обычно принимаемые значения допускаемых скоростей на размыв (при значении $R=1$ *м*). Меньшие значения $v_{кр}$ принимаются для менее связных грунтов, имеющих меньший объемный вес (от 1,1 до 1,7—2,0 *т/м*³). При содержании в воде тонких илистых наносов приведенные цифры повышаются на 15—25%; при содержании же крупных наносов (крупнее частиц самого грунта) указанные цифры понижаются на 20—25%. Если гидравлический радиус канала R меньше 1 *м*, то

Таблица 30

Грунты	Допускаемая неразмывающая скорость (в *м/сек*)	Грунты и облицовки	Допускаемая неразмывающая скорость (в *м/сек*)
Тяжелый ил	0,20—0,60	Плотная глина	0,70—1,20
Песок:		Лесс:	
тонкий чистый	0,35—0,45	легкий	0,40—0,80
мелкий средний	0,40—0,60	средний	0,50—1,00
крупный	0,60—0,75	плотный	0,60—1,20
Гравий:			
мелкий	0,75—0,90	Облицовки каналов	
крупный	1,10—1,30		
Галька:			
крупная	1,80—2,20	Бетонная	5,0—10,0
мелкая	1,20—1,40	Кирпичная кладка	2,5—3,5
Суглинок:			
легкий	0,40—0,90	Одиночная мостовая	2,0—3,0
средний	0,50—1,00	Двойная »	2,5—4,0
тяжелый	0,60—1,20	Одерновка плашмя	1,0—1,5

приведенные значения допускаемых скоростей надо умножать на R^{α}, где $\alpha=0{,}20—0{,}30$ (значение α увеличивается с уменьшением связности грунта).

Для неоднородных по строению связных грунтов (с включением гальки и пр.), а также при техническом проектировании крупных каналов (с расходом воды выше 10 $м^3/сек$) желательно критическую неразмывающую скорость определять опытным путем[1].

Проверка русла каналов на размыв особенно важна на закруглениях каналов, где скорость возрастает и легче может начаться размыв.

Вопрос о выборе расчетной максимальной допустимой скорости воды в каналах является весьма важным. Чем больше допустимая скорость воды в канале, тем 1) меньше может быть живое сечение канала и, следовательно, меньше объем земляных работ и размеры сооружений; 2) меньше зарастание и отложение наносов в канале и стоимость его чистки; 3) меньше потери воды и влияние их на подъем грунтовых вод; 4) быстрее подача воды в системе и др. Все эти преимущества очень существенны, поэтому следует не занижать допустимых скоростей и принимать все меры для их повышения. К таким мерам относятся, во-первых, уплотнение грунта каналов, которое является вместе с тем и эффективным средством уменьшения потерь воды; во-вторых, применение простейших креплений русла каналов — дернование и мощение и другие способы, допустимые по экономическим условиям. Во многих случаях указанные выше выгоды, получаемые от повышения скорости, могут вполне покрыть стоимость затрат на уплотнение или крепление грунта канала.

Незаиляемость каналов

Условие незаиляемости оросительных каналов или поддержания в них определенной транспортирующей способности потока является чрезвычайно важным, так как поступающая в каналы вода обычно содержит много взвешенных наносов. Режим наносов в оросительных системах должен быть следующим: все крупные песчаные наносы (крупнее 0,10—0,15 *мм*) нужно, по возможности, совершенно не допускать в систему, задержав и промыв их в головном участке ее; все мелкие илистые наносы нужно пронести через всю оросительную сеть и вынести на орошаемые поля, где они могут отлагаться. Если наносы отлагаются в каналах, то пропускная способность каналов сильно уменьшается и требуется чистка, которая и обходится дорого и вызывает большие затраты труда. Достаточно отметить, например, что в Средней Азии приходится ежегодно извлекать при чистке оросительных каналов свыше 30 млн. $м^3$ наносов.

Взвешивание наносов происходит в результате турбулентного движения потока. Как известно, при турбулентном движении наблюдается пульсация скоростей: скорости, кроме горизонтальных, имеют и вертикальные составляющие (направленные попеременно то вверх, то вниз); наличие вертикальных составляющих, направленных вверх, и обусловливает взвешивание наносов. Пульсация скорости, а следовательно, и вертикальная составляющая, больше у дна и меньше у поверхности (горизонтальная составляющая наоборот), а отсюда и взвешивание частиц в каждом потоке сильнее происходит в нижних слоях потока, чем в поверхностных.

Под влиянием пульсации скорости в турбулентном потоке идет непрерывный процесс перемешивания жидкости и содержащихся в ней наносов. На этот процесс затрачивается определенная часть энергии потока, тем бо́льшая, чем больше содержание наносов в воде и крупнее их размеры, если скорость потока не превышает критической.

Опыты показывают, что осредненные по глубине значения вертикальных пульсационных составляющих скорости потока находятся в прямой связи со средней продольной скоростью потока.

Например, по данным Гидрометрической части в Средней Азии, вертикальные составляющие скоростей принимаются от $^1/_{15}$ до $^1/_{30}$ средней скорости. Для взвешивания частиц потоком необходимо, чтобы вертикальная пульсационная составляющая скорости u была бы больше скорости падения данной частицы в воде или гидравлической крупности ее w, т. е. чтобы было соблюдено условие $u \geqslant w$.

[1] Данные о допустимых размерах максимальной и минимальной скоростей воды в оросительных каналах см. в «Технических указаниях по проектированию каналов оросительных систем», изданных Главводхозом Министерства сельского хозяйства СССР в 1955 г. *Прим. автора.*

Как показывают исследования В. Н. Гончарова, И. И. Леви и других авторов, в потоке, в котором частицы находятся во взвешенном состоянии, существует определенное соотношение между вертикальными пульсационными составляющими скоростей и гидравлической крупностью взвешенных частиц:

$$\frac{u}{w}=f\left(v,\ \varrho\,\frac{h}{d}\right).$$

Это отношение увеличивается с увеличением средней скорости v, мутности потока ϱ и отношения глубины потока h к крупности частиц d, т. е. с увеличением глубины потока h при данном размере частиц d. Из этого положения вытекает, что средняя критическая скорость потока $v_{кр}$, при которой частицы не оседают на дно, определяется следующим условием:

$$v_{кр}\geqslant wf\left(\varrho,\ \frac{h}{d}\right),$$

т. е. она увеличивается с увеличением гидравлической крупности частиц w, мутности потока ϱ и глубины воды h при данном размере частиц.

Однако явления взвешивания наносов в турбулентном потоке весьма сложны, теоретически исследованы еще недостаточно, и поэтому определения критической скорости заиления, ниже которой начинается выпадение частиц из взвешенного состояния, делались главным образом эмпирическим путем (наблюдения средних скоростей незаиляющихся каналов).

Н. Е. Жуковский дал такую формулу критической скорости:

$$v_{кр}=\frac{h}{B}+A=\frac{h}{3{,}5}+0{,}24\ м/сек,$$

где h — глубина воды в канале, в $м$;

A и B — коэффициенты, зависящие от шероховатости дна канала, наибольшего гидравлического размера взвешенных частиц, плотности, вязкости и мутности воды.

Эта формула показывает, что имеется низшее значение критической скорости, ниже которой не должна опускаться скорость воды в канале, независимо от величины h; это значение близко к 0,24 $м/сек$.

И. И. Леви дает такое значение критической скорости незаиляемости:

$$v_{кр}=\frac{c_1 w\sqrt[4]{\varrho}}{\sqrt{d}}\sqrt{h},$$

где c_1 — коэффициент, зависящий от размеров частиц и условий канала:

w — гидравлическая крупность частиц;

d — средний диаметр частиц взвешенных наносов;

ϱ — мутность потока в % по весу;

h — глубина воды в потоке.

Ввиду сложности определения критической скорости для расчета незаиляемости каналов важно знание *транспортирующей способности потока* в отношении наносов, зависящей от скорости, уклона и гидравлического радиуса потока, с одной стороны, и характера наносов — с другой.

В. В. Пославский на основании своих исследований на хорезмских каналах (1932 г.) дал такую формулу переносящей (транспортирующей) способности потока:

$$\varrho=ARI\ кг/м^3,$$

где ϱ — проносимая мутность воды (транспортирующая способность);

I — уклон поверхности воды в канале;

A — коэффициент, равный от 17 000 до 24 000;

R — гидравлический радиус.

Г. О. Хорст в 1938 г. предложил такую формулу транспортирующей способности:

$$\varrho=\frac{\alpha\,(vRI)^m}{w}\cdot\frac{\gamma_1}{\gamma_1-\gamma}=\frac{4000\cdot vRI}{w}\ кг/м^3,$$

где α и m — коэффициенты, определяемые эмпирическим путем;

w — средневзвешенная гидравлическая крупность наносов, в $мм/сек$;

ϱ — проносимая мутность (транспортирующая способность) потока;

γ_1 — удельный вес наносов;

γ — удельный вес воды;

v — скорость течения воды.

Для условий каналов Хорезма, Чимбая, Вахша и ряда других при $\gamma_1=2{,}60$ и $\gamma=1$ получаются значения ϱ, выраженные последней формулой.

В настоящее время Г. О. Хорст предложил новую уточненную формулу проносимой мутности (транспортирующей способности):

$$\varrho=8\sqrt{vRI}\left(\frac{u}{w}-1\right)\ кг/м^3,$$

где u — вертикальная составляющая продольной скорости потока; по опытным данным $u=(vRI)^{1/3}$ *м/сек*.

А. Н. Гостунский дал (1949 г.) следующую конечную формулу транспортирующей способности (проносимой мутности) потока:

$$\varrho=\frac{3300\sqrt{n}I^{1,5}}{w}\ кг/м^3.$$

Эта формула дает преувеличенные значения ϱ по сравнению с фактически наблюдаемыми.

А. Г. Хачатрян на основе своих исследований для хорезмских каналов (1942 г.) дал формулу транспортирующей способности, которая может быть приведена к виду:

$$\varrho=0,69\frac{I^{0,75}\cdot R^{0,70}}{n^{1,5}w^{0,33}}\ кг/м^3,$$

где w выражено в *м/сек*, т. е. транспортирующая способность тем больше, чем больше уклон канала I и гидравлический радиус R, чем меньше шероховатость русла n.

Е. А. Замариным предложена (1947 г.) следующая формула транспортирующей способности потока (ГОСТ 3908-47):

$$\varrho=0,22\frac{v}{w_0}\sqrt{\frac{RIv}{w}}\ кг/м^3,$$

где v — средняя скорость течения воды в канале, в *м/сек*;

R — гидравлический радиус, в *м*;

w — средневзвешенная гидравлическая крупность наносов, в *м/сек*; $w_0=w$ при $w\geqslant 0,002$ *м/сек* и $w_0=0,002$ *м/сек* при $w\leqslant 0,002$ *м/сек*.

На основе этой формулы А. А. Угинчусом получена формула критической минимальной незаиляющей скорости:

$$v_{нез}=\left(\frac{\varrho w_0\sqrt{wC}}{0,022}\right)^{0,4},$$

где C — скоростной коэффициент в формуле Шези; или

$$v_{нез}=\frac{N^{0,67}}{\sqrt[3]{RI}},$$

где $N=\frac{\varrho w_0\sqrt{w}}{0,022}$.

С. А. Гиршкан дал такую формулу транспортирующей способности каналов (ГОСТ 3908-47): $\varrho=BQ^{0,4}i$ *кг/м*^{3}, где Q — расход воды в канале, в *м*^{3}*/сек*; i — уклон воды в канале; B — коэффициент, зависящий от гидравлической крупности наносов w. Эту формулу автор[1] преобразует следующим образом:

$$\varrho=\frac{A}{w}Q^{0,4}i_0,$$

где $i_0=10^4i$ — уклон поверхности воды; коэффициент $A=0,55-0,85$, причем меньшее значение отвечает малым расходам воды в каналах (<1 *м*^{3}*/сек*), а большее — крупным расходам воды в каналах (>100 *м*^{3}*/сек*); w — гидравлическая крупность наносов, в *мм/сек*. Эта формула позволяет лучше учитывать влияние мелких наносов ($w<2$ *мм/сек*) на транспортирующую способность.

Средняя расчетная скорость воды в канале при нормальном расходе воды в нем должна быть выше критической не меньше чем на 5%.

Большинство каналов, наблюдения над которыми лежат в основе вышеуказанных формул, характеризуются следующими данными: расход воды от 0,2 до 150 *м*^{3}*/сек*; средняя скорость течения воды не меньше 0,30 *м/сек*; мутность воды не больше 5 *кг/м*^{3}. Для других условий каналов необходима поверка расчетов дополнительными данными. Минимальная скорость воды в каналах должна быть не меньше 0,3 *м/сек*.

В зарубежной оросительной практике наиболее распространены формулы критической незаиляющей скорости Кеннеди и Ласей, полученные в результате изучения заиления существующих оросительных каналов.

Формула Кеннеди: $v=0,545\ h^{0,64}$ *м/сек*, где h — глубина воды в канале, в *м*; формула Ласей: $v=0,64\sqrt{R}$ *м/сек*, где R — значение гидравлического радиуса канала, в *м*.

Недостатком обеих этих формул является то, что они справедливы только для тех условий, в которых получены, а именно для каналов с отношением ширины по дну к глубине воды от 4 до 15, с коэффициентом шероховатости $n=0,225$, с расходом воды от 2 до 48 *м*^{3}*/сек* и глубиной от 0,6 до 2 *м* и при крупности наносов от 0,25 до 0,70 *мм*, что соответствует гидравлической крупности 21—90 *мм/сек*.

---

[1] Журн. «Гидротехника и мелиорация» № 6, 1953. *Прим. автора.*

При других условиях рассчитываемых каналов в приведенные формулы приходится вносить соответствующий поправочный коэффициент μ, зависящий от характера наносов, количества их и шероховатости русла; когда вода очень мутная и наносы крупные, $\mu=1{,}1-1{,}2$; если же вода, поступающая в каналы, светлая и наносы очень тонки, значение μ уменьшается до 0,6—0,7.

На перенос частиц во взвешенном состоянии затрачивается определенная часть энергии потока, и тем большая, чем крупнее частицы и больше их содержание в воде. Энергия же, которой располагает поток для переноса взвешенных частиц, равна общей энергии потока за вычетом энергии, затрачиваемой на преодоление сил трения; поэтому переносящая сила потока, при прочих одинаковых условиях, тем больше, чем больше уклон потока и чем меньше шероховатость русла.

Критический в отношении незаиляемости уклон I зависит главным образом от шероховатости канала (возрастая с увеличением шероховатости), от содержания и крупности наносов в воде и гидравлического радиуса канала. Поэтому в тех случаях, когда нельзя увеличить уклон канала до необходимой величины, в целях уменьшения заиления следует понижать коэффициент шероховатости (путем очистки канала от наносов и зарастания, а иногда даже бетонировки).

В силу изложенного при проектировании незаиляющихся каналов необходимо учитывать не только скорость и форму сечения канала, но и его уклон.

Количество наносов, которое может отлагаться в каналах, если скорость в них меньше определенной критической величины для известной крупности наносов, может быть определено, во-первых, по вышеприведенным формулам транспортирующей способности потока, а во-вторых, на основе следующих соображений.

Положим, что средняя скорость воды в канале равна v_1 (например, 0,6 *м/сек*). Этой скорости соответствуют вертикальные составляющие от $0{,}05\ v_1$ до $0{,}03\ v_1$ (от 0,030 до 0,018 *м/сек*), которым отвечает гидравлическая крупность частиц $d=0{,}15-0{,}25$ *мм*. Все частицы диаметром $d<0{,}15$ *мм* будут проноситься во взвешенном состоянии, а частицы $d>0{,}15$ *мм* будут осаждаться в канале. Определим далее, какой процент частиц ($d\geqslant 0{,}15$ *мм*) по объему содержится в речной воде, поступающей в канал. Если, например, общая мутность воды по объему $\varrho=0{,}5\%$, а содержание частиц $d\geqslant 0{,}15$ *мм* в наносах составляет 8%, т. е. $0{,}5\cdot 0{,}08=0{,}04\%$ по объему, то расход воды в канале Q *м*^{3}*/сек*, при продолжительности работы T суток в году, дает ежегодный объем наносов, отлагающихся в канале, равный $864\,T\,Q\ 0{,}040$ *м*^{3}, причем диаметр их будет $d\geqslant 0{,}15$ *мм*. Все остальные наносы при средней скорости воды в канале $v=0{,}6$ *м/сек* будут вынесены.

Кроме незаиляемости, значение минимальной скорости *определяется условиями незарастания канала*. Поэтому абсолютное значение минимальной скорости должно быть 0,50 *м/сек* для крупных и 0,30 *м/сек* для малых каналов.

Минимальная фильтрация

Выше в главе о потерях воды на фильтрацию в каналах было указано одно из выражений для значения $\alpha=\frac{b}{h}$, при котором получается минимум фильтрации:

$$\alpha=2\left(\gamma\sqrt{1+\varphi^2}-\varphi\right),$$

где $\gamma=1{,}0\div 1{,}4$—коэффициент поправки на капиллярное действие боковых откосов.

Таким образом, условия минимальной фильтрации воды требуют несколько более уширенной формы поперечного сечения каналов (по сравнению с наивыгоднейшей в отношении максимума R), и тем более, чем сильнее выражены капиллярные свойства грунта откосов. Это условие имеет значение при фильтрации без подпора.

Наибольшая пропускная способность

Наибольшая пропускная способность канала при заданной площади поперечного сечения получается при максимальном значении скорости, гидравлическом радиусе и минимуме периметра смоченной поверхности.

Принимая предыдущие обозначения, имеем:

$$R = \frac{F}{P} = \frac{\alpha+\varphi}{\alpha+S} h = \frac{\sqrt{\alpha+\varphi}}{\alpha+S} \sqrt{F},$$

где $S = 2\sqrt{1+\varphi^2}$, $\alpha = \frac{b}{h}$, φ — заложение откосов.

При данной величине F значение R будет максимум, т. е. F будет иметь гидравлически наивыгоднейшую форму при

$$\alpha = \frac{b}{h} = S - 2\varphi = 2\left(\sqrt{1+\varphi^2} - \varphi\right).$$

Значение R при гидравлически наивыгоднейшей форме поперечного сечения, т. е. при $\alpha = S - 2\varphi$, равно:

$$R = \frac{\alpha+\varphi}{\alpha+S} h = \frac{S-\varphi}{2S-2\varphi} h = \frac{h}{2},$$

т. е. равно половине глубины воды в канале.

Однако величина R при одном и том же заложении откосов сравнительно слабо зависит от α; отношение $\frac{\sqrt{\alpha+\varphi}}{\alpha+S}$, которому пропорциональны значения R при разных α (при одних и тех же F и φ), изменяется от 0,368 при $\alpha = 1$ до 0,306 при $\alpha = 5$ (при $\varphi = 1$).

Иначе говоря, небольшое отступление от наивыгоднейшего значения R дает значительные изменения отношения $\alpha = \frac{b}{h}$. Между тем от величины $\alpha = \frac{b}{h}$, при заданном расходе воды в канале Q, существенно зависят условия производства работ и действия канала, необходимая скорость течения воды и уклон канала, т. е. стоимость канала и его эксплуатации. Поэтому при расчете каналов и определении его размеров (b, h, I, v) при заданных Q, φ, h (а часто v или I) к условию получения гидравлически наивыгоднейшего сечения нельзя подходить формально, а нужно учитывать и другие требования, предъявляемые к данному каналу, путем сравнения различных вариантов сечения канала (при данных Q, φ и различных v, I), чтобы можно было обеспечить наивыгоднейшие условия работы и стоимость данного канала[1].

Устойчивость русла каналов

Поперечное сечение канала должно обладать достаточной устойчивостью в отношении незаиляемости, неразмываемости и отвечать конструктивным требованиям при наименьшей стоимости строительства и содержания канала.

Выше было показано, что для обеспечения неразмываемости и незаиляемости каналов средняя скорость течения воды v_0 должна находиться в пределах $v_{\text{нез}} \leqslant v_0 \leqslant v_{\text{неразм}}$. Однако определение $v_{\text{нез}}$ и $v_{\text{неразм}}$ сопряжено часто с большими трудностями как в силу слабой изученности вопроса, так и по причине обычно недостаточной для надежных расчетов характеристики грунтов. В связи с этим и учитывая, что определяющей величиной в установлении параметра каналов является расход воды, ниже приводятся некоторые определения элементов устойчивого сечения каналов на основе статистической обработки материалов наблюдений на существующих каналах (так называемые морфометрические характеристики).

С. А. Гиршкан на основе обработки проектного материала по различным каналам дает такое значение отношения $\alpha = \frac{b}{h}$ для устойчивых сечений оросительных каналов $\alpha = 3Q^{0,25} - \varphi$. Эта формула является осредненной для различных рассмотренных автором каналов.

Глубина воды в крупных оросительных каналах редко допускается больше 4,5 *м*. По исследованиям С. Т. Алтунина[2], связь между средней глубиной воды в устойчивых

---

[1] Методы и примеры такого рода расчетов см. А. А. Угинчус. Каналы и сооружения на них. М., 1953. *Прим. автора.*

[2] С. Т. Алтунин. Выправительные, защитные и регулировочные сооружения на реках. Сельхозгиз, М., 1947. *Прим. автора.*

руслах H и шириной живого сечения по урезу воды (B м) определяется так: $B^m = kH_{ср}$, причем коэффициент $k = 6 \div 8$ при мелкопесчаном грунте и $k = 8 \div 10$ при илистом и очень мелком песчаном грунте; показатель степени m изменяется от 1 при больших уклонах до 0,5 при малых уклонах.

Г. С. Чекулаевым (САНИИРИ) на основании исследования каналов в Средней Азии даются такие зависимости для устойчивых русел (главным образом в отношении неразмываемости):

1) $v_к = v_0 Q^{0,0\,83}$;

2) $R_к = \frac{0,27}{v_к}\sqrt{Q}$;

3) $P_к = 3,7\sqrt{Q}$ м;

4) $I_к = \frac{0,0058 v_0^{1,6}}{\sqrt{Q}}$;

5) $w_к = 1,56 v_0^{1,6}$;

6) $n_к = 0,027\sqrt{v_0}$.

Здесь $n_к$ — коэффициент шероховатости;

$w_к$ — критическая полная работа потока, равная $w_к = \gamma R_к I_к v_к$ *кг·м/сек* на 1 $м^2$ смоченной поверхности;

v_0 — критическая скорость при $Q = 1$ $м^3/сек$; значение v_0 зависит от характера грунтов русла; оно приводится в таблице 31.

Таблица 31

Грунт	v_0 (в *м/сек*)	$n_к$	$w_к$ (в *кг·м/сек* на 1 $м^2$)	v — скорость размыва (в *м/сек*)
Ил, тонкий песок	0,39	0,017	0,020—0,021	0,42
Супесь, легкий лесс	0,49	0,019	0,058—0,059	0,55
Легкий суглинок	0,56	0,020	0,108—0,110	0,65
Крупный песок, средний лесс	0,63	0,021	0,187	0,75
Глина, плотный лесс	0,71	0,022	0,324	0,87
Мелкий гравий	0,79	0,024	0,470	0,95
Гравий, плотная глина	0,87	0,026	0,824	1,10
Крупная галька, очень плотная глина	1,39	0,031	6,01	1,85

Каналы, имеющие $w_к = \gamma RIv \leqslant 0,15$ *кг·м/сек* на 1 $м^2$, неустойчивы — плохо сопротивляются размыву и частицы грунта в них легко взвешиваются потоком.

Приведенные зависимости показывают, что устойчивые русла имеют широкие сечения с относительно большим значением $\frac{b}{h}$. Чаще значение $\alpha = \frac{b}{h}$ меняется от 1 до 5; при $\alpha > 12 \div 15$ динамическая ось потока может блуждать по поперечному сечению канала, вызывая местные размывы и отложения. Поэтому отношение $\alpha > 15$ в оросительных каналах в легко размываемых грунтах редко допускается.

Для устойчивости русла канала угол заложения откосов должен соответствовать углу естественного откоса грунта в мокром состоянии (табл. 33) и гидрогеологическим условиям трассы канала.

Так как каналы должны строиться механическим путем, при установлении их сечения следует считаться с тем, какой профиль лучше и эффективнее может выполняться теми землеройными машинами, которые будут работать на канале, и со способом производства работ; кроме снижения стоимости, это обстоятельство ускорит темпы производства работ. При выполнении каналов экскаваторами лучший профиль — параболический. Существующие машины для мелкой сети (канавокопатели и грейдеры) рассчитаны на трапецеидальный профиль. Вопрос о взаимной увязке профилей каналов и механизмов для выполнения их требует специальной разработки.

Гидравлический расчет каналов

В основу гидравлического расчета оросительных каналов кладутся: рассмотренные выше условия, режим работы канала, уклон, степень шероховатости русла, характер грунтов.

Расчет каналов при равномерном движении воды производится по формулам:

$$Q = Fv; \quad v = C\sqrt{RI}.$$

При неравномерном движении воды в канале, при образовании кривых подпора или спада, гидравлический расчет каналов на этих участках производится по методам неравномерного движения (Н. Н. Павловского, И. И. Агроскина).

Расход воды в канале Q обычно величина заданная; часто задан и уклон канала I (или определены его пределы).

Для разных каналов значения коэффициента шероховатости n принимают по таблице 32.

Таблица 32

Грунт, характер русла, облицовка	n в формуле Павловского
Плотный грунт (глина, лесс, мелкий гравий), русло чистое, правильной формы	0,020—0,025
То же, но:	
русло извилистое	0,025—0,0275
русло засоренное или заросшее	0,0275—0,030
Гравий с песком	0,025—0,0275
Галька	0,0275—0,030
Очень гладкая цементная штукатурка	0,010—0,013
Сечения в скале гладкие	0,020—0,035
Очень неровная скальная поверхность	0,040—0,045

Коэффициент n для естественных русел следует определять на основе непосредственных измерений или по аналогии с другими сходными руслами. Величину n нужно установить возможно точнее: преуменьшение n снижает фактическую пропускную способность канала; при увеличении же n по сравнению с действительным могут получиться очень большие скорости и размыв русла. Коэффициент шероховатости в течение периода работы канала может изменяться: зарастание и засорение канала увеличивают n, заиление может уменьшить n. Увеличение шероховатости уменьшает среднюю скорость течения воды и соответственно увеличивает глубину воды в канале, что может вызвать опасность переполнения канала; уменьшение шероховатости увеличивает скорость и уменьшает глубину воды в канале, что может сделать горизонт воды недостаточным для работы регуляторов. Поэтому при расчете каналов надо определить те крайние изменения коэффициента шероховатости n, какие могут иметь место в данном канале, и проверить пропускную способность, горизонты воды, уклоны и скорость не только при нормальном значении коэффициента шероховатости русла, но и при минимальном и максимальном его значении.

Исходя из значений n и условий незаиляемости (или необходимой транспортирующей способности) и неразмываемости, определяют минимальный и максимальный уклоны канала. Каналы, проектируемые с малыми уклонами (на местности со значительным уклоном), требуют большего числа перепадов, более высоких дамб, но зато командуют большей площадью. Каналы с большими уклонами дают меньшее число перепадов, меньший объем земляных работ, меньше заиляются, но зато командуют меньшей площадью. Все эти обстоятельства должны быть взвешены при окончательном выборе уклона канала.

Для этого должны быть сопоставлены несколько вариантов различных уклонов канала I при заданном расходе воды в канале (Q), крутизне откосов (φ) и коэффициенте шероховатости (n). Наибольший уклон канала, отвечающий максимально допустимой неразмывающей скорости, обеспечивает минимум живого сечения и объема земляных работ, незаиляемость русла, но он снижает размеры орошаемой из него площади, т. е.

эффективность его, и может даже вызвать необходимость механической подкачки воды для орошения всей площади, командуемой при меньшем уклоне канала. Наивыгоднейшим является тот уклон канала, который дает наименьшую сумму ежегодных затрат по погашению строительной стоимости канала, по поддержанию незаиляемости его, по возмещению потерь, связанных с уменьшением орошаемой площади (или по затратам на подкачку воды для сохранения этой площади).

Кроме того, при проектировании оросительных каналов необходимо стремиться, чтобы уклон и скорость в них по длине постепенно возрастали во избежание заиления канала.

Так как расход воды по длине канала может уменьшаться, то поперечное сечение его можно спроектировать трояко, сохраняя по длине канала постоянными: 1) скорость воды v, соответственно изменяя уклон I и живое сечение F; 2) живое сечение F(b или h), соответственно изменяя I и v; 3) уклон I, соответственно изменяя v и F. Тот или иной из этих приемов должен быть выбран применительно к конкретным условиям работы канала.

Гидравлический расчет каналов, удовлетворяющий вышеуказанным условиям, ведется путем последовательных приближений или же непосредственно, например по методу И. И. Агроскина[1].

При проектировании поперечного сечения каналов следует делать расчет и поверку как для максимального, так и для минимального расходов воды в канале. При минимальном расходе воды необходима поверка незаиляемости, условий командования и нужной высоты подпора.

Поверки ведутся: на заиление — по $Q_{мин}$ и $n_{макс}$; на размыв и на командование — по $Q_{нор}$ и $n_{мин}$; на командование при малых расходах и для установления места подпорных сооружений — по $Q_{мин}$ и $n_{мин}$; высота дамб определяется по $Q_{форс}$ и $n_{макс}$. Временные оросители поверяются только на размыв и командование по $Q_{нор}$ и $n_{мин}$.

КОНСТРУКЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Каналы в открытых оросительных системах делаются обычно земляными. Конструкция их зависит от условий командования, назначения, формы сечения и расположения канала, характера грунта.

Сечения магистрального канала в холостой части и крупных ветвей, проходящих в выемках и по склонам, предпочтительнее делать с максимальным значением R (приближающимся к гидравлически наивыгоднейшему), но с учетом остальных условий; это позволяет уменьшить уклон канала (при сохранении нужной скорости воды) и благодаря этому вывести канал на более высокие отметки, что увеличивает площадь командования. Если уклон трассы мал, увеличение R ведет к увеличению скорости движения воды и более быстрой ее доставке к месту потребления.

Рабочая часть магистрального канала, межхозяйственные и хозяйственные распределители, горизонт воды в которых должен командовать над горизонтами младших каналов, устраиваемых обычно частью в выемке, частью в дамбах, имеют, как правило, большее значение $\alpha = \frac{b}{h}$, что обусловливается требованиями производства работ и эксплуатации.

Величина α зависит также от уклона канала: при малых уклонах приходится уменьшать α, чтобы увеличить R и скорость движения воды и не снижать командования канала; при больших же уклонах нужно увеличивать α, чтобы уменьшить скорость движения воды, сократить число перепадов.

Достоинства широких, но неглубоких сечений каналов следующие: 1) большая устойчивость русла против размыва; 2) лучшие условия командования воды; 3) часто более выгодные условия постройки (меньшая высота дамб).

К недостаткам таких каналов следует отнести: 1) более широкие пролеты мостов и увеличенные размеры искусственных сооружений на каналах;

[1] И. И. Агроскин и др. Гидравлика. М., 1954.

2) меньшие скорости движения воды при одном и том же уклоне и расходе воды; 3) быстрое зарастание каналов; 4) удорожание противофильтрационной одежды; 5) при больших расходах воды, особенно на закруглениях, возможность получения вихревых течений, размывов и неправильного действия канала.

При проектировании каналов должны быть конкретно учтены указанные достоинства и недостатки.

Поперечное сечение оросительных каналов по мере движения от головы системы к полям изменяется: от сечения, идущего большей частью в выемке в холостой части магистрального канала, к сечениям с большим объемом насыпи в рабочей части его и в распределительной и оросительной сети.

Откосы каналов, сообразно с углом естественного откоса грунта, делаются от половинных — для очень связных грунтов, до двойных — для легких грунтов. Чаще применяются одинарные и полуторные откосы.

Ориентировочные значения коэффициентов внутренних мокрых откосов каналов φ для разных грунтов приведены в таблице 33.

Меньшие величины φ относятся к внутрихозяйственным и менее крупным каналам, а большие — к каналам с расходом воды выше 10 *м*³/*сек*. Заложения откосов сбросных каналов при глубине до 3 *м* делаются от 1 до 1,50, увеличиваясь с глубиной выемки и насыщенностью грунта водой.

Если на откосе выемки выклиниваются грунтовые воды, то заложение откоса φ увеличивается.

Таблица 33

Грунты	φ
Пески пылеватые	1,75—2,25
Супеси »	1,50—1,75
Гравелистые сцементированные	0,75—1,25
» рыхлые с песком	1,50—1,75
Суглинок, глина, лесс	1,0—1,50
Галечниковые сцементированные	0,75—1,0
» рыхлые с песком	1,0—1,50
Плотная глина, конгломерат, известняки	0,50—0,75
Скальные грунты	0,00—0,25

На засоленных грунтах приведенные в таблице 33 значения φ увеличивают на 0,15—0,20.

Ширина дамб поверху, если по ней нет дороги, делается равной от 0,5—1 до 3 *м* при расходах воды в канале от 0,5 до 30 *м*³/*сек*, увеличиваясь с глубиной воды в канале. Если канал имеет подсыпное дно, а также при сильно проницаемых грунтах, ширина дамб поверху увеличивается на 15—20%.

Если по гребню дамбы проходит дорога, то ширину дамб принимают в соответствии с классом дороги. Профиль дамб определяется, исходя из фильтрационных свойств грунта дамб, при высшем уровне воды в канале. Высота гребня дамбы, после осадки, над уровнем форсированного горизонта воды в канале принимается от 0,20 до 0,75 *м*, в зависимости от расходов воды в канале (до 30 *м*³/*сек*), а для каналов, проходящих целиком в дамбах, на 25% выше указанных величин. Для временных оросителей превышение дамбочек делается на 0,10 *м*. Бермы устраиваются при глубине канала больше 5 *м*; они делаются на уровне нормального запаса над высшим горизонтом воды в канале. Ширину берм принимают в 1 *м* при расходе воды в канале до 10 *м*³/*сек* и в 1,5—2 *м* при бо́льших расходах воды. Если по берме проходит дорога, то ширина бермы соответственно увеличивается. Бермы предохраняют грунт от оползания и облегчают надзор за каналом и чистку его. В скальных грунтах бермы не делают.

Рассмотрим поперечные профили оросительных каналов в выемке, полувыемке-полунасыпи и в насыпи.

Канал в выемке

Площадь выемки равна:

$$F+\frac{F}{2}\frac{(2\varphi+\alpha)^2}{(\varphi+\alpha)(\varphi_1-\varphi)}=F\left\{1+\frac{(2\varphi+\alpha)^2}{2(\varphi+\alpha)(\varphi_1-\varphi)}\right\},$$

где F — живое сечение канала;

φ — откос канала;

φ_1 — откос склона, по которому идет канал;

$\alpha=\frac{b}{h}$ — отношение ширины по дну к глубине воды в канале.

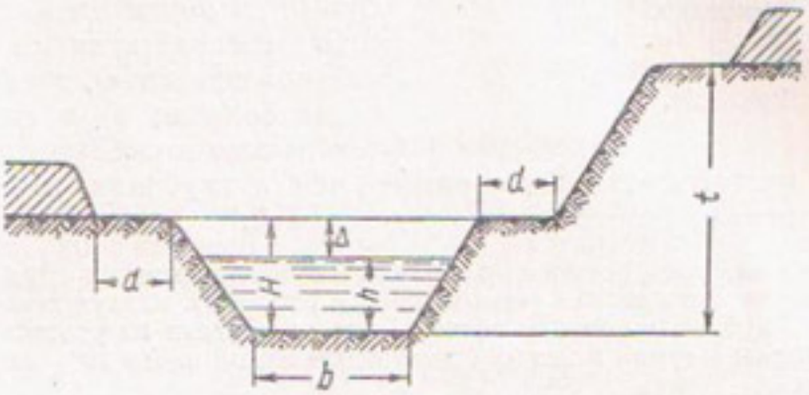


Рис. 118.

При сплошной выемке (каналы сбросные, бетонированные с малым I и др.) выгоднее глубокие и узкие сечения с максимумом R, так как они дают меньший объем земляных работ, особенно на крутых склонах. Выемка не должна доходить до водопроницаемых пород во избежание повышенных потерь воды. Сечение в выемке для распределителей применимо, когда канал

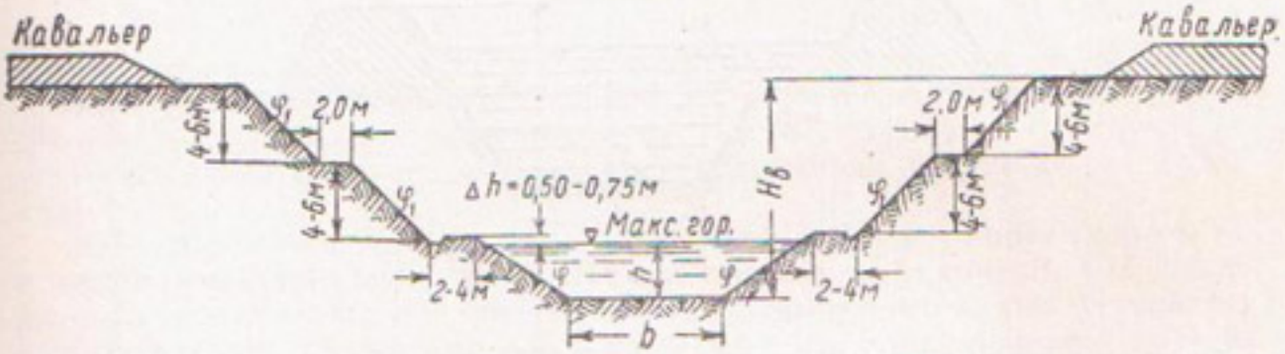


Рис. 119. Типовое поперечное сечение оросительного магистрального канала в глубокой выемке.

проходит по водоразделу или по крутому склону: только тогда горизонт воды в нем будет командовать над местностью.

На рисунке 118 показан нормальный профиль при односторонней выемке глубиной $t=5\div7$ *м*.

Откосы канала выше бермы делают возможно круче, в зависимости от угла естественного откоса сухого грунта. Ширину бермы принимают равной $d=\frac{t-H}{2}$, где $(t-H)$ — глубина выемки над бермой, но не меньше 1 *м*.

Откосы кавальеров делают пологими — 1,5 : 1 или 2 : 1. При глубоких выемках (рис. 119) бермы устраивают через каждые 4—6 *м* по высоте с уклоном от оси канала и особыми водостоками для спуска воды.

Сечение в выемке, как указано выше, присуще главным образом холостой части магистрального канала или крупным ветвям. Для глубоких выемок должна быть сделана поверка устойчивости откосов по методам механики грунтов

Канал в полувыемке-полунасыпи

Сечение канала в полувыемке-полунасыпи наиболее распространено в оросительных каналах: его форма, при различных отношениях $\alpha = \frac{b}{h}$, сказывается на объемах земляных работ и горизонтах воды следующим образом: а) при увеличении α объем выемки изменяется слабо, но выемка для мелких каналов стоит дешевле; б) слой воды, командующий над орошаемой поверхностью, при различных α почти одинаков, но объем воды, господствующий над орошаемой поверхностью, при широких каналах больше; в) в широких каналах всякие колебания расходов воды сказываются на горизонте воды слабее, чем в глубоких, а это важно для работы сооружений, особенно распределителей.

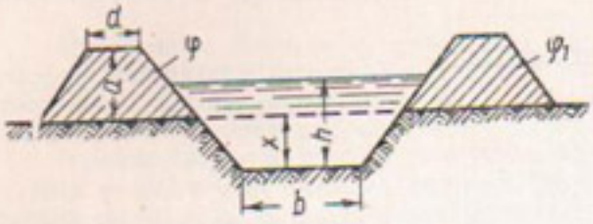


Рис. 120.

Наиболее целесообразно сечение в полувыемке-полунасыпи в том случае, когда объем выемки может быть сделан равным объему насыпи (т. е. двух дамб плюс 10—30% на осадку их). Глубина выемки x может быть определена из условия (рис. 120), что площадь выемки равна сумме площадей дамб с прибавкой около 20% на осадку грунта, т. е.:

$$(b + \varphi x)\, x = 2{,}4 \left(d + \frac{\varphi + \varphi_1}{2} a \right) a.$$

Прибавка на осадку дамб берется в зависимости от характера грунта: в песчаных грунтах 10%, в суглинках 15, в глинистых грунтах 20 и в лессах до 30%.

Если глубина канала меньше 5 *м*, то бермы не устраивают (рис. 121, справа), так как они уменьшают значение гидравлического радиуса R и спо-

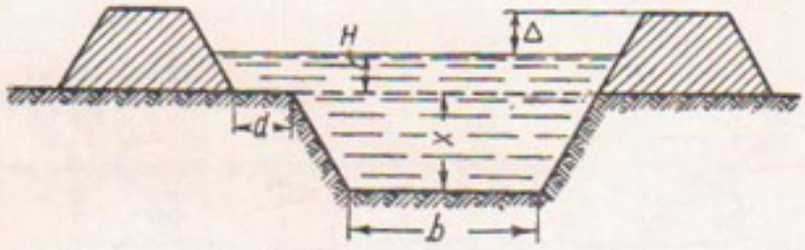


Рис. 121.

собствуют заилению и зарастанию канала. Иногда бермы делаются временными, если предполагается дальнейшее расширение сечения канала. Ширину дамб поверху принимают в соответствии с указанным выше; ширину основания дамб делают не меньше $5H$ до $10H$, где H — слой воды в канале над поверхностью земли, в зависимости от проницаемости грунта.

Сечение канала в полувыемке-полунасыпи применяется главным образом в распределительных каналах.

Канал в насыпи

Распределительные каналы в насыпи иногда приходится делать при пересечении пологих низин и на местности с очень малым уклоном. В этих каналах вода господствует над поверхностью, легко выводится на поле, хорошо устанавливаются водомеры. Но каналы в насыпях имеют и недостатки: 1) они дороже каналов в выемках; 2) насыпь может быть прорвана водой; 3) они требуют больших резервов, что сокращает орошаемую площадь.

Дамбы надо по возможности делать из малопроницаемого грунта и тщательно уплотнять их (вследствие разрыхления грунта в резерве).

Внутренние и особенно наружные откосы у сечений в насыпи делают более пологими. Каналов в насыпи, ввиду их дороговизны, опасности прорывов водой, большой потребности в земле и широких полос отчуждения

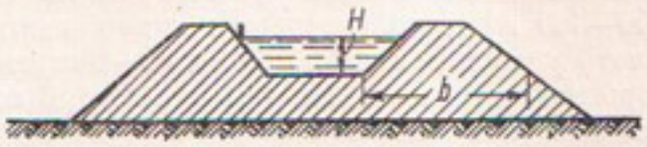


Рис. 122.

вдоль них, нужно избегать (особенно с подсыпным дном, рис. 122). Ширина дамбы b на уровне дна канала должна быть от $5H$ до $10H$ (в зависимости от проницаемости грунта дамб), где H — глубина воды в канале.

Канал на косогоре

Если канал проходит по крутому склону и не может быть сделан полностью в выемке, то с низовой стороны его устраивают дамбу, причем желательно, чтобы все живое сечение канала помещалось в выемке. Откосы дамбы

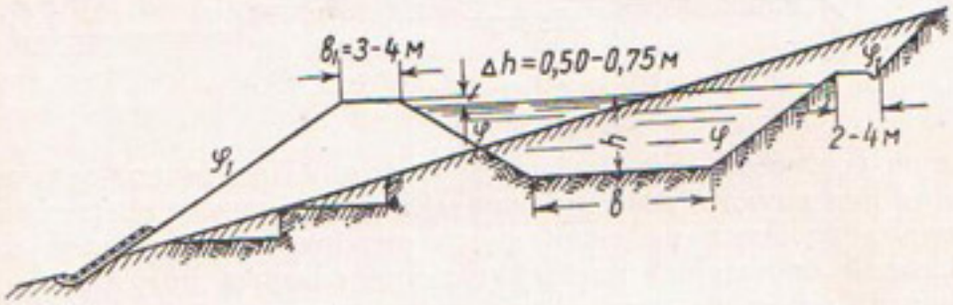


Рис. 123. Поперечное сечение оросительного канала на косогорном участке.

принимают от 1,5 до 2, в зависимости от свойств грунта, крутизны склона и размеров канала. При строительстве каналов на склонах очень важно обеспечить устойчивость откосов канала и дамб от оползней (разгрузка от давления кавальеров, недопущение переувлажнения подстилающих слоев и др.).

Общий вид сечения представлен на рисунке 123. При косогоре с уклоном 0,1 и круче основание дамбы должно быть сделано уступами. Во избежание размыва откосов стекающими со склона водами, необходимо устройство нагорных канав. Со стороны косогора делают берму шириной от 2 до 3 *м*.

Резервы земли при устройстве дамб

Земля для насыпки дамб оросительных каналов берется из выемки тех же каналов (в случае сечения в полувыемке-полунасыпи) или близлежащих сбросных каналов; если же объема выемок для этого недостаточно, то земля берется из специально закладываемых *резервов*. Устройство резервов допускается только для межхозяйственных каналов. Резервы могут быть внутренние и внешние.

Внутренние резервы делают в дне оросительного канала в виде углубленных против проектного дна выемок, разделенных перемычками длиной 2—3 *м*, чтобы не было течения воды. Постепенно внутренние резервы заиляются. Глубина внутренних резервов должна быть такова, чтобы они не доходили до водопроницаемых грунтов и не увеличили фильтрации воды из канала (обычно не более 0,80 *м*). Метод внутренних резервов широко применялся на строительстве Большого Ферганского канала имени Сталина.

Внешние резервы закладывают с наружной стороны дамб на расстоянии не меньше 1 *м* от подошвы их — при глубине резерва 0,5 *м* и на расстоянии 2 *м* — при глубине резерва 1 *м*. Глубину резервов делают такой, чтобы воду из них можно было легко спускать в существующую сбросную сеть, т. е. не глубже ее (0,50—1,0 *м*). Дно резервов должно иметь уклон в сторону сбросов. Возможность удаления воды из резервов—непременное условие правильной работы оросительной системы, так как застой воды в резервах вызывает заболачивание и засоление почвы.

Длинные резервы при более или менее значительных уклонах должны иметь перемычки, чтобы не было течения воды в них и размыва грунта. В местах пересечения двух каналов резервы прерываются и оставляются полосы земли шириной 30—40 *м*. Откосы резервов делают одинарными, ширина по дну их зависит от объема требуемой для насыпей земли. Всю полосу зем-

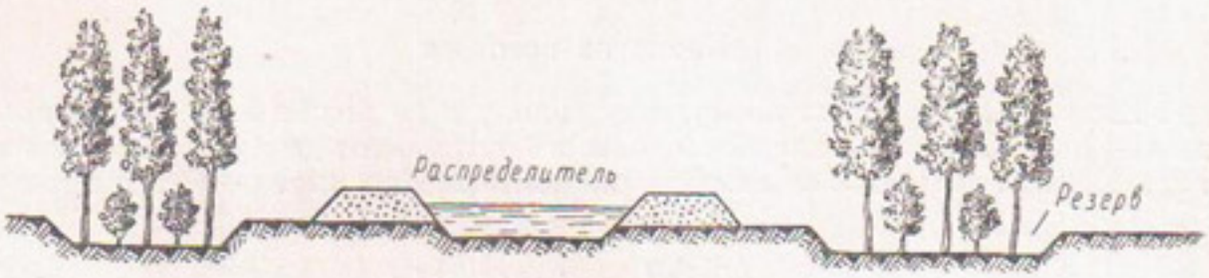


Рис. 124.

ли, занятую резервами, засаживают деревьями. Поперечное сечение полосы отчуждения под канал и резервы показано схематически на рисунке 124.

Закладка внешних резервов вдоль оросительных каналов влечет потерю полезной орошаемой площади; такие резервы могут стать источниками развития сорняков, вызвать заболачивание полей и создать очаги для размножения малярийных комаров. Поэтому нужно всячески избегать устройства внешних резервов; если же закладка их неизбежна, то следует предусматривать меры по уменьшению указанных вредных последствий. Для этого нужно соответствующее проектирование поперечного сечения каналов: применение по возможности внутренних резервов, уменьшение размеров внешних резервов, их засыпка и выравнивание (при планировке полей), посадка деревьев и правильное содержание резервов. *Внутрихозяйственные каналы должны строиться без закладки постоянных резервов*, а временно сделанные резервы при устройстве этих каналов должны засыпаться в увязке с планировкой полей.

Ширина полосы отвода земли под постоянные каналы и резервы зависит от размеров канала и способа производства работ и должна быть минимальной, чтобы полезная орошаемая площадь не терялась. Эта ширина включает ширину канала, берм, кавальеров, дамб, резервов. Земли, занятые временными оросителями (кроме русла их), не выключаются из орошаемой площади.

Деформации каналов

Поперечное сечение земляных каналов, после постройки и начала пуска воды, нередко, в той или иной степени, деформируется. Наиболее тяжелые деформации оросительных каналов происходят вследствие *просадок грунта*. Как отмечалось выше, просадочность свойственна преимущественно лессовым грунтам и не наблюдается в аллювиальных отложениях.

Явление просадки грунта наблюдается после насыщения его водой и состоит главным образом в вертикальном оседании частиц грунта и образовании вертикальных трещин вдоль канала, причем глубина просадок доходит до 2 *м* и более (рис. 125). Горизонтальные перемещения частиц (усадка) грунта при этом очень малы. В зависимости от свойств грунта явление про-

садки наступает через несколько дней или недель после пуска воды и прекращается через 2—4 года после начала действия канала.

Процесс просадки грунта идет по некоторой затухающей кривой: сначала резко и быстро, а затем медленно и с меньшей интенсивностью, хотя последующие деформации в сумме в некоторых случаях могут превысить начальную деформацию (особенно под сооружениями, с длительной фильтрацией в основании их).

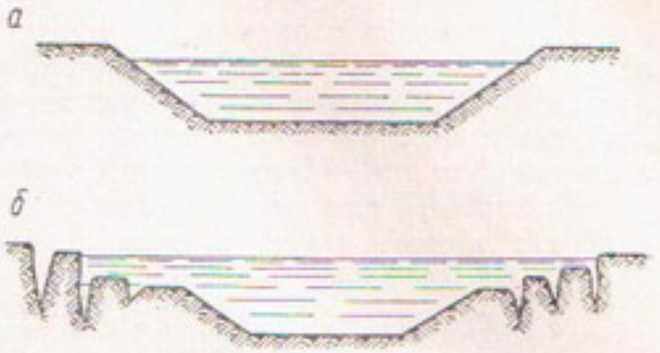


Рис. 125.

а — непросевший участок канала; *б* — просевший участок канала.

На орошаемой площади в результате просадок образуются блюдца и трещины.

На каналах просадки выражаются в опускании дна и откосов. Просадки каналов на Мало-Кабардинской оросительной системе (по данным В. С. Гвоздева) в поперечном разрезе и в плане представлены на рисунках 125 и 126. Длина, на которой проявляются просадки вдоль канала, колеблется от нескольких метров до сотен метров; ширина же просадочной полосы земли у канала составляет от нескольких метров до 100 *м*. При работе канала в месте образования просадок образуется широкое зеркало воды.

Просадки грунта вызывают серьезные деформации и повреждения искусственных сооружений на каналах (если, конечно, фундамент их не заложен на глубине, где грунт уже не подвергается просадкам).

Главная причина просадок лежит в изменении структуры почвогрунта под действием воды. В пористых, губчатого строения грунтах (как некото-

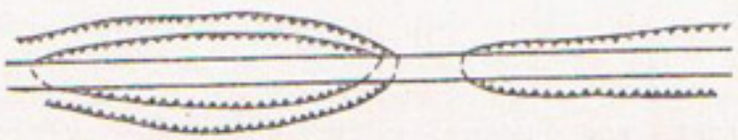


Рис. 126.

рые лессы) под влиянием поглощения воды ослабляются и теряют свою жесткость цементирующие вещества, поддерживающие более или менее прочное структурное сложение данного грунта, частицы уплотняются и грунт по мере насыщения водой начинает занимать все меньший и меньший объем, приобретая более плотное строение. Оседание в засоленных грунтах возможно вследствие выщелачивания водорастворимых солей и растворения гипса и извести, являющихся цементирующими веществами.

Величина просадки грунта, помимо увлажнения, очень сильно зависит от уплотняющего давления на грунт. При повышении давления в пределах до 3—5 *кг/см*^{2} просадочность грунта сильно увеличивается, достигая наибольшей величины в сильно пористых и менее глинистых грунтах Средней Азии и Центральной Украины (А. Л. Рубинштейн).

Если пористость грунта до промачивания его водой составляла, например, 50%, а после промачивания стала 40%, то степень просадочности этого грунта будет около

$$0{,}9 \cdot \frac{0{,}50-0{,}40}{1{,}0-0{,}50} = 0{,}18,$$

где 0,9 — коэффициент поправки на боковую усадку.

Перед началом ирригационного строительства должны быть установлены свойства грунтов в отношении возможности их просадок. Для этих целей должна быть изучена геология, геоморфология и микрорельеф района

и проведены пробные замочки грунта на разных участках по трассе каналов. Эти исследования должны установить степень участия воды в образовании данных грунтов и размеры возможных просадок.

В случае обнаружения возможности просадочности грунтов, при проектировании и строительстве должны быть приняты меры для предупреждения или ослабления вредного действия просадочных явлений.

Меры борьбы с просадками могут идти по двум основным путям: а) предупреждение самой возможности возникновения просадочности на достаточно длительный период времени или, наоборот, б) ускорение процесса просадок и введение его в такие рамки, при которых он протекает с наименьшим ущербом для строительства и сооружения.

Выбор того или другого из этих путей зависит от конкретных местных условий: причин просадочности грунта, размеров участка просадочных

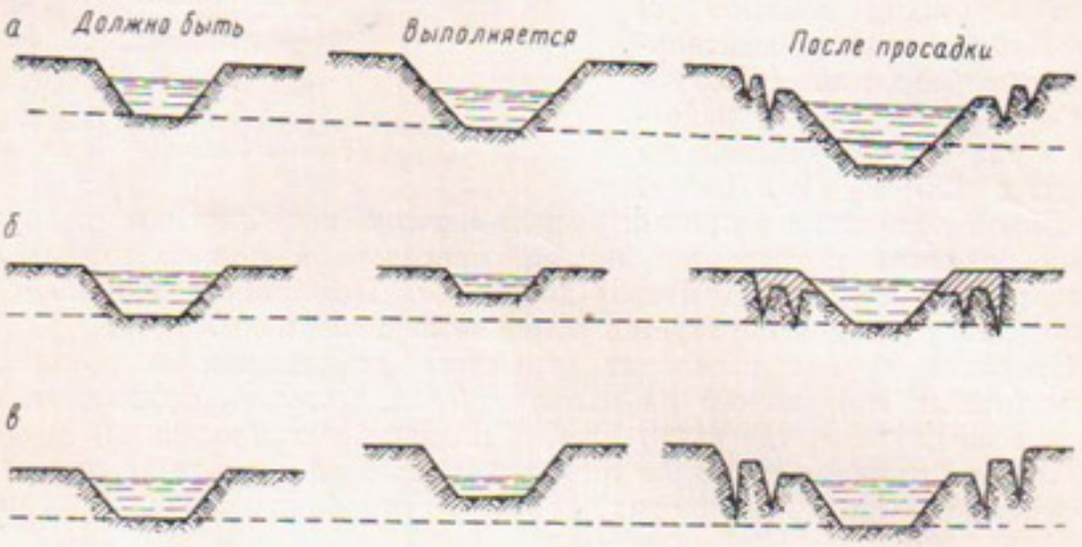


Рис. 127.

грунтов, характера сооружений, тщательности эксплуатации. Мероприятия по предупреждению просадочности на каналах состоят в применении гидроизоляции или антифильтрационных одежд на просадочных участках канала; эти мероприятия применяются главным образом в тех случаях, когда просадка грунтов обусловливается растворением содержащихся в грунте отложений растворимых солей и когда замочка грунта не может обеспечить прочности канала. Для предупреждения просадок требуются исключительно тщательные как эксплуатация всех каналов и сооружений, так и производство поливов на просадочных землях. Для сооружений и каналов в пылеватых, лессовых грунтах практически более надежен второй путь, сводящийся к следующим мероприятиям: 1) предварительная замочка (достаточно длительная) просадочных участков по трассе канала и тех мест, где намечены искусственные сооружения, путем устройства траншей или котлованов; 2) заложение оснований будущих сооружений ниже просадочных грунтов; 3) применение временных деревянных сооружений впредь до окончания просадки грунта; 4) выполнение сечений канала не на полную глубину с тем, чтобы после просадки дно канала установилось на нужной проектной отметке (рис. 127,*б*); принятие запаса в дамбах канала (рис. 127,*в*); 5) осторожная, постепенная замочка канала перед пуском его в работу; 6) устройство более пологих откосов и ряда берм в глубоких выемках канала; 7) тщательное промачивание и уплотнение грунта дамб канала и их основания; 8) применение траншей, глубоких шурфов и буровых скважин для хорошей предварительной замочки грунта.

Дальнейшее изучение явления просадок, вероятно, позволит наметить и другие меры борьбы.

2. ЗАКРЫТЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Как уже было указано, к числу недостатков оросительных систем открытого типа относятся: 1) значительные потери воды из каналов на фильтрацию и испарение; 2) необходимость приспособления расположения каналов к условиям рельефа местности; 3) потери площади под каналы и полосы отчуждения; 4) стеснение условий механизации сельскохозяйственных работ. Эти отрицательные стороны устраняются в закрытых оросительных системах, в которых все или часть оросительных каналов делаются в виде закрытых (подземных) трубопроводов.

Закрытые системы обладают следующими достоинствами.

1. В них почти полностью отсутствуют потери воды на фильтрацию и испарение в сети, так что к. п. д. системы, если не допускать потерь на полях, может быть очень высоким. Вследствие этого: а) не происходит питания грунтовых вод фильтрационными водами; б) экономно используются водные ресурсы источника орошения; в) расчетные расходы воды и пропускная способность всех элементов системы становятся значительно меньшими.

2. Поверхность орошаемых земель остается свободной от наземных каналов, отнимающих значительный процент полезной орошаемой площади и стесняющих условия продольной и особенно перекрестной механизации сельскохозяйственных работ; коэффициент земельного использования значительно повышается.

3. Облегчается распределение воды по орошаемой площади в сложных условиях рельефа и значительно сокращается удельная длина оросительной сети на единицу орошаемой площади.

4. Весьма полно может использоваться естественный напор в системе не только на движение воды в трубах, но при достаточных уклонах местности и на рационализацию и автоматизацию поливной техники и получение внутрисистемной гидроэнергии.

5. При наличии закрытых систем может быть существенно рационализировано сельскохозяйственное водоснабжение на орошаемых землях.

Недостатки закрытых систем: 1) большая потребность в промышленных строительных материалах (главным образом, в трубах) и более высокая стоимость на 1 *га* по сравнению с открытыми; 2) необходимость при небольших уклонах орошаемой местности (0,002 и меньше), когда естественное падение последней недостаточно, создания механического напора для движения воды в трубах; 3) очень небольшой пока опыт применения закрытых систем.

Однако указанные выше достоинства закрытых систем существенны и делают применение таковых перспективным при соответствующих экономических условиях. Кроме того, многие преимущества закрытых систем (например, повышение к. з. и., сокращение потерь воды и экономия воды) влияют на снижение удельной стоимости и повышение эффективности этих систем.

Закрытые системы могут быть напорными и безнапорными. В первом случае возможны при больших уклонах местности или дополнительной подкачке поливы дождеванием. Во втором случае поливы осуществляются самотечные или дождеванием посредством передвижных агрегатов, получающих энергию от самостоятельных двигателей.

Устраивать магистральные каналы и крупные распределители лучше в виде открытых бетонированных каналов или безнапорных трубопроводов — комбинированная система. Разработка закрытых систем орошения велась на кафедре мелиораций МИИВХ Н. И. Струковым и М. И. Павловым, а также во ВНИИГиМ Ф. И. Пикаловым; результаты этой разработки используются в дальнейшем изложении.

Напорные трубопроводы закрытых систем, помимо прочности и необходимой экономичности, должны удовлетворять также требованиям водонепроницаемости, небольшой шероховатости и способности выдерживать внешние нагрузки и гидравлический напор.

Этим условиям достаточно хорошо удовлетворяют асбестоцементные трубы. Они могут выдерживать давление воды в 5, 8 и 10 *атм* и выше, отличаются морозостойкостью, имеют временное сопротивление на сжатие 75—100 *кг/см*^{2}.

Коэффициент шероховатости асбестоцементных труб составляет около 0,011 при скоростях воды $v=1{,}0—1{,}5$ *м/сек*. При меньших скоростях значение коэффициента шероховатости повышается.

Слабой стороной асбестоцементных труб является их большая хрупкость и разрыв при падении даже с небольшой высоты и быстрое старение (потеря эластичности) резиновых колец при долгом соприкосновении с воздухом и при низких температурах.

Разрушающая нагрузка асбестоцементных труб на сжатие (раздавливание тракторами) составляет в среднем от 7 до 10 *т* на 1 пог. *м* длины трубы (при диаметре от 75 до 600 *мм*).

Трубы закладывают на глубину 0,70—0,90 *м*, считая от верха трубы. На высших точках перегиба напорных трубопроводов делаются клапаны для выхода воздуха, а в нижних точках необходимо устройство опорожнительных колодцев для спуска воды на зиму.

Во избежание гидравлических ударов необходимы клапаны обратного действия.

Вопрос о выборе полностью закрытой или комбинированной системы решается в зависимости от технико-экономических условий.

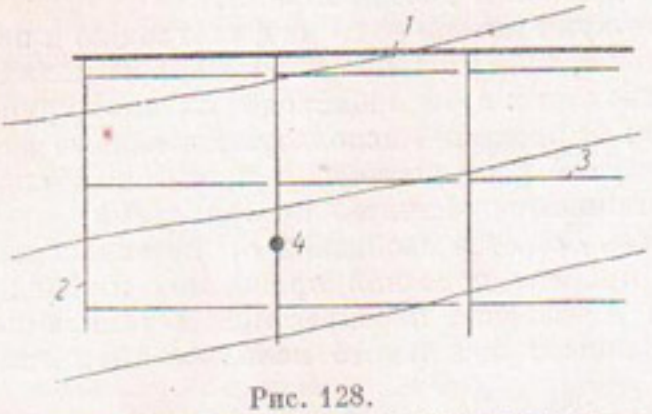


Рис. 128.

1 — магистральный трубопровод (или канал); *2* — трубопровод первого порядка; *3* — трубопровод второго порядка; *4* — ГЭС.

Каналы и трубопроводы закрытой системы могут быть расположены по двум основным схемам.

В первой схеме (рис. 128) магистральный закрытый трубопровод (или открытый бетонированный канал) идет по меньшему уклону. От него по большему уклону отходят трубопроводы первого порядка (межхозяйственные или хозяйственные), питающие водой трубопроводы второго порядка, идущие в направлении горизонталей с необходимым уклоном; эти трубопроводы в зависимости от размеров закрытой системы могут быть хозяйственными или внутрихозяйственными.

Во второй схеме (рис. 129) магистральный закрытый трубопровод (или бетонированный канал) идет по наибольшему уклону и от него в направлении горизонталей отходят с необходимым уклоном межхозяйственные или хозяйственные распределительные трубопроводы (первого порядка); от этих последних отходят в направлении уклона хозяйственные или внутрихозяйственные трубопроводы. На магистральном канале могут быть устроены малые ГЭС.

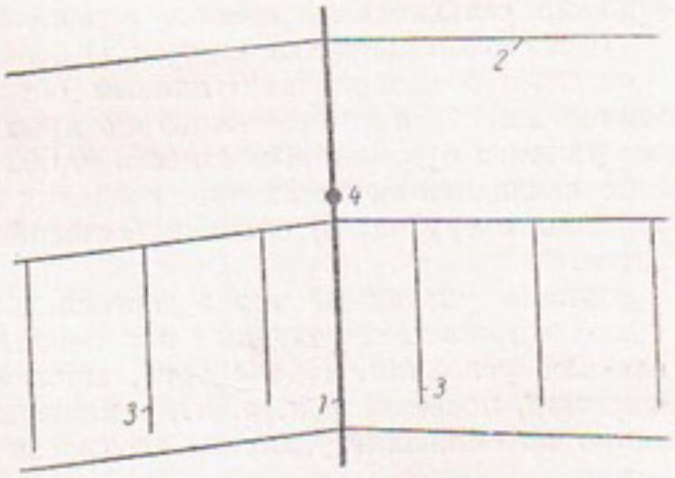


Рис. 129.

1 — магистральный трубопровод; трубопроводы первого порядка — *2* и второго порядка — *3*; *4* — ГЭС.

Выбор схемы расположения сети трубопроводов зависит от хозяйственных и топографических особенностей орошаемой территории.

Расположение внутрихозяйственной сети может быть следующим: от хозяйственного трубопровода нормально к горизонталям отходят распределительные трубопроводы (*1*, *2* и т. д.), а от них в направлении горизонталей с необходимым уклоном идут полевые трубопроводы (рис. 130). Полевые трубопроводы могут отходить и непосредственно от хозяйственного трубопровода (рис. 131). Расстояния между полевыми трубопроводами делаются от 100 до 800 *м*, в зависимости от техники полива.

Хозяйственный трубопровод должен иметь уклон не меньше 0,002—0,004, в зависимости от расхода воды. В зависимости от рельефа орошаемой площади он может быть направлен по косому направлению, как показано

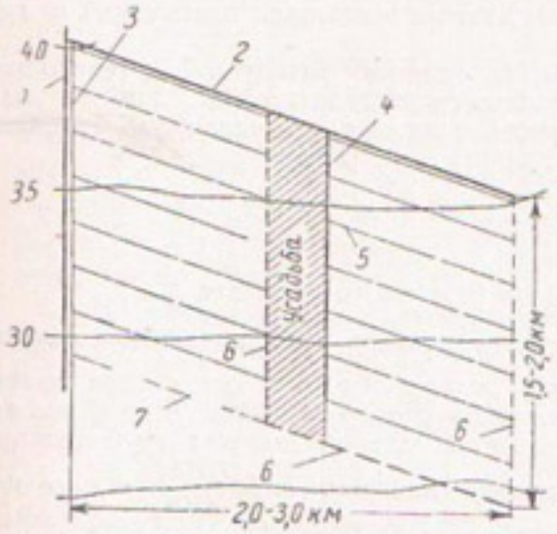


Рис. 130.

1 — межхозяйственный трубопровод; *2* — хозяйственный трубопровод; *3* — распределительный трубопровод первого порядка; *4* — распределительный трубопровод второго порядка; *5* — полевые трубопроводы; *6* — сбросной канал; *7* — граница хозяйства.

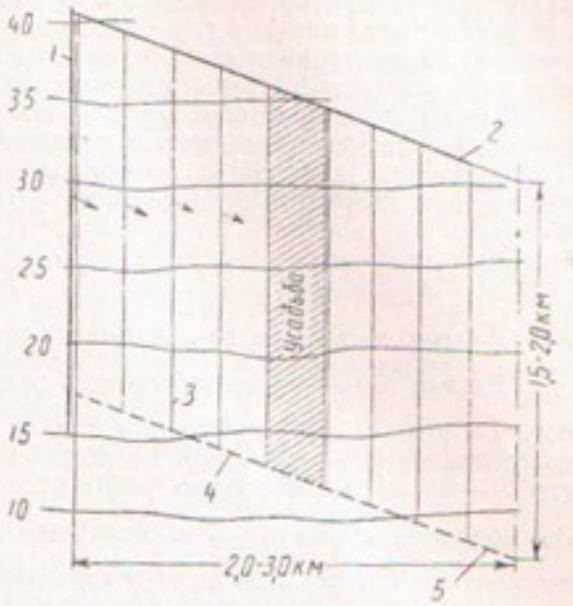


Рис. 131.

1 — межхозяйственный трубопровод; *2* — хозяйственный трубопровод; *3* — полевые трубопроводы; *4* — сбросной канал; *5* — граница хозяйства.

на рисунке 130, или по наибольшему уклону. Выбор расположения зависит от размеров и условий рельефа и конфигурации орошаемых участков, а также от техники полива (при дождевании, например, желательно использовать естественное падение местности).

Для опоражнивания трубопроводов от воды в конце оросительного периода и для промывки их от наносов полевые трубопроводы должны иметь возможность опоражнивания их в сбросной канал.

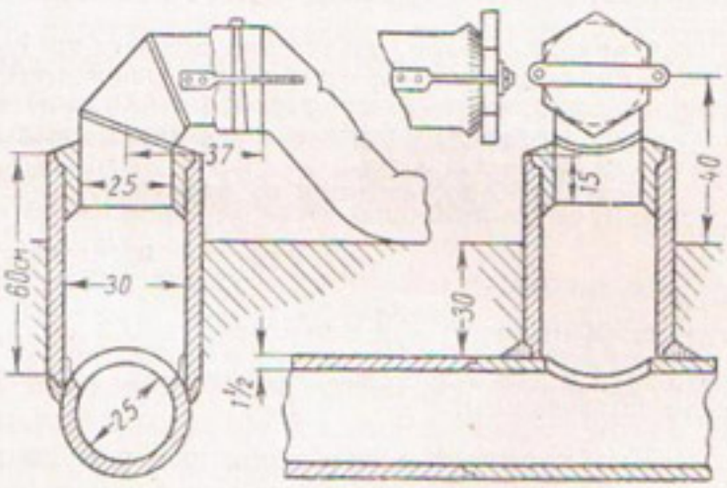


Рис. 132.

На более или менее крупных системах закрытого типа целесообразно кольцевание сети трубопроводов, так как оно позволяет уменьшать расходы воды и потери напора по отдельным линиям труб, выравнивать напоры воды в разных пунктах разводящей сети, не создавать застоя воды в трубах, удобно выключать из сети отдельные ее участки и обеспечивать большую надежность действия всей водопроводной системы. Расчет закольцеванности сети труб (определение связи расходов воды в них, диаметров труб и напоров воды по отдельным участкам) ведется методом интерполяции или другим, рассматриваемым в курсах водоснабжения.

Для выпуска воды из трубопроводов на поверхность устраивают гидранты, которые должны иметь достаточный напор воды на конце; при самотечной технике полива этот напор (для подачи воды в переносные трубы или рукава) должен быть около 0,5—1 *м* (рис. 132); при дождевании необходимый напор на конце гидранта определяется характером дождевальной установки и должен соответствовать потребному напору в насадках или дождевальных крыльях.

Полевые трубопроводы работают все одновременно или же в несколько очередей, причем на каждом трубопроводе могут работать один или несколько гидрантов, в зависи-

мости от характера орошаемых культур. Одновременно поливаемая площадь в хозяйстве равна lbN', где l и b — длина и ширина поливной площади из одного гидранта, N' — число одновременно работающих гидрантов на полевых трубопроводах.

Необходимый расход воды в хозяйственном трубопроводе в голове его определяется по графику режима орошения данного хозяйства. Если на хозяйственном трубопроводе отходящие от него полевые трубопроводы работают не все одновременно, а по определенной очереди, то пропускная способность его по длине должна оставаться постоянной (и может быть уменьшаема только на нижнем участке).

Темпы полива и обработки почвы должны быть увязаны между собой; если одновременно поливаемая площадь в хозяйстве, равная по предыдущему $N'bl$, должна быть полита средней поливной нормой m_0 *м³/га* в течение времени τ, то число одновременно работающих гидрантов в хозяйстве в это время должно быть равно:

$$N' = \frac{Q_0'\tau}{blm_0}\,86{,}4\cdot 10^4,$$

где Q_0' — расход воды в хозяйственном трубопроводе (в *л/сек*) в период $\tau_{сут}$.

Расход воды каждого гидранта, равный $p = \frac{Q_0'}{N'}$, должен быть не меньше поливного расхода p — при самотечном поливе и расхода дождевального агрегата — при поливе дождеванием (10—40 *л/сек*). Расход воды в полевом трубопроводе должен быть равен np, где n — число одновременно работающих гидрантов на данном полевом трубопроводе. За поливной период $t_{сут}$ в хозяйстве будет полита площадь $\omega' = \frac{tN'bl}{\tau 10^4}$ *га* средней нормой m_0 при расходе воды в хозяйственном трубопроводе $Q_0' = N'p$.

Расход воды в межхозяйственном трубопроводе в голове должен быть равен сумме расходов воды в хозяйственных трубопроводах, одновременно получающих из него воду. Пропускная способность его по длине уменьшается в соответствии с водооборотом. Число хозяйственных трубопроводов, приключаемых к одному межхозяйственному, может зависеть от расходов воды в них и от максимального диаметра труб имеющегося сортамента.

Скорость воды в трубах, при которой не отлагаются наносы, а уже отложившиеся наносы вымываются, определяется в зависимости от крупности и содержания наносов в воде. При песчаных наносах эта скорость должна быть не меньше 0,90—1,60 *м/сек*; при предварительно осветленной воде или илистых наносах скорость воды может быть понижена до 0,7—0,8 *м/сек*.

Увеличение скорости воды в трубах позволяет уменьшать их диаметр и удешевлять стоимость, повышает транспортирующую способность потока и самоочищаемость труб от наносов.

С другой стороны, увеличение скорости требует повышения напора воды в трубопроводе и, следовательно, бóльших уклонов местности или большей мощности механической подкачки, что часто невыгодно; поэтому в каждом данном случае нужно найти наивыгоднейшее значение скорости и связанного с ней диаметра труб; эта скорость составляет обычно около 1—1,2 *м/сек*.

Расчет труб производится по формулам:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}v \quad \text{и} \quad h_f = \xi\,\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{d},$$

где коэффициент $\xi = \frac{8g}{C}$ изменяется от 0,02 до 0,035; ξ тем больше, чем меньше диаметр труб и чем больше их шероховатость; значения ξ определяются по гидравлическим справочникам.

Необходимый напор воды для работы закрытой оросительной сети определяется следующим путем.

Остаточный напор воды на конце гидранта зависит от техники полива; при самотечном поливе он должен быть равен напору, необходимому для подачи поливного расхода воды p по выводному переносному трубопроводу или брезентовому рукаву на всю ширину поливного участка. При поливе дождеванием, при условии применения низконапорных агрегатов, напор должен доходить до 20—30 *м*.

Фактический же остаточный напор воды, какой должен быть на конце гидранта, наиболее удаленного от головы полевого трубопровода, равен:

$$H_ф = H_п + l_п I_п - h_п - z_п,$$

где $H_п$ — напор воды в голове полевого трубопровода;

$l_п I_п$ — падение на длине этого трубопровода до рассматриваемого гидранта;

$h_п$ — потери на трение и местные сопротивления в трубопроводе на рассматриваемой длине;

$z_п$ — глубина заложения полевого трубопровода.

Напор в голове полевого трубопровода $H_п$ равен:

$$H_п = H_м + l_м I_м - h_м + l_х I_х - h_х,$$

где $H_м$ — напор в голове межхозяйственного трубопровода.

Если вода забирается из открытого канала, то $H_м = z_м + H_0$, где $Z_м$ — глубина заложения межхозяйственного трубопровода, а H_0 — превышение горизонта воды в канале над поверхностью земли; $l_м I_м$ и $l_х I_х$ — падения на длине межхозяйственного и хозяйственного трубопроводов; $h_м$ и $h_х$ — потери напора на трение и местные сопротивления на длине этих трубопроводов.

Из приведенных выражений получается следующее значение фактического остаточного напора на конце гидранта:

$$H_ф = H_0 + \Sigma l' I' - \Sigma h_f + z_м - z_п.$$

Если необходимый остаточный напор на конце этого гидранта $H_н$ больше фактического ($H_н > H_ф$), то недостающий напор должен быть восполнен путем механической подкачки воды; она должна быть рассчитана на напор:

$$H_н - H_ф = H_н + \Sigma h_f - H_0 - \Sigma l' I' - z_м + z_п.$$

Чем больше падение трубопроводов и начальный напор в голове межхозяйственного трубопровода и меньше потери на трение в трубах, тем меньше потребный добавочный напор подкачки, и если:

$$H_н + \Sigma h_f = H_0 + \Sigma l' I',$$

то подкачки вовсе не нужно (при заданном $H_н$).

При самотечных способах полива использование естественных напоров в закрытых системах без добавочной подкачки возможно при уклонах орошаемых площадей не меньше 0,002; при поливе же дождеванием и применении низконапорных систем использование естественных напоров возможно только при уклонах не меньше 0,010 — 0,015 (и при этих уклонах — в нижних частях трубопроводов); в остальных случаях необходима механическая подкачка воды.

При необходимости механической подкачки в голове межхозяйственных трубопроводов устраиваются насосные станции; при этом в одном здании могут устанавливаться агрегаты, обслуживающие несколько хозяйств, и каждое хозяйство должно иметь самостоятельный агрегат. Мощность насосной станции зависит от требующегося напора подкачки, необходимого расхода воды, расположения и диаметра трубопроводов и др.

Естественный напор в закрытых системах для получения гидроэнергии может быть использован устройством ГЭС на магистральном канале, когда он идет по уклону местности, или же на ветвях магистрального канала, транспортирующего воду в нижележащие хозяйства. Таким путем может быть получена не только сезонная, но, в случае надобности, и круглогодовая энергия.

Закрытые системы орошения позволяют реконструировать сельскохозяйственное водоснабжение (это требует устройства отдельного трубопровода, очистных сооружений и водонапорного резервуара).

Полив дождеванием при закрытых системах осуществляется низконапорными агрегатами; расположение внутрихозяйственной сети должно быть сделано по схеме рисунка 131, когда полевые трубопроводы идут по наибольшему уклону; расстояния между ними зависят от конструкции дождевальных агрегатов, и в этом отношении желательны агрегаты, позволяющие

увеличить расстояние между полевыми трубопроводами; однако такие агрегаты требуют бо́льших расходов воды и большего размера труб. Поэтому вопрос о выборе дождевального агрегата решают на основании сравнения вариантов.

Диаметры хозяйственных трубопроводов определяют сообразно числу и расстановке агрегатов. При уклонах местности меньше 0,015 для дождевания требуется механическая подкачка, но расстояние между полевыми трубопроводами увеличивается и сокращается удельная длина их по сравнению с самотечным поливом.

При самотечном поливе для выпуска воды из полевых трубопроводов на орошаемое поле служат гидранты той или иной конструкции, подающие воду непосредственно в выводные борозды или же в распределительные переносные трубы или брезентовые рукава. Расстояния между гидрантами делаются от 100 до 300 *м*, в зависимости от длины поливных борозд или полос и расположения их. Техника полива в закрытых системах должна быть особенно совершенной — гарантирующей от фильтрации воды ниже активного слоя и от поверхностного сброса.

Арматура на закрытых системах состоит из: 1) трубчатого водовыпуска — для подачи воды из открытого канала в закрытый межхозяйственный трубопровод и для поддержания напора H, который должен быть не менее 1,5—2,0 *м*; 2) регулирующих сооружений (задвижек), которые ставятся в головах всех трубопроводов и по длине полевых трубопроводов, после каждого гидранта; 3) водомеров, стоящих в головах каждого межхозяйственного и хозяйственного трубопроводов; 4) гидрантов полевых трубопроводов для выпуска воды на поверхность. Регулирующие задвижки и водомеры помещаются в особых бетонных или железобетонных колодцах, выходящих на поверхность и закрываемых крышками.

Общая длина труб разных диаметров, приходящаяся на 1 *га* орошаемой площади, в закрытых системах составляет около 80—85 *м*, причем 80—90% приходится на трубы диаметром 200—150 *мм*.

В описанных системах вся сеть, включительно до оросителей, сделана закрытой, что увеличивает протяженность труб на единицу площади. В целях сокращения общей длины труб и потребности в них в ряде случаев может быть целесообразным устройство *комбинированной сети*, когда хозяйственные отводы и внутрихозяйственные каналы, подводящие воду к командным отметкам орошаемых полей, делаются в виде закрытых трубопроводов, вся же оросительная сеть—открытой в виде временных оросителей, нарезаемых для производства поливов и не стесняющих механизации сельскохозяйственных работ. Устройство комбинированной сети уменьшает потребность в трубах, но вызывает ежегодные расходы по устройству оросителей для производства поливов. Поэтому вариант полностью закрытой сети следует сопоставить с вариантом комбинированной сети в конкретных условиях. Комбинированная сеть может быть также целесообразной при орошении участков с очень сложным рельефом, когда на высшие командные точки вода подается закрытыми трубопроводами, из которых затем распределяется самотечными каналами.

В закрытых системах безнапорного типа для доставки и распределения воды по орошаемой площади служат подземные самотечные трубопроводы, работающие неполным сечением, т. е. вся надземная сеть каналов обращается в подземную (по типу канализационной), в которую подается вода из источника орошения и по которой она движется самотеком по естественным уклонам. Вывод воды из подземных каналов-трубопроводов на поверхность и производство поливов осуществляются передвижными дождевальными агрегатами, имеющими насос и двигатель, для создания необходимого напора как для поднятия воды из подземного трубопровода, так и для разбрызгивания ее в виде дождя по орошаемому полю. Для забора воды на подземных трубопроводах должны быть устроены в соответствующих местах водозаборные колодцы. Подземные трубопроводы должны иметь затворы для регулирования движения воды.

Ввиду отмеченных достоинств и недостатков закрытых и комбинированных оросительных систем по сравнению с открытыми выбор устройства закрытой сети может быть сделан только после технико-экономического сопоставления ее с вариантами открытой или комбинированной сети в конкретных местных условиях.

3. ЛЕСНЫЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫЕ ПОЛОСЫ И ДОРОГИ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

С сетью каналов или трубопроводов в оросительной системе должны быть увязаны устраиваемые на орошаемых землях лесные полезащитные полосы и дороги.

Лесные полосы, снижая скорость ветра над поверхностью почвы, уменьшая испарение почвы и растений на орошаемых землях, сокращают расходование воды на орошение, уменьшают действие суховеев; затеняя каналы, лесные полосы уменьшают зарастание каналов и испарение с водной поверхности их.

Перехватывая фильтрующуюся из каналов воду, деревья вдоль постоянных каналов способствуют снижению уровня грунтовых вод на орошаемых землях.

Скорость ветра в зоне влияния полос уменьшается на 20—60% по сравнению со скоростью ветра в открытом месте (тем больше, чем ближе к полосе). Относительная влажность приземного слоя воздуха увеличивается на 10—40%, а интенсивность испарения с водной поверхности уменьшается на 10—40%, и тем больше, чем ближе к полосе. Зона влияния полосы зависит от высоты деревьев, направления ветра, климатических условий и проявляется на расстоянии, равном 25—30-кратной высоте деревьев. Влияние полос при этом сказывается тем больше, чем больше скорость ветра. Что касается влияния лесных полос на температуру воздуха, то в утреннюю часть суток полосы действуют отепляюще, а в вечернюю часть суток — охлаждающе, причем разница температур по сравнению со степью составляет $\pm(1—4)^\circ$ С.

Лесные полосы на орошаемых землях имеют преимущественно ветроломное значение и делаются продуваемой конструкции из высокорастущих пород деревьев с невысоким подлеском; они должны пропускать через себя не больше 30—40% ветрового потока. Расстояния между рядами деревьев при посадке лесных полос делаются 1,5—2 или 3 *м*, а расстояния в ряду 0,7—1 *м*[1].

Лесные полосы располагаются вдоль магистрального канала, межхозяйственных и постоянных хозяйственных распределителей, а также вдоль крупных сбросных каналов и дорог. Лесные полосы подразделяют орошаемую территорию на крупные участки, размеры которых должны соответствовать условиям механизации сельскохозяйственных работ. Направление основных полос должно быть более или менее нормальным к направлению господствующих суховейных ветров, если только это согласуется с расположением оросительных каналов. Небольшие орошаемые участки в степи окружаются лесными полосами (шириной 10—20 *м*) по своим границам. Такими же полосами окружаются и водохранилища.

Лесные полосы вдоль постоянных каналов состоят из двух (или более) рядов деревьев с каждой стороны канала, в пределах полосы, отводимой под канал; при небольших постоянных каналах, занимающих узкую полосу земли, делается однорядная посадка деревьев с каждой стороны канала. Если канал очищается от наносов механическим путем, то посадка деревьев делается только с одной стороны (но с удвоенным числом рядов). Деревья сажают на полосу земли у основания внешнего откоса дамб или на внешней берме каналов и в резервах. Двусторонняя и односторонняя обсадка каналов показаны на рисунках 133 и 134.

Под лесные насаждения нужно максимально использовать полосы отчуждения вдоль каналов и резервы (при правильном их устройстве и содержании, не допускающем заболачивания и засоления их). Использование резервов позволяет создавать более широкие лесные полосы в несколько рядов деревьев (что усиливает их защитное действие) без потери полезной сельскохозяйственной площади.

Полосы вдоль дорог в районах со снежными зимами делают продуваемые, без включения низкорослых кустарников, во избежание заноса дороги снегом. Ширину полос по берегам водохранилищ (рис. 135) принимают

[1] Размещение и состав деревьев в лесных полосах вдоль каналов и способы посадки определяются на основе инструкций МСХ СССР. *Прим. автора.*

в 10—20 *м*. Полосы состоят из 7—10 рядов: ближайшие к воде 1—2 ряда — из кустарников, а следующие ряды — из высокорастущих лесных пород и плодовых деревьев и крайний внешний, опушечный ряд — из кустарников. Все непригодные для другого использования участки земли на орошаемой площади следует засаживать лесом.

Подбор древесных пород для лесных полос и насаждений определяется главным образом хозяйственными, климатическими и почвенными условиями. Для Средней Азии, например, можно назвать следующие главнейшие породы: древесные — тополь пирами-

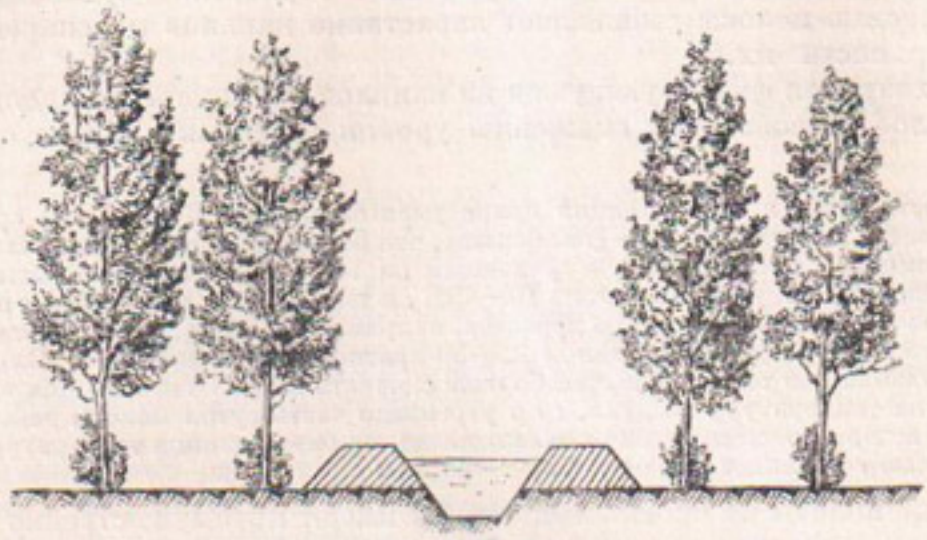


Рис. 133.

дальный белый, шелковица, абрикос, акация белая, вишня, груша, орех грецкий, яблоня, ясень, платан и др., кустарники—ирга. Для степных и лесостепных районов Европейской части СССР рекомендуются древесные породы: пирамидальный тополь, дуб, акация белая, береза, вишня, вяз обыкновенный, груша, ильм, клен, липа мелколистная, слива, шелковица белая, яблоня, ясень зеленый; кустарники — бересклет, желтая акация, ирга, лещина, жимолость и др.; в качестве древесной породы для лесных полос на оро-

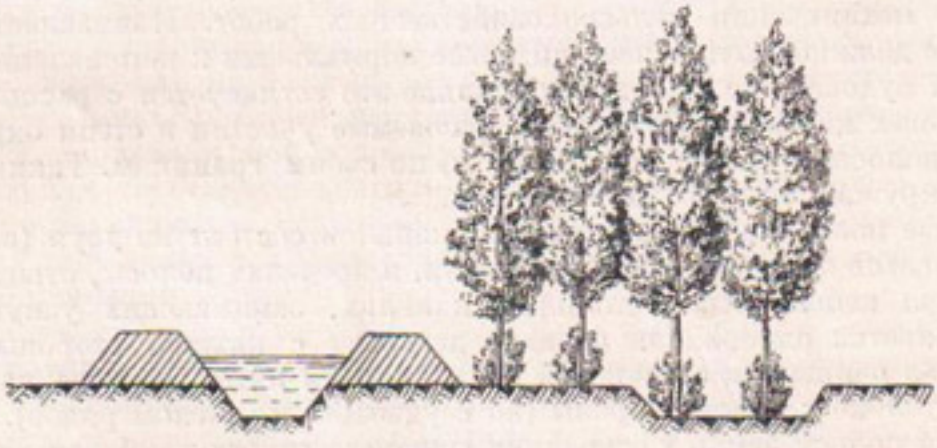


Рис. 134.

шаемых землях заслуживает внимания пирамидальный тополь, так как он дает очень большой прирост древесины в первые годы при поливе, достигая в 8—10 лет высоты 12—15 *м* при диаметре ствола 10—12 *см*, и допускает большую густоту насаждений (расстояния между деревьями 0,8—1 *м*).

Создание лесных полос на орошаемых землях является также источником получения древесины: текущий прирост может достигать 60—75 $м^3$ древесины на 1 *га* лесонасаждений. В районах шелководства создание лесных полос хорошо сочетается с разведением тутовника.

Дороги на орошаемой площади можно разделить на четыре вида: 1) полевые для сообщения с каждым полем (въезда тракторов и машин, вывоза продукции и др.); 2) внутрихозяйственные для сообщения между отдельными полями и внутри хозяйства; 3) главные или подъездные, связывающие каждое хозяйство с внутренними и внешними центрами; рас-

положение их определяется общими экономическими условиями; 4) эксплуатационные дороги для передвижения в целях технического надзора и ремонта каналов и сооружений оросительной системы.

Ширина земляного полотна под дорогой (проезжая часть, обочины, кюветы) делается: для полевых и внутрихозяйственных дорог 7,5 *м*, для главных (подъездных) дорог 10—12 *м* и для эксплуатационных дорог 3 *м* и более (вдоль крупных каналов). Конструкция дороги зависит от ее назначения и условий трассы.

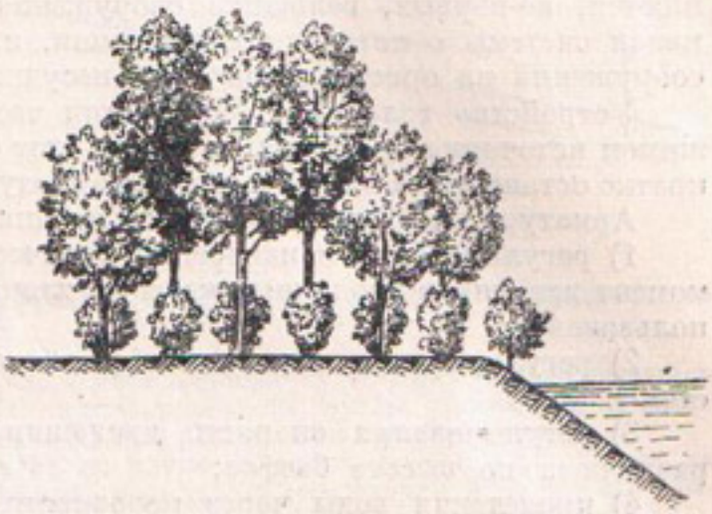


Рис. 135.

Полевые дороги могут быть расположены двояко: 1) внизу поливных участков—выше следующего участкового распределителя (рис. 136,*а*) и 2) вверху поливных участков — ниже участкового распределителя (рис. 136,*б*). Стрелкой на рисунке 136 показан уклон поля.

При первом варианте расположения дорог не требуется устройство переездов через оросители, но необходимо устройство их через дорожный кювет, выполняющий роль водосборной канавы, чтобы дорога не затоплялась во время поливов.

При втором варианте расположения, когда дорога пересекает оросители, требуются переезды, но зато дорога проходит по более высоким отметкам.

Каждый из указанных вариантов должен быть оценен в конкретных местных условиях[1].

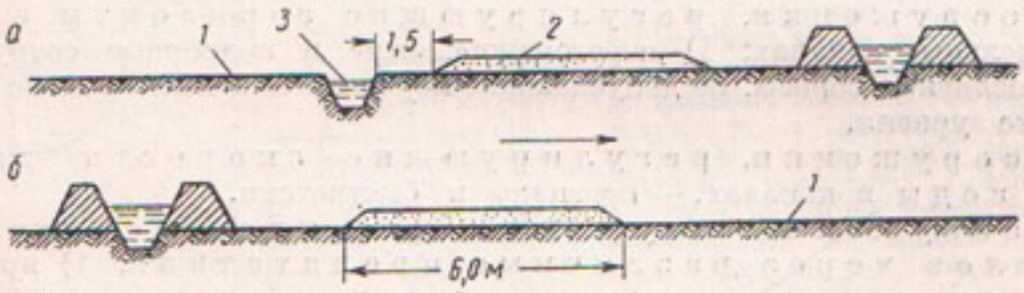


Рис. 136.

1 — поле; *2* — дорога; *3* — кювет.

Внутрихозяйственные дороги связывают усадьбу с полями и полевыми дорогами. Они располагаются вдоль хозяйственного распределителя или же вдоль сброса, с устройством мостов через пересекаемые каналы.

Эксплуатационные дороги делаются вдоль магистрального и крупных распределительных каналов, с командной или некомандной стороны, в зависимости от местных условий; они могут идти по дамбе канала и должны быть связаны с главной дорожной сетью.

Проектирование дорог на орошаемых землях ведется на основе технической инструкции Главного дорожного управления. Основная дорожная сеть строится одновременно с оросительной.

---

[1] В условиях орошения риса, а также при наличии открытой дренажной сети дороги размещаются с учетом этих особенностей.

4. АРМАТУРА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Для правильной работы оросительной системы и организации планового нормированного водопользования в ней необходимо: постоянно управлять поступлением и распределением воды, регулировать нужную связь системы с источником орошения, включать или выключать отдельные элементы системы в соответствии с планом водопользования. Эти задачи выполняются, во-первых, головным сооружением, соединяющим магистральный канал системы с источником орошения, и, во-вторых, рядом специальных сооружений на оросительной сети, несущих функции арматуры ее.

Устройство головного сооружения тесно связано с характером и режимом источника орошения, и вопрос этот будет рассмотрен ниже, здесь же кратко остановимся на рассмотрении арматуры оросительной сети.

Арматура на оросительной сети предназначается для следующих целей:

1) регулирования и измерения количества воды, подаваемой в каждый момент времени в различные части системы, в соответствии с планом водопользования;

2) регулирования горизонтов (напоров) воды в отдельных частях системы;

3) регулирования скорости движения воды в каналах и сопряжения различных по высоте бьефов;

4) проведения воды через неровности рельефа или препятствия, где нельзя провести ее земляными каналами;

5) регулирования нужного качества воды (содержания наносов).

Согласно сказанному, арматура оросительной системы включает следующие основные виды.

Сооружения, регулирующие количества (расходы) воды в различных частях системы. Относящиеся сюда сооружения разделяются на две главные группы: 1) регуляторы, подающие воду в распределительные каналы и на поля; 2) выпускные сооружения, позволяющие выпускать излишнюю воду из каналов для частичного или полного опорожнивания их. С регулирующими сооружениями должны соединяться водомеры для измерения количеств воды.

Сооружения, регулирующие горизонты воды в оросительных каналах: 1) перегораживающие и подпорные сооружения; 2) водосливные сбросы, не допускающие переполнения канала выше определенного уровня.

Сооружения, регулирующие скорости движения воды в каналах, — перепады и быстротоки.

Сооружения, служащие для проведения воды каналов через различные препятствия: 1) при пересечениях каналов с другими водными потоками, дорогами, оврагами: акведуки, обратные сифоны; 2) для проведения воды в сложных рельефах или плохих грунтах: желоба, трубы.

Сооружения для регулирования содержания наносов в воде состоят обычно из отстойников, устраиваемых на отдельных участках каналов.

Отдельные виды сооружений, близко расположенные на канале, соединяются в общий узел: боковые регуляторы в большинстве случаев объединяются с подпорными сооружениями; несколько регуляторов объединяются в один распределительный узел; перепады нередко соединяются с регуляторами и т. д. Ускорение мелиоративного строительства требует: 1) типизации и стандартизации сооружений на сети; 2) заводского изготовления их отдельных частей и применения методов блочного строительства, особенно для массовых сооружений.

Остановимся кратко на основных видах указанных сооружений, так как вопросы конструкций, расчета сооружений, постройки их и другие рассматриваются в курсе гидротехнических сооружений.

БОКОВЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ И ПОДПОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Боковые регуляторы на магистральном и распределительном каналах предназначаются для регулирования количеств воды, подаваемой из каждого старшего в боковые каналы; через них должны пропускаться определенные установленные расходы воды, несмотря на колебания расхода в старшем канале, и потому в большинстве случаев их приходится соединять с подпорными сооружениями.



Рис. 137.

Регулятор и подпорное сооружение образуют распределительный узел, в котором может соединяться один или несколько боковых регуляторов (если от старшего канала в данном пункте отходит несколько распределителей младшего порядка) с подпорным сооружением на старшем канале.

Вопрос о необходимости и нужной высоте подпора на старшем канале решается на основании анализа отметок высших точек поверхности земель, орошаемых из этого канала, и нужного для этого горизонта воды при разных видах водооборота.

Расстановка подпорных сооружений по длине старшего канала определяется на основе следующих соображений. Расстояние подпорного сооружения A от бокового регулятора выходящего канала B, считая вниз по течению старшего канала (рис. 137), равно $l=\frac{Z}{I}$, где Z — увеличение высоты дамб по сравнению с их нормальной высотой; I — уклон канала.

Схема распределительного узла, состоящего из подпорного сооружения A на главном канале и бокового регулятора $Б$ на отходящем распределителе, показана на рисунке 138.

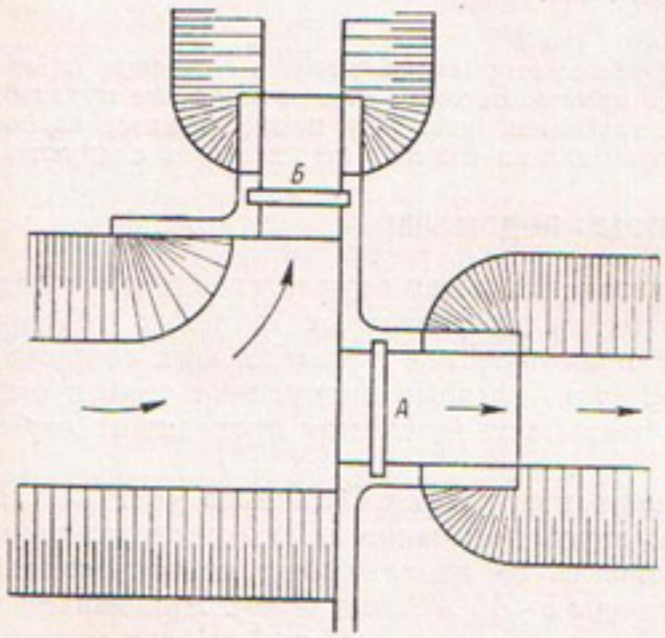


Рис. 138.

Подпорное сооружение на старшем канале должно поддерживать постоянный горизонт воды в этом канале (нужный для нормальной работы выходящих из него распределителей) в верхнем бьефе его, несмотря на колебания расхода в этом канале.

В распределительных каналах могут иметь место значительные непредвиденные изменения расхода воды (главным образом, при внезапных закрытиях и открытиях боковых шлюзов), поэтому очень важно при помощи подпорных сооружений свести к минимуму колебания горизонтов воды, связанные с изменениями расходов; теоретически этому требованию лучше отвечает водосливной тип подпорного сооружения, однако водосливной тип подпорных сооружений по сравнению со щитовым обладает рядом недостатков: 1) скопление наносов у порога, 2) образование кривой спада — вверху и перепада — внизу и 3) трудность маневрирования затворами.

Эти недостатки обычно заставляют отказываться от водосливного типа и делать подпорные сооружения щитового типа.

Боковой регулятор — водовыпуск в голове отходящего канала — предназначается для того, чтобы забирать из старшего канала определенный расход воды, поддерживать по возможности его постоянство, несмотря на колебания расхода и горизонта воды в старшем канале, и подавать этот расход в младший канал. Колебания расхода и горизонта воды в старшем канале должны в минимальной степени влиять на расход воды, поступающей в боковой распределитель. Этим условиям лучше отвечает щитовой тип шлюза, который поэтому и применяется для боковых регуляторов.

Скорости прохождения воды через регулятор должны быть порядка 0,8—1,3 *м/сек*; при этих скоростях минимальный напор, необходимый для прохождения воды через регулятор, составляет от 5 до 15 *см*.

Для получения малых скоростей нужно стремиться к тому, чтобы регулятор работал как затопленное щитовое отверстие. Порог отверстий боковых регуляторов должен располагаться на уровне или ниже дна главного канала. Такое расположение вызы-

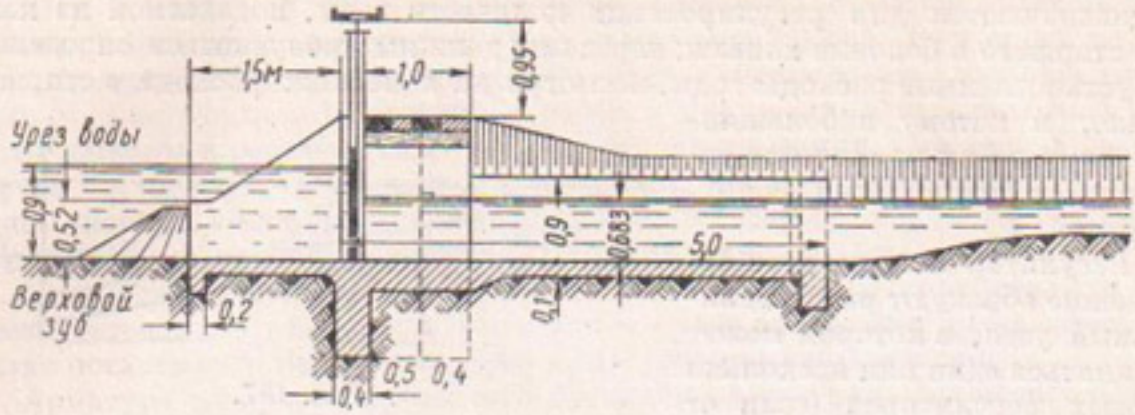


Рис. 139.

вается требованием, чтобы все наносы из старших каналов выносились бы в младшие каналы и отлагались на полях, а также условиями необходимого затопления отверстия снизу.

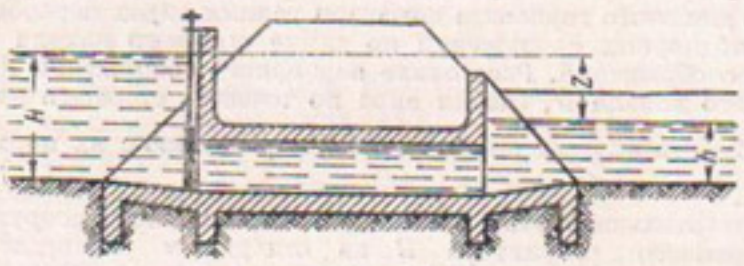


Рис. 140.

Боковые регуляторы делаются двух типов: открытые шлюзовые, состоящие из одного (рис. 139) или нескольких пролетов и применяющиеся на более или менее крупных распределительных каналах, и закрытые трубчатые (рис. 140), применяющиеся на небольших каналах и работающие под напором или же без него (как водослив с широким порогом).

РЕГУЛЯТОРЫ - ВОДОМЕРЫ

При ведении планового водопользования и для осуществления контроля за правильным использованием воды на оросительных системах должен вестись систематический учет воды, в соответствии с этим на всех сооружениях на постоянных каналах, кроме тех, которые пропускают транзитные расходы, должна быть обеспечена возможность измерения проходящих через них количеств воды.

В настоящее время на ирригационных системах в СССР вода учитывается главным образом путем наблюдений горизонтов и измерения расходов воды вертушками на гидрометрических постах на каналах; однако этот способ целесообразен только при расходах воды 5—10 *м³/сек* и более. При меньших расходах более подходящим является измерение их в самих шлюзах-регуляторах путем предварительной тарировки их, т. е. установления коэффициента расхода в формуле расхода (общего вида $Q=\mu\omega\sqrt{2gh}$) для данного вида сооружения, или при помощи специальных водомеров на регуляторах.

Шлюзы-регуляторы, подающие воду в систему и в отдельные хозяйства, оборудуются водомерами, позволяющими учитывать количества поступающей воды. Устройство оборудованных водомерами выпускных сооружений позволяет не только значительно экономить оросительную воду, но и поддерживать правильность в распределении ее при осуществлении планового водопользования.

Пропускная способность выпусков-водомеров должна быть рассчитана на форсированный расход соответствующего канала.

Напор, при котором работает водовыпуск, колеблется обычно от 0,10 до 0,20 *м*; при высших же горизонтах в распределителе напор может доходить и до 0,40 *м*.

Требования, предъявляемые к водомерам на оросительных каналах, помимо точности измерения, следующие: 1) действие при малых напорах воды; 2) поддержание постоянства пропускаемого расхода воды при колебаниях горизонта в старшем канале; 3) пропуск содержащихся в воде наносов на поля; 4) возможность изменения в известных пределах пропускаемого расхода воды без изменения действующего напора; 5) надлежащая простота, прочность и предупреждение фильтрации воды в обход выпуска; 6) учет не только расхода, но и объема воды.

В соответствии с изложенным существующие конструкции водомеров можно разбить на следующие группы.

I. Водомеры, учитывающие расход воды без автоматического регулирования постоянства его: а) водосливные, б) с щитовым отверстием и в) трубчатые.

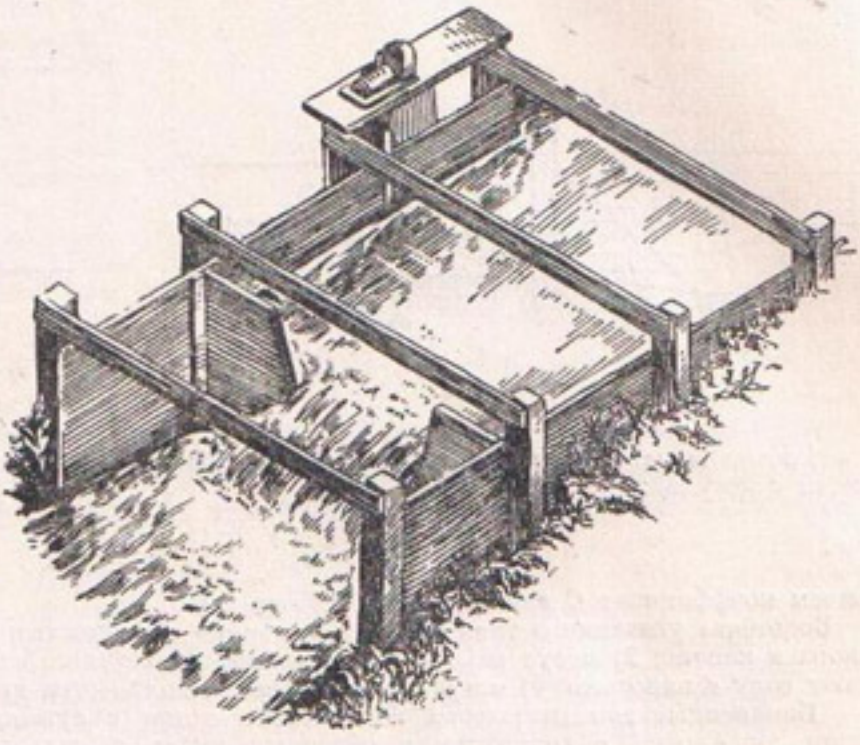


Рис. 141.

Водосливные водомеры бывают или с широким порогом, или с острым ребром. Водосливы позволяют довольно точно учитывать пропускаемый расход воды; однако они создают значительный подпор воды и задерживают несомые по дну канала наносы.

В трапецеидальном водосливе (рис. 141) благодаря наклону боковых граней в $^1/_4$ устранено влияние бокового сжатия струи на расход. Расход через этот водослив определяется формулой:

$$Q = 1{,}86\ bh^{1,5}\ м^3/сек,$$

где b — длина ребра водослива понизу, в *м*; h — напор воды в *м*, который не должен быть больше одной трети ширины отверстия b.

В щитовых водомерах, кроме основного щита, регулирующего величину отверстия, иногда ставится еще второй щит, при помощи которого регулируется более или менее постоянный напор в камере выше отверстия. Расход воды определяется по формуле:

$$Q = \mu be\sqrt{2gh}\ м^3/сек,$$

где b — ширина отверстия; e — высота отверстия; h — напор над центром отверстия; μ — коэффициент расхода, равный от 0,62 до 0,70 *м* и определяемый опытным путем для каждого типа отверстия.

Трубчатые водомеры представляют деревянную, бетонную или иную трубу, заложенную в дамбе канала вблизи дна последнего и надлежащим образом протарированную для измерения расхода воды. На рисунке 142 представлен трубчатый водомер системы М. В. Бутырина (САНИИРИ). Расход воды через этот водомер определяется по формуле:

$$Q = 0{,}98\omega_2\sqrt{\frac{2gh}{1-\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}\ м^3/сек,$$

где ω_2 — площадь выходного сечения; ω_1 — площадь трубы до сужения; h — разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов.

Водомеры-насадки весьма просты и достаточно точны (рис. 143). Они представляют конические насадки, установленные на отверстии в щите, который ставится в канале нормально к его оси. Расход воды, проходящей через этот водомер, определяется по формуле:

$$Q = C\omega\sqrt{h}\ м^3/сек,$$

где ω — площадь выходного сечения насадки; h — разность уровней воды; C — коэффициент расхода, определяемый тарировкой; для крупных конических насадок $C = 4{,}1$.

В последнее время широкое применение в оросительной практике находят водомеры с суженным отверстием, как закрытые, так и открытые, не только на мелких, но и на крупных каналах (рис. 144, 145).

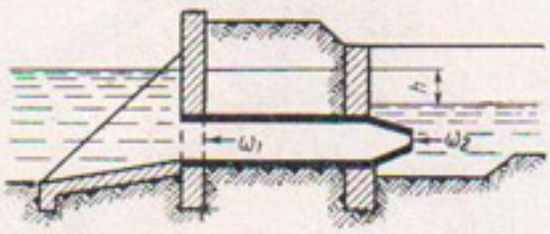


Рис. 142.

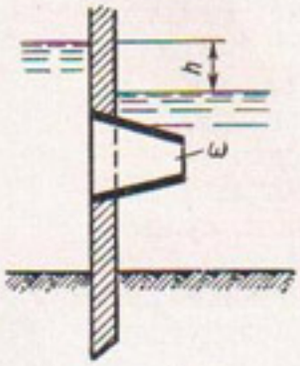


Рис. 143.

Расход воды через трубчатый водомер с суженным отверстием (рис. 144) определяется формулой:

$$Q = \frac{C\omega_1\omega_2}{\sqrt{\omega_1^2 - \omega_2^2}}\sqrt{2g\,(h_1 - h_2)},$$

причем коэффициент C изменяется от 0,95 до 0,99.

Водомеры указанного типа имеют следующие достоинства: 1) дают малую потерю напора в канале; 2) могут работать при значительных колебаниях расходов; 3) допускают воду с наносами; 4) могут регистрировать количества прошедшей воды.

Измененный тип открытого водомерного лотка с суженным отверстием (прямой уклон дна лотка в горловине и обратный уклон в выходной части) показан на рисунке 146.

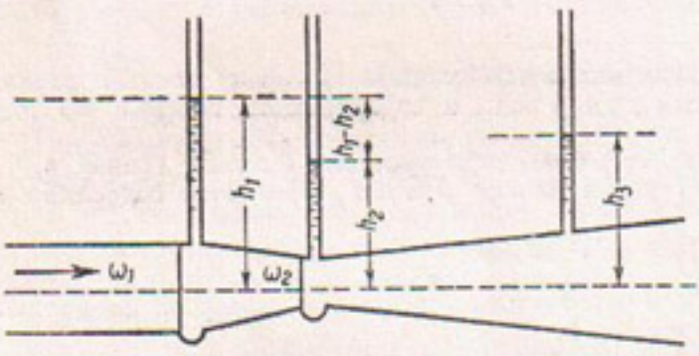


Рис. 144.

Расход воды, проходящей через такой лоток, определяется по формуле:

$$Q = 0{,}36b\,(3{,}28h_1)^{1{,}6b^{0{,}026}}\ м^3/сек,$$

где b — ширина лотка в суженной горловине;

h_1 — глубина воды в лотке выше порога на расстоянии $^2/_3$ длины входной части.

Этой формулой расхода воды для свободного ее истечения можно пользоваться, если глубина воды в нижнем бьефе лотка над порогом $h_2 \leqslant 0{,}7h_1$. Если же $h_2 > 0{,}7h_1$ (до $0{,}95h_1$), то лоток работает, как затопленный, и в вышеуказанную формулу расхода воды надо вводить поправки в зависимости от соотношения $\frac{h_2}{h_1}$ (глубина воды h_2 измеряется в колодце, стоящем в конце горловины).

Достоинства указанного открытого водомера-лотка: сравнительная простота, незначительность создаваемого им подпора воды, пропуск наносов; однако при некоторых условиях он недостаточно точен. Для облегчения подсчетов расходов воды по формулам составлены специальные таблицы и графики[1].

II. Водомеры, учитывающие объемы (сток) воды, прошедшие за разное время.

1. Прибор системы Д. А. Колодкевича (САНИИРИ), основанный на принципе лимниграфа. Изменения напора, фиксируемые лимниграфом, с помощью часового меха-

[1] В. Н. Ярцев. Эксплуатационная гидрометрия. Сельхозгиз, М., 1951. *Прим. автора.*

низма и системы передач прибор переводит в показания расхода воды в данный момент и объема (стока) воды к этому моменту. Счетчик устанавливается в будке над колодцем, соединенным с сооружением, и применим при всех водомерных устройствах, работающих от одного напора.

2. Парциальный водомер ВНИИГиМ, разработанный для малых расходов воды (меньше 300 *л/сек*) и для больших расходов. Действие водомера основано на принципе парциальных водомеров: $V=k-v$, где V — подлежащий учету суммарный сток (объем воды, проходящий в данном канале); v — сток, проходящий за то же время через водомерную насадку — отвод; k — коэффициент парциальности, который должен быть постоянным для данного водомера[1].

Парциальный водомер для больших расходов воды на регуляторах показан на рисунке 147.

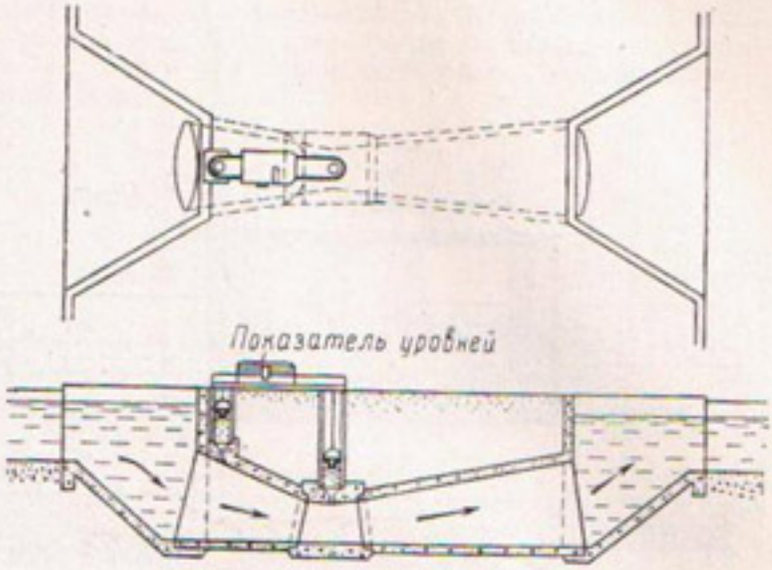


Рис. 145.

III. Водомеры с автоматическим регулированием постоянства расхода воды, что достигается: а) постоянством напора, отверстия и коэффициента расхода (например, при сифонном типе); б) изменением коэффициента расхода воды или

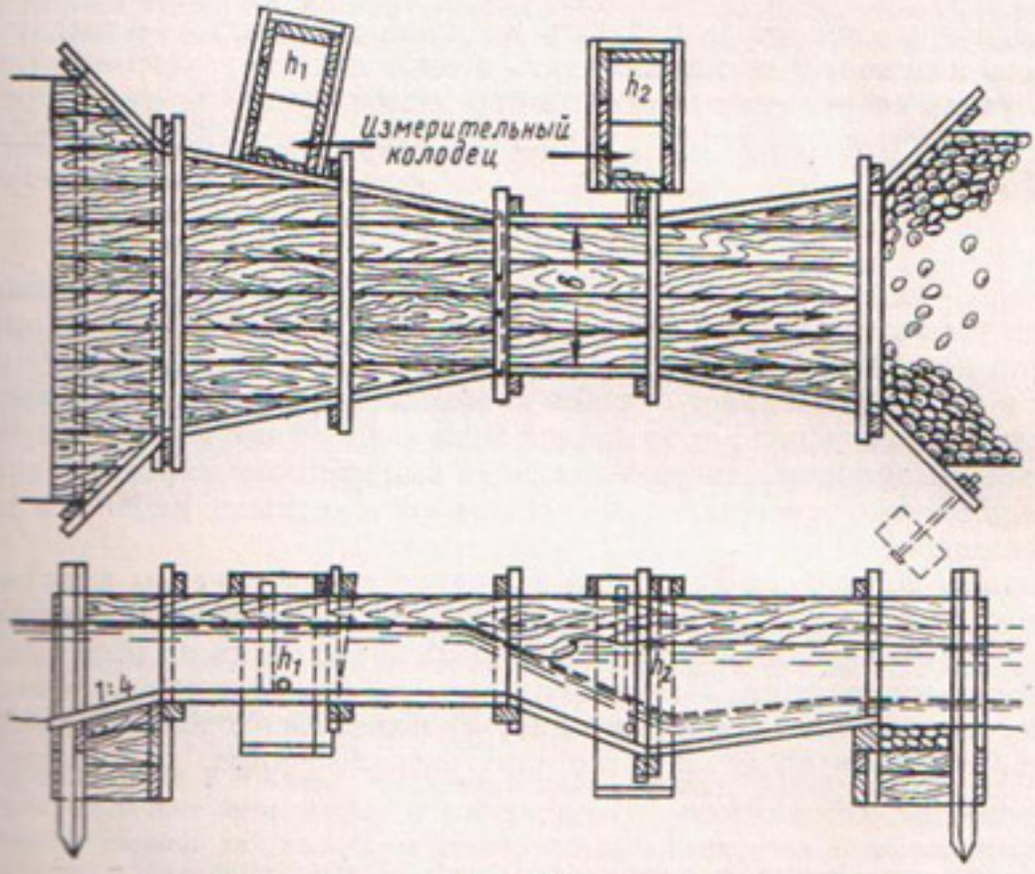


Рис. 146.

площади отверстия обратно пропорционально квадратному корню из напора. Эти типы водомеров описаны в специальной гидрометрической литературе.

Для правильности действия установка водомеров на оросительных каналах должна удовлетворять следующим условиям:

[1] Ф. И. Пикалов, В. Я. Попова. Ирригационные водомеры - регуляторы. М., 1943, и В. Я. Попова. Сооружения для распределения и учета воды при орошении. М., 1954. *Прим. автора.*

1) место расположения водомера должно находиться вне подпора и быть предохранено от отложения наносов;

2) к водомеру должен быть обеспечен равномерный и плавный подход воды с нормальной скоростью течения, без водоворотов;

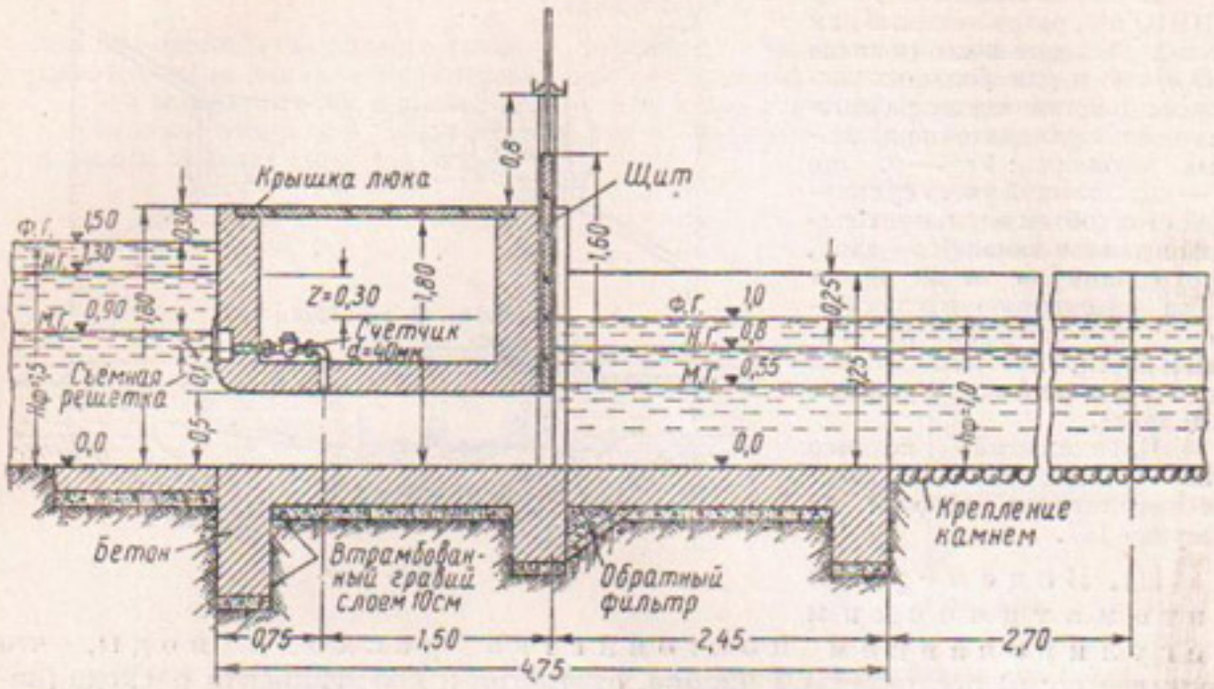


Рис. 147.

3) водомеры следует располагать на прямолинейных участках канала, причем ось водомера должна совпадать с осью канала;

4) в узлах сооружений водомер в отходящем канале следует ставить на расстоянии от старшего канала, равном двойной или тройной глубине воды в канале.

СБРОСНЫЕ И ВЫПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Рассмотренные выше сооружения — боковые регуляторы — дают возможность управления количествами движущейся в системе воды путем регулирования подачи ее в разные части системы. Однако иногда, в силу разных причин, в системе возникает срочная необходимость полностью опорожнить (или частично разгрузить) от излишней воды те или иные каналы. Эту задачу выполняют специальные опоражнивающие выпускные и сбросные сооружения, соединяющие оросительные каналы со сбросными каналами и водоприемниками.

Причины поступления в каналы излишних количеств воды и повышения горизонтов в них сверх допустимых могут быть следующие: 1) поступление в систему избыточных количеств воды в большие паводки на реке или вследствие аварии сооружений; 2) внезапное закрытие регуляторов боковых каналов выше по течению данного канала; 3) попадание в канал посторонних предметов; 4) внезапное закрытие нижерасположенных сооружений, создающее подпор на канале.

Опоражнивающие сооружения располагают: во-первых, на концах оросительных каналов, при соединении их с соответствующими сбросными каналами и, во-вторых, по длине каналов в тех местах, где повышения расходов и горизонтов воды особенно опасны, а именно: 1) на магистральном канале, ниже головного регулятора и в конце холостой части его перед началом отхода распределителей; 2) выше особенно опасных участков канала (косогорных, в слабых грунтах); 3) перед дорогими или сложными сооружениями (акведуки, сифоны); 4) выше узлов разветвления канала на более мелкие отводы (выпускные сооружения здесь необходимы для удаления возможных избытков воды); 5) ниже тех пунктов, где через канал пропускаются большие количества поверхностных вод.

Сооружения, позволяющие удалять излишнюю воду и понижать горизонты или целиком опоражнивать оросительные каналы, разделяются на сбросные и выпускные сооружения (функции которых, однако, иногда совмещаются).

Сбросные сооружения действуют автоматически и предназначаются для предупреждения подъема уровня воды в канале выше определенного допустимого горизонта, так как этот подъем может угрожать целости дамб канала. Они сбрасывают только избытки воды в канале сверх допустимого горизонта и не могут служить для полного опоражнивания каналов.

Сбросные сооружения рассчитываются на максимальный расход избыточных вод, могущих поступать в канал, т. е. на расход воды в канале, отвечающий подъему уровня воды в нем до допустимого максимума Q_{max}, минус тот нормальный расход воды в канале, который может быть пропущен ниже по каналу.

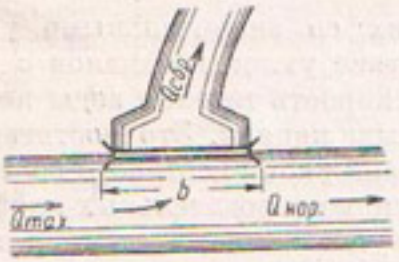


Рис. 148.

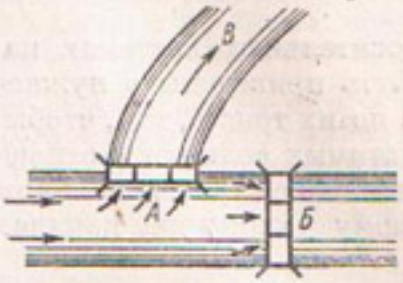


Рис. 149.

Сбросные сооружения должны быть соединены отводящими воду сбросными каналами с естественным водоприемником. Наличие удобных тальвегов с необходимым уклоном для сброса воды часто определяет и самое расположение сбросных сооружений.

Применяются следующие главные виды сбросных сооружений: водосливной и сифонный сбросы. Водосливной сброс устраивается в откосе канала водосливной стенки, гребень которой делается на уровне или несколько ниже (по расчету) допустимого горизонта воды в канале; вся вода в канале, находящаяся выше этого горизонта, сливается (рис. 148) и попадает в сбросное русло, которое доставляет воду в водоприемник.

Если ширина водослива b больше ширины сбросного русла, то за сбросным сооружением устраивается соединенный со сбросным каналом водоприемный бассейн, куда попадает переливающаяся вода. Для уменьшения толщины переливающегося слоя воды и для того, чтобы не увеличивать ширину водоприемного бассейна, водослив делают иногда в плане гребенчатым.

Водосливной сброс является наиболее простым и в то же время достаточно удовлетворительно работающим сооружением.

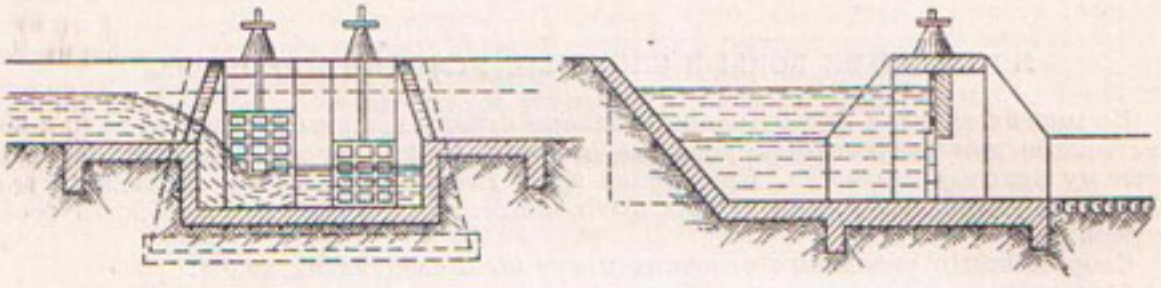


Рис. 150.

Сифонный сброс, распространенный меньше водосливного, представляет собой устройство в боковой стенке канала одного или нескольких сифонов с отверстиями на нужном уровне (рис. 149). В зависимости от величины сбрасываемого расхода воды ставится один или ряд сифонов. Сифонные сбросы сложны и легко засоряются.

Выпускные сооружения, действующие не автоматически, предназначаются для: 1) опоражнивания в нужные моменты канала от воды полностью или частично и 2) содействия промывке вышележащего (за выпуском) участка канала от отлагающихся в нем наносов.

Выпускные сооружения рассчитываются на полное опоражнивание канала, т. е. на нормальный расход воды в канале плюс избыток воды, который может попасть в канал.

Порог выпускного сооружения должен быть заложен на уровне дна оросительного или сбросного канала. При отсутствии перегораживающего сооружения выпускные шлюзы располагаются в отстойнике, дно которого ниже дна оросительного канала (рис. 150), так что при открытии всех шлюзов уровень воды в нем стоит ниже дна канала. Это требует низких отметок канала B.

Таким путем в канале перед выпуском создается отстойная камера, в которой отлагаются наносы; отсюда они промываются через выпускные шлюзы. Этот тип выпуска оказывает промывное действие на вышележащем участке канала, так как при подходе

к пониженной камере образуется перепад и кривая спада; для увеличения длины образующейся кривой спада ширину канала у порога делают больше.

Если выпускное сооружение не служит для промывки канала, то увеличение скорости выше выпуска нежелательно; чтобы избежать его и предупредить спад воды у выпуска, применяются: устройство подпорного сооружения ниже выпускного или сжатие поперечного сечения канала на гребне перепада и сужение отверстий выпуска.

ПЕРЕПАДЫ И БЫСТРОТОКИ

В оросительных системах на местностях со значительными уклонами должны быть приведены в нужное соответствие уклоны каналов с уклоном местности по их трассе, так, чтобы средняя скорость течения воды не переходила допустимых величин в отношении размыва канала. Это достигается выбором надлежащей трассы каналов, при которой уклон местности соответствует требуемому уклону дна канала. Во временных оросительных каналах это условие обязательно, так как на них нельзя делать перепадов; на постоянных же более или менее крупных каналах, если нельзя изменить их трассу, приходится прибегать к устройству перепадов или быстротоков. Перепады нужно располагать в выемке, в коренном грунте, во избежание размыва.

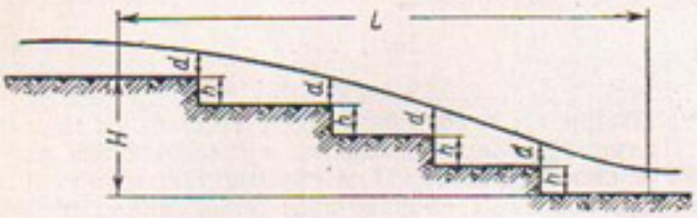


Рис. 151.

Если по длине канала нужно ставить большое число перепадов (рис. 151), то вместо этого иногда может быть целесообразным устройство малого числа более высоких перепадов (1—2) с созданием на них ГЭС или же устройство быстротока.

Расположение перепадов желательно соединять с регуляторами и подпорными сооружениями в одном общем узле.

При сопряжениях оросительных каналов со сбросными каналами (для опоражнивания первых) применяются консольные перепады, состоящие из наклонного лотка в конце канала, выдвинутого на опорах на известную длину над сбросом.

ПРОВЕДЕНИЕ ВОДЫ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ РЕЛЬЕФА

Во многих случаях открытые оросительные каналы должны пересекать те или иные (естественные или искусственные) водные потоки, овраги, дороги, проходить по очень неровному рельефу местности. Проведение здесь каналов в обычных земляных руслах требует или удлинения трассы канала в обход препятствия, или же устройства особых сооружений.

Сооружения в указанных условиях могут быть следующих видов:

1) нагорные каналы, перехватывающие стекающие сверху потоки;

2) акведуки, желоба, трубы и дюкеры, проводящие оросительную воду выше или ниже пересекаемого русла или другого препятствия;

3) пересечения потоков в одном уровне.

Нагорный канал располагается по склону выше оросительного канала (параллельно ему) и перехватывает все стекающие по данному склону воды ручьев, оврагов и поверхностные воды. Этот водосборный канал в удобных для того местах пересекает оросительный канал дюкерами и таким образом разделяется на отдельные участки. Устраивать нагорный канал нужно на крутых склонах, выше глубоких выемок и при изрезанности склона большим числом оврагов, ручьев и т. д. Нагорный канал предохраняет оросительный канал от поступления в него естественного стока воды и наносов со склонов и сокращает число искусственных сооружений, необходимых для пропуска этого стока через канал.

Желоба и акведуки применяются для проведения воды оросительного канала через понижения или неровности рельефа, другие потоки и т. п. Сечение акведуков и желобов рассчитывается на максимум расхода воды в канале.

Дно акведука трассируется выше дна пересекаемого естественного потока, так как в искусственном сооружении проводится вода канала, расход которого может быть установлен и регулирован. Необходимо знать размеры максимального стока по естественному пересекаемому руслу, чтобы дать необходимое нестесненное живое сечение для пропуска паводковых вод и чтобы устои сооружения не подмывались ливневым потоком. В редких случаях, когда максимальный расход воды в естественном потоке невелик, он проводится по акведуку или желобу над оросительным каналом.

Когда оросительный канал пересекает другой поток или дорогу на недостаточной высоте, проводят канал под водотоком или дорогой—дюкером. К этому способу приходится прибегать главным образом при небольших расходах воды в канале.

Выше дюкера устраивается выпускной шлюз для опоражнивания канала при ремонте; в самом же сифоне делаются воздушные краны для выпуска воздуха из трубы и спускные отверстия в нижней части дюкера для опоражнивания на случай морозов.

Дюкеры и трубы вызывают бо́льшие потери напора, чем акведуки (при прочих одинаковых условиях), но они экономичнее.

Для проведения оросительной воды через неровности рельефа и особенно через большие котловины применяются трубы: деревянные (из клепки), асбестоцементные, бетонные и железобетонные. Диаметр труб делают от 0,3 до 4,0 *м* и работают они как напорные. Применение труб позволяет более легко разрешать задачи проведения воды в сложных рельефах.

Деревянные трубы, работающие под напором, уложенные в грунт и не пересыхающие, сравнительно хорошо сохраняются; но все же срок службы их невелик (15—25 лет).

Если вода несет ил, то допустимая скорость в трубе 1,5—3 *м/сек*; если же вода несет песок, то не больше 1,5 *м/сек*. Лучше же воду очищать от наносов (в отстойнике) до входа их в трубу. Воздух должен быть удален от входного отверстия трубопровода, чтобы, входя в трубу, он не уменьшал пропускную способность ее.

При одинаковых размерах и напорах бетонные трубы имеют меньшую пропускную способность, чем деревянные.

Трубы и желоба нередко применяются для проведения каналов по крутым склонам или слабым почвам (главным образом, в холостой части каналов и ветвей).

Когда магистральный канал или крупные распределители приходится вести по крутым и скалистым склонам, отдельные узкие выступы этого склона нередко проходят туннелем, что позволяет значительно сократить длину канала. Туннели оказываются целесообразными и в тех случаях, когда оросительный канал должен пересекать крутые холмы или водоразделы.

Кроме рассмотренных сооружений на оросительной сети, необходимы еще сооружения при пересечении каналов с дорогами; к ним относятся: 1) мосты — деревянные, бетонные, железобетонные и смешанные — и 2) трубы под дорогами.

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАДЕРЖАНИЯ НАНОСОВ (ОТСТОЙНИКИ)

В тех случаях, когда не удается задержать крупные наносы в голове системы и в оросительные каналы поступает вода, содержащая большое количество песчаных наносов, или когда по условиям рельефа местности нельзя сделать каналы удовлетворяющими условию незаиляемости, приходится строить отстойники для задержания крупных наносов и последующего их удаления. Отстойники чаще требуются в следующих пунктах системы: 1) выше входных отверстий — сифонов, труб, акведуков, желобов, засорение которых песком особенно опасно: 2) ниже головного регулятора; 3) на канале в местах перехода от больших скоростей к малым (что, однако, не должно допускаться); 4) на участках, где удобно по естественным условиям промывать канал от наносов. Нередко отстойники соединяются с выпусками.

Количество наносов, отлагающихся в отстойнике, равно:

$$V = (\varrho - \varrho_{кр}) \frac{QT}{a} \text{ м}^3,$$

где ϱ — мутность поступающей воды;

$\varrho_{кр}$ — критическая мутность, соответствующая транспортирующей способности потока (содержанию наносов в воде, выходящей из отстойника);

a — вес единицы объема наносов, отлагающихся в отстойнике, в *кг/м*^{3};

Q — расход воды, проходящий через отстойник;

T — продолжительность работы отстойника с расходом воды Q.

Задаваясь допустимой критической мутностью и определив нужные для этого значения средней скорости v и R, можно определить необходимые размеры живого сечения $= \frac{Q}{v}$, глубину воды и ширину отстойника.

Длина отстойника определяется по формуле:

$$L = \frac{H}{w} vk,$$

где H — глубина воды в отстойнике;

v — необходимая скорость течения воды через отстойник (меньше критической);

w — скорость осаждения расчетных частиц в отстойнике (она меньше скорости осаждения в стоячей воде);

k — коэффициент, равный 1,1—1,25.

Отлагающиеся в отстойнике наносы удаляются гидравлическим путем — периодической или постоянной автоматической промывкой, или же механическим путем — землесосами и другими машинами.

Глава пятая

НЕДОПУЩЕНИЕ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ И ЗАСОЛЕНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ И БОРЬБА С ЭТИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

1. СИСТЕМА НЕОБХОДИМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Чтобы не допустить заболачивания и засоления почв на орошаемых землях, необходимо предотвратить самую возможность возникновения этих явлений, т. е. устранить причины их; на тех же землях, где эти явления уже имеют место в силу неправильного ведения орошаемого хозяйства в прошлом или неблагоприятных гидрогеологических и почвенных условий, нужно: а) привести заболоченные и засоленные земли в пригодное для сельскохозяйственного использования состояние при помощи мелиоративно-гидротехнических и агротехнических мероприятий и б) поддерживать в дальнейшем хорошее состояние земель путем осуществления планового нормированного водопользования и правильной агротехники.

Мероприятия по борьбе с заболачиванием и засолением орошаемых земель и недопущению этих явлений имеют особенно большое значение в связи с задачей освоения так называемых перелогов, имеющихся во многих орошаемых районах и отличающихся значительной засоленностью и заболоченностью.

В условиях планового коллективного сельского хозяйства СССР имеются все возможности для проведения указанных мероприятий по борьбе и недопущению явлений заболачивания и засоления орошаемых земель[1].

Засоленные почвы развиты, как известно, главным образом в засушливых районах степной стадии почвообразования и здесь приурочены по преимуществу к пониженным частям рельефа (шлейфы склонов, западины, речные долины) и к площадям с близкими грунтовыми водами. Грунтовые воды в засушливых районах в большинстве случаев отличаются более или менее высокой минерализацией и поэтому подъем их уровня особенно опасен для растений и почвы.

Засоленные почвы, по В. Р. Вильямсу, образуются следующим образом. По мере развития деградации черноземов зольные элементы, входившие раньше в состав органических остатков, все в большем количестве переходят в формы минеральных соединений. Эти минеральные соединения постепенно освобождаются от солей кальция, остающихся частью в карбонатном, частью в гипсовом горизонтах. Оставшиеся в растворе соли, преимущественно хлористый и сернокислый Na, вместе с почвенной водой передвигаются к пониженным элементам рельефа, где их количество постепенно возрастает. С увеличением содержания в почвенном растворе солей натрия процесс вытеснения из перегноя поглощенного кальция и замещения его натрием постепенно охватывает всю массу каждого комка почвы. Под влиянием насыщения перегноя поглощенным натрием почва теряет структурное состояние и обращается в раздельночастичную массу. Особенно усиливается этот процесс в присутствии в почвенном растворе солей карбоната и бикарбоната натрия (соды), при которых та часть перегноя, в которой поглощенный Ca замещен Na, образует коллоидальный раствор. Деградирующие черноземы в таком со-

[1] Система мероприятий для предупреждения и борьбы с явлениями засоления почвы была первоначально изложена автором настоящего труда в докладе «Борьба с засолением почв в районах хлопководства», сделанном на 3-й сессии ВАСХНИЛ в 1936 г. *Прим. автора.*

стоянии образуют солонцы; во влажном состоянии солонцы представляют собой недоступную обработке бесструктурную массу, при высыхании же приобретают чрезвычайно твердое глыбистое строение.

По мере движения вниз по склону увеличивается количество растворимых солей, притекающих с водораздела, и солонцы постепенно переходят в солончаки. Под влиянием более значительной концентрации солей (электролитов), поступающих сверху, бесструктурная почва солонца получает ложную непрочную структуру солончака. Мелкие диспергированные частицы почвы под влиянием солей свертываются в непрочные хлопья, которые, однако, не нарушают сплошных капиллярных свойств всей массы солончаковой почвы. Преобладающими солями в солончаках являются Na_2SO_4 и NaCl; NaCl перемещается вниз по склону быстрее Na_2SO_4. В промежутках между дождями (редкими в степных районах) ток почвенной воды прерывается и растворенные в воде соли, вследствие испарения, выносятся на поверхность почвы.

Солонцовые почвы содержат большое количество поглощенного Na (свыше 5% от полной емкости поглощения) при малом содержании солей в почвенном растворе. Солончаковые почвы содержат меньше 5% поглощенного Na (от полной емкости поглощения). По исследованиям И. Н. Антипова-Каратаева, явления солонцеватости начинают проявляться при соотношении в почве водорастворимых солей $(Ca+Mg) : (Na+K) < 1 : 3$.

Солонцовые и солончаковые почвы связаны между собой взаимными переходами: солонцовые почвы с большим содержанием поглощенного Na при наличии в почве CO_2 и воды образуют содовые солончаки, исключительно вредные для растений, так как при диссоциации соды образуется очень вредный ион (OH). Солончаки, содержащие соли Na, при промывке в отсутствие солей Ca, переходят в солонцеватые почвы.

Содержание поглощенного Na, кроме разрушения структуры и повышения дисперсности почвы, влечет за собой возникновение щелочной реакции почвы, вредной для растений, и образование на некоторой глубине (20 см) плотного иллювиального горизонта. Чем больше содержание в почве поглощенного Na, тем сильнее выражены указанные свойства[1].

В почвах степной стадии почвообразования образуется бикарбонат натрия и почти всегда присутствует водорастворимый бикарбонат кальция; то и другое обусловливает присущую этим почвам постоянную щелочную реакцию. Между тем культурные растения требуют слабокислой реакции почвы. Успешная борьба с щелочной реакцией почвы возможна при условии полного разрыва капиллярного сообщения пахотного горизонта с горизонтом подстилающей почвообразующей породы[2]. Это достигается одновременным применением гипсования и посева многолетних трав, обеспечивающих прочную комковатую структуру пахотного горизонта.

Для мелиорации сильно засоленных почв и возможности посева на них многолетних трав необходимо удаление из них избытка растворимых солей и затем замещение поглощенного Na кальцием. Наиболее действенным приемом удаления избытка солей на сильно засоленных землях для освоения их служит предварительная промывка почвы.

Основные мероприятия по недопущению явлений засоления и заболачивания орошаемых земель и устранению причин этих явлений сводятся к следующим.

1. Всемерное уменьшение капиллярного поднятия воды в верхние слои почвы и испарения влаги с поверхности почвы. Для этого необходимо создание и поддержание мелкокомковатой структуры орошаемой почвы путем введения правильных травопольных севооборотов и соответствующей агротехники.

2. Поддержание допустимой для растений концентрации почвенного раствора путем соответствующего поливного режима на орошаемых полях.

3. Поддержание допустимого уровня грунтовых вод в целях предотвращения заболачивания орошаемых земель. Для этого необходимо: строго нормировать подачу воды на орошение, вести борьбу с фильтрационными потерями воды в каналах, не допускать сбросов воды при поливах и затопления земель; при близком стоянии грунтовых вод (вследствие неблагоприятных гидрогеологических условий и отсутствия оттока грунтовых вод или неправильного избыточного расходования воды) необходимо понижать грунтовые воды дренажем.

Мероприятия, необходимые для борьбы с уже имеющимися явлениями заболачивания и засоления на орошаемых землях, при небольших степенях засоления могут ограничиваться указанными выше мерами предупредитель-

---

[1] Вопросы образования и режима засоленных почв при разных условиях подробно рассмотрены в труде В. А. Ковда. Происхождение и режим засоленных почв, тт. I и II. Изд. Академии наук СССР, М., 1947. *Прим. автора.*

[2] В. Р. Вильямс. Почвоведение. Сельхозгиз, М., 1949, стр. 459. *Прим. автора.*

ного характера; при значительных же степенях засоления и заболачивания одни предупредительные мероприятия недостаточны для обеспечения нужного водного и солевого режимов и необходимы специальные меры по удалению избытков солей в почве путем промывки засоленных участков, по снижению уровня грунтовых вод путем дренажа и недопущения затопления орошаемых земель. Последние должны быть связаны с последующими эксплуатационными мероприятиями.

Утверждения о бесполезности дренажа и достаточности одной травопольной системы земледелия для борьбы с засолением орошаемых земель при близком залегании грунтовых вод, высказывавшиеся в последних работах В. Р. Вильямса (а также в работах других авторов), являются неправильными. Т. Д. Лысенко писал: «В. Р. Вильямс правильно рекомендует в зонах орошаемого земледелия посевы многолетних трав, которые улучшают условия плодородия почвы и в то же время являются предупредительной мерой борьбы с засолением почвы. Однако ошибочным является положение В. Р. Вильямса о нецелесообразности применения дренажа как средства борьбы с засолением почвы, тогда как промывка засоленных почв и дренаж на участках с высоким стоянием грунтовых соленых вод является крайне необходимым»[1].



Рис. 152.

Для недопущения явлений засоления почв особенно важно поддержание допустимого уровня грунтовых вод и обеспечение комковатой структуры почвы.

Под действием капиллярных сил почвы грунтовые воды поднимаются на определенную высоту H_0 (рис. 152), тем большую, чем бесструктурнее и тяжелее по механическому составу данная почва; в суглинистых почвах высота H_0 достигает 2,5—4 *м*. При залегании грунтовых вод ближе 2—3 *м* от поверхности капиллярно поднимающаяся вода достигает поверхностных слоев почвы, и здесь происходит испарение воды и накопление растворенных солей. Чем выше залегают грунтовые воды, тем больше испарение их и поступление капиллярной воды в поверхностные слои почвы и тем интенсивнее может идти процесс засоления.

Это видно, например, из следующих данных наблюдений за испарением воды почвой на опытной станции «Федченко» в Фергане (Б. С. Коньков. 1939 г.). На сильнозасоленных почвах при глубине грунтовых вод 50 *см* испарение воды почвой составляло 2532 $м^3/га$, при глубине грунтовых вод 100 *см* — 1020 $м^3/га$ и при залегании грунтовых вод на глубине 150 *см* — 385 $м^3/га$.

Под влиянием испарения грунтовых вод уровень их может понижаться, но с одновременным повышением содержания солей в верхних слоях почвы за счет испарения воды почвой.

Для предупреждения отложений солей в верхних слоях почвы необходимо: 1) снижение высоты капиллярного поднятия грунтовых вод H_0 в данной почве, что достигается поддержанием комковатой структуры ее; 2) уменьшение испарения влаги из почвы путем улучшения ее структуры и соответствующей агротехники; 3) поддержание достаточной глубины уровня грунтовых вод H_1— правильным нормированным водопользованием, а при близких минерализованных грунтовых водах — обеспечением необходимого оттока их путем дренажа.

Вредное влияние засоления почвы проявляется не только в губительном действии на растения высокой концентрации почвенного раствора, но и в неблагоприятных физических свойствах засоленных почв: вязкости, водонепроницаемости во влажном состоянии и твердости в сухом состоянии и др.

[1] Т. Д. Лысенко. Об агрономическом учении В. Р. Вильямса. М., 1950. *Прим. автора.*

Задача мелиорации состоит не только в удалении растворимых солей, понижении концентрации почвенного раствора и уровня грунтовых вод, но и в придании почве благоприятных физических и химических свойств и в создании таких водного и солевого режимов, при которых правильно протекали бы все биологические процессы в почве.

Работы по недопущению и борьбе с явлениями заболачивания и засоления орошаемых земель представляют комплексную систему агротехнических и мелиоративно-гидротехнических мероприятий.

2. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Для предупреждения и борьбы с заболачиванием и засолением орошаемых почв необходимо, как отмечалось выше, обеспечение надлежащего водного режима и введение на орошаемых землях правильных севооборотов и других агротехнических мероприятий, обеспечивающих комковатую структуру почвы и хорошие условия развития растений. Вся эта система агротехнических мероприятий должна быть дифференцирована применительно к местным почвенным, климатическим и хозяйственным условиям. Комковатая структура уменьшает капиллярное поднятие воды и солей в верхние слои почвы и испарение влаги почвой, улучшает условия водопроницаемости почв и аэрации ее в послеполивной период.

Посевы трав улучшают агрегатный состав почвы, снижают температуру и повышают относительную влажность воздуха над орошаемой поверхностью. Это видно из данных наблюдений Центральной опытно-мелиоративной станции САНИИРИ в Голодной степи (табл. 34).

Таблица 34

Горизонт почвы (в см)	Содержание водопрочных агрегатов $d < 0{,}25$ мм (в %)		Высота над поверхностью почвы (в см)	Относительная влажность воздуха (в %)	
	до посева трав	перед распашкой трехлетних трав		под хлопчатником	под травами
0—10	9,91	24,10	5	35,1	69,2
10—20	11,69	26,24	100	29,0	48,8
20—40	8,58	17,43	200	26,5	43,9

Затеняя поверхность, травы уменьшают температуру и испарение влаги почвой и в силу этого снижают поднятие солей в поверхностные слои. Это хорошо видно, например, из рисунка 153, составленного по данным наблюдений опытно-мелиоративной станции в Золотой Орде (Голодная степь). Рисунок показывает, что под люцерной накопления солей (хлора) за вегетационный период почти не произошло, между тем как на старопашке под хлопком содержание хлора в верхних слоях почвы увеличилось почти в пять раз. Кроме того, люцерна своей глубокой корневой системой использует влагу глубоких слоев почвы (и даже грунтовые воды) в количестве до 200 $м^3/га$ в сутки и способствует благодаря этому понижению уровня грунтовых вод.

Мелиорирующее влияние трав тем больше, чем чаще в севообороте они занимают одно и то же поле (процент ведущей культуры, например хлопка, не должен при этом снижаться), поэтому в хлопководческих орошаемых районах на засоленных землях в настоящее время рекомендуются такие хлопково-люцерновые севообороты, при которых люцерна возвращается на прежнее место через короткие промежутки времени (в 3—4 года).

При прочной комковатой структуре пахотного горизонта нисходящий ток воды будет промывать вредные соли в нижележащие слои, но возвратиться в пахотный горизонт эти вредные соли и продукты их взаимодействия уже не могут вследствие перерыва капиллярного сообщения между этими горизонтами. Создание прочной комковатой структуры солонцовых почв достижимо одновременным применением гипсования (агрохимического воздействия) и посева многолетних трав (агротехнического воздействия).

Травопольные севообороты, наряду с созданием комковатой структуры почвы, улучшают также и водно-физические свойства почв, что важно для поддержания правильного водно-воздушного режима на орошаемых землях.

Кроме введения травопольных севооборотов на орошаемых землях, необходимы следующие мероприятия: а) правильная система обработки почвы (глубокая зяблевая пахота) для усиления увлажнения верхних слоев и понижения концентрации почвенных растворов, культивация после поливов для борьбы с коркой и испарением почвы; для уменьшения весеннего иссушения на засоленных почвах оказывается полезной предпосевная обработка почвы; б) внесение в почву органических удобрений (навоз, сидераты, компост); в) применение химизации (гипс) на солонцеватых почвах; г) планировка и выравнивание поверхности, имеющие важное значение для недопущения засоления почв, так как соли после поливов под действием капиллярных сил появляются на буграх микрорельефа («вода выжимает соли на бугры»); чем точнее планировка, тем меньше пятнистость засоления и выше урожай. Очень важное значение для недопущения засоления и для сбережения воды имеет уменьшение испарения влаги с поверхности почвы; для этого, помимо создания комковатой структуры и затенения почвы, необходимо снижение скорости ветра путем создания на орошаемых землях защитных лесных полос.

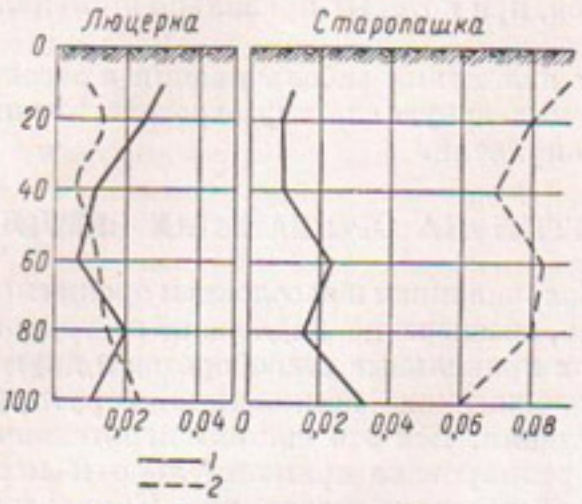


Рис. 153. Содержание Cl:
1 — весной и *2* — осенью.

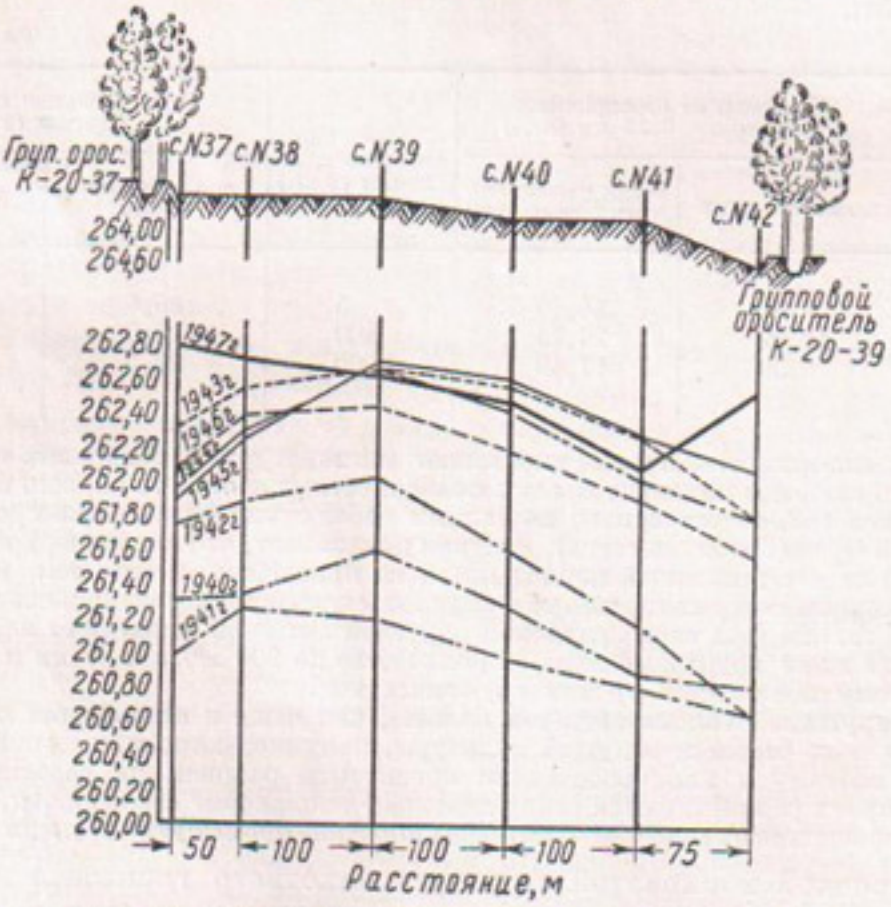


Рис. 154. Положение уровня грунтовых вод между групповыми оросителями, обсаженными талом, в вегетационный период (средние данные за май — октябрь).

Лесные полосы вдоль постоянных оросительных каналов снижают скорость ветра и повышают влажность воздуха и вследствие этого уменьшают испарение влаги почвой и, следовательно, поднятие солей в верхние слои

почвы. Кроме того, лесные полосы поглощают фильтрующуюся из каналов воду и благодаря этому способствуют снижению уровня грунтовых вод вдоль каналов, т. е. действуют как биологический дренаж. По данным Л. В. Елисеева, транспирация деревьев в орошаемых районах Туркменской ССР за весь вегетационный период составляет для одного взрослого дерева (в $м^3$): ивы 91,4, тополя 82,9, шелковицы 65,8, абрикоса 32,9, лоха 24,0.

На рисунке 154 показано влияние древесных насаждений вдоль распределителя К-20 в Голодной степи на грунтовые воды за период май—октябрь 1941—1945 гг. В 1947 г. деревья в рассматриваемом створе были вырублены и это вызвало быстрый подъем грунтовых вод вблизи каналов, где происходит интенсивное питание их. Наиболее интенсивное влияние древесных насаждений на понижение грунтовых вод вдоль канала проявляется в период усиления их вегетации, т. е. с мая по ноябрь, и ослабляется зимой и простирается на расстояние 100—150 м от канала. Чем больше размеры канала и фильтрация воды из него, тем большее число рядов деревьев должно быть в полосе с каждой стороны: от 10—20 — для магистральных каналов до 1—2 — для мелких распределителей.

Сообразно различным условиям засоления почв устанавливается и состав необходимых агротехнических мероприятий в каждом данном случае. Агротехнические мероприятия рассматриваются специально в курсе мелиоративного земледелия, и потому на них здесь больше не останавливаемся.

3. ПЛАНОВОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРАВИЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ

Очень важную часть мероприятий по предупреждению и борьбе с засолением и заболачиванием орошаемых земель составляют мелиоративно-эксплуатационные мероприятия.

Как появление избыточных поверхностных вод, так и подъем уровня грунтовых вод на орошаемой площади происходят в силу неблагоприятных гидрологических и гидрогеологических условий и неправильной эксплуатации системы. Рациональная постановка эксплуатации может исключить многие из указанных причин и не только ослабить, но во многих случаях и устранить появление в системе избыточных поверхностных и грунтовых вод.

Для устранения причин *поверхностного заболачивания* орошаемых земель необходимо: а) применение рациональной техники полива без сброса воды, соблюдая те условия и зависимости между отдельными элементами поливной техники, которые были рассмотрены выше; б) содержание в порядке каналов, дамб и сооружений на оросительной сети; в) опоражнивание каналов от излишней воды (в паводки, во время аварий, после поливов) в сбросную сеть, имеющую предохранительное значение и поддерживаемую в исправном состоянии; г) недопущение пользования сбросной сетью для поливов (т. е. создания высоких подпоров на сбросных каналах); д) защита низкорасположенных орошаемых земель от затопления их речными паводками — обвалованием этих земель или регулированием русла реки; е) предохранение орошаемой площади от поступления на нее избыточных поверхностных (например, паводковых) или подземных вод со стороны вышележащих водосборных площадей (например, окружающих предгорных районов) путем устройства каналов, перехватывающих сток поверхностных вод (нагорные каналы) или приток подземных вод (ловчие каналы или дрены); ж) предохранение системы от поступления в нее избыточных паводковых вод из реки путем переустройства головного питания.

В зависимости от конкретных условий и причин заболачивания выбираются нужные меры устранения их, причем соблюдение первых четырех требований (а, б, в, г) необходимо при всех условиях.

Для устранения причин подъема грунтовых вод на орошаемых землях необходимы следующие меры.

1. Применение правильных поливных норм, рассчитанных, как установлено выше, по дефициту потенциальной влагоемкости активного слоя почвы и в соответствии с глубиной грунтовых вод. Если фактически приме-

няемая поливная норма $m_ф$ превышает допустимую расчетную m_0, соответствующую потенциальной влагоемкости активного слоя почвы H, то грунтовые воды после полива могут подняться на величину $\Delta H_1 = \frac{m_ф - m_0}{A - r}$ *м*, где $m_ф$ и m_0 выражены в виде слоя в метрах; $m_0 = \delta HA$;

H — глубина активного слоя, в *м*; δ — дефицит потенциальной влагоемкости активного слоя; A — влагоемкость почвы; r — наличная влажность грунта выше уровня грунтовых вод в слое ΔH_1 (величины A, δ и r выражены в долях).

Если влажность почвы в слое $(H_1 — H)$ (до грунтовых вод) такова, что содержит капиллярную воду, то повышение грунтовых вод может происходить довольно быстро путем капиллярного сброса. Если содержание влаги в слое $(H_1 — H)$ меньше его потенциальной влагоемкости, т. е. максимальной молекулярной влажности, то часть воды из $(m_ф — m_0)$ может задержаться в слое $(H_1 — H)$. Таким образом, *применение непреувеличенных поливных норм (рассчитанных на основе установленных выше принципов) есть существенное условие для предупреждения поднятия грунтовых вод на орошаемых землях.* Для этого должна быть применяема и соответствующая техника полива, позволяющая давать небольшие нормы полива (дождевание, полив по бороздам). Со снижением норм орошения уменьшается и количество солей, поступающих в почву с оросительной водой.

2. Борьба с фильтрацией воды в каналах и всемерное повышение к. п. д. оросительной системы. Фильтрационные потери в каналах составляют существенный источник питания грунтовых вод на орошаемых землях. Наблюдения за грунтовыми водами на орошаемых землях наглядно показывают повышенное стояние грунтовых вод вдоль каналов, особенно постоянного действия. Положим, что в рассматриваемый период к. п. д. канала равен η_1, а расход воды в голове равен Q_1 (брутто) *м³/сек*, тогда потери на единицу орошаемой им площади ω_1 *га* эквивалентны поступлению в почву среднего слоя воды $h_1 = 8{,}64 \frac{Q_1}{\omega_1}(1 - \eta_1)$ *м* в сутки; так как часть фильтрационных вод (20 — 30%) не поступает на орошаемую каналом площадь (испарение и другие потери), то величина h_1 должна быть понижена и ее приближенно можно принять:

$$h_1 = 6{,}0 \frac{Q_1}{\omega_1}(1 - \eta_1) = 6q_1(1 - \eta_1)\ м/сут,$$

где q_1 — модуль подачи, в *м³/сек* на 1 *га*.

Фильтрация из каналов может давать питание грунтовых вод около $h_1 = 0{,}001$ *м/сут* и выше.

За время работы канала t суток подъем грунтовых вод на орошаемой им площади может быть равен в среднем слою $\Delta H_1 = \frac{h_1 t}{A - r}$ *м*, где $(A - r)$ — недостаток насыщения водой (слоя ΔH_1) до полной влагоемкости его по объему в долях (не учитывая влияния испарения и оттока грунтовых вод). Приближенно общее среднее повышение грунтовых вод на орошаемой площади системы за время t составляет:

$$\Delta H_1 = \frac{6q_1(1 - \eta_1)t}{A - r},$$

где q_1 — общее среднее значение гидромодуля брутто системы в рассматриваемый период t в *м³/сек* на 1 *га* и η_1 — к. п. д. системы за этот период.

Для уменьшения питания грунтовых вод за счет фильтрации воды из каналов необходимо: а) повышать к. п. д. системы, применяя все меры борьбы с фильтрационными потерями воды в каналах; б) сокращать подачу воды в систему брутто; в) уменьшать густоту оросительной сети; г) не допускать бесполезного и непроизводительного пропуска воды по каналам, ведя все водо-

пользование в системе по установленному плану (с нормированием водозабора).

3. Полное прекращение (или жесткое ограничение сроков) работы оросительных каналов в осенне-зимний период, так как в силу сниженного испарения почти все потери в этот период идут на питание грунтовых вод.

Для закрытия оросительных каналов зимой необходимо: а) перевести сельскохозяйственное водоснабжение из каналов на колодцы или водопроводы; б) подачу воды на осенне-зимние промывки засоленных земель, если они производятся, ограничить жесткими сроками. Чтобы исключить бесполезный пропуск воды по каналам в ночные часы (и, следовательно, фильтрацию и сброс воды), необходимо введение *круглосуточных поливов*.

4. Подача воды на орошение во всех звеньях оросительной системы, в голове и на полях, должна вестись на основе планов водопользования — системного и внутрихозяйственных — и быть строго нормирована в соответствии: а) с размерами действительно освоенных и орошаемых сельскохозяйственных площадей в каждый период времени; б) с величиной оросительных норм, отвечающих действительным потребностям водопотребления сельскохозяйственных культур при данных условиях; в) с наивысшим, возможным при данных условиях, коэффициентом полезного действия.

На многих системах наблюдается такое положение, когда вода подается на всю площадь, подлежащую по плану орошению, фактически же на системе освоена только часть этой плановой площади, вследствие чего излишне поданная вода сбрасывается и идет на заболачивание земель и питание грунтовых вод.

Подача воды ни в коем случае не должна превышать потребность действительно освоенных площадей и установленных для данной системы норм.

5. Недопущение питания грунтовых вод на орошаемых землях за счет фильтрации воды с рисовых полей, орошаемых непрерывным затоплением, а также с засоленных земель (при их промывке). Для этого необходимо: а) не размещать рисовые посевы, орошаемые непрерывным затоплением, среди остальных орошаемых земель, а выносить их в пониженные части системы, давать им изолированное питание водой и обеспеченный сброс, чтобы подъем грунтовых вод под рисовыми массивами не отражался на соседних землях (путем растекания); в противном случае нужна достаточно развитая водоотводная и дренажная сеть, позволяющая своевременно удалять все сбросные и фильтрационные воды; б) при промывке засоленных почв соблюдать требуемые нормы промывки, о которых будет сказано ниже; вести промывку ежегодно определенного процента земель; на землях с близкими грунтовыми водами обеспечить отвод промывных вод.

Указанные выше агротехнические и мелиоративно-эксплуатационные мероприятия должны проводиться на всех орошаемых землях как для недопущения заболачивания и засоления их, так и для рационального и экономного использования водных ресурсов, повышения плодородия почвы и расширения орошаемых площадей.

Однако в орошаемых районах возможны случаи (особенно при близком стоянии грунтовых вод и значительной минерализации их), когда перечисленные выше эксплуатационные мероприятия не в состоянии понизить уровень грунтовых вод и обеспечить на орошаемой площади нужный для растений режим грунтовых вод и солей.

Такое явление чаще всего имеет место на старых оросительных системах, на которых в результате векового бесплановой экстенсивного орошения произошел сильный подъем грунтовых вод и засоление почв, а также на системах, находящихся в тяжелых гидрогеологических и почвенных условиях: поступление на данную площадь подземных вод с вышележащих водосборов; наличие подстилающих напорных подземных вод; затопление и подтопление со стороны прилежащих водоемов; отсутствие оттока грунтовых вод вследствие подпора их снизу; отсутствие стока поверхностных вод; значительная первичная засоленность почв и грунтов и др. В этих случаях, кроме пере-

численных эксплуатационных мероприятий, необходимо прибегать: а) *к понижению уровня и обеспечению оттока грунтовых вод* (или стока поверхностных вод) *путем устройства водоотводных дренажных и сбросных каналов*; б) к устранению подпоров или затоплений путем соответствующих мероприятий; в) *к промывке сильно засоленных почв.*

Появление избыточных поверхностных вод, требующих удаления (паводковые воды, местные воды ливней, особенно после поливов, застои воды в депрессиях рельефа, за дамбами, воды опоражниваемых каналов и др.), наблюдается во многих более или менее крупных оросительных системах, и поэтому сбросные каналы для удаления поверхностных вод в соответствующей форме делаются в большинстве оросительных систем. Что же касается дренажных каналов для усиления оттока и понижения уровня грунтовых вод, то к ним необходимо прибегать в тех случаях, когда при близком стоянии грунтовых вод, слабом оттоке и высокой минерализации их одними агротехническими и эксплуатационными мероприятиями нельзя достигнуть требуемого солевого и водного режима почвы в нужные сроки.

4. НЕДОПУЩЕНИЕ ЗАТОПЛЕНИЙ И УДАЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД (СБРОСНЫЕ КАНАЛЫ)

Недопущение поверхностных затоплений и устройство сбросных каналов для удаления поверхностных вод необходимо не только по указанным выше причинам, но и для улучшения санитарных условий и предупреждения развития малярии в орошаемых местностях, что представляет очень важную народнохозяйственную задачу. Сбросная сеть для отвода излишних поверхностных вод делается открытой и сравнительно неглубокой.

Главные сбросы располагаются по естественным понижениям местности и отводят воду в соответствующие водоприемники, причем таковыми отнюдь не могут служить замкнутые котловины без стока, так как при переполнении водой они сами могут стать источником заболачивания прилежащей местности.

Расположение сбросных каналов проектируется по наиболее пониженным элементам рельефа с максимальным использованием лощин, кюветов, дорог. Трассы их желательно располагать по границам землепользований и увязывать с расположением распределительной сети; так как поливы должны вестись без сброса, то полевые сбросы обычно не делаются; внутрихозяйственные групповые сбросы выводятся в более крупные хозяйственные сбросы, а эти последние — в главный сброс (рис. 155).

Наименьшие расстояния между сбросными каналами составляют около 800—1200 *м*, а при двустороннем командовании распределителей — вдвое больше. Оросительные каналы с расходами воды 200 *л/сек* и выше должны кончаться не тупиками, а сбросными сооружениями, сообщающимися со сбросной сетью, что схематически и показано на рисунке 155, где сплошными линиями обозначены оросительные, а пунктиром — сбросные каналы.

Сбросные сооружения устраиваются также по длине магистрального канала и главных распределителей (если таковая велика), в особо ответственных местах для опоражнивания их,— так называемые катастрофические сбросы. Они располагаются по возможности против соответствующих естественных тальвегов местности и сбрасывают воду в них; при отсутствии же таковых делаются специальные сбросные каналы, соединяющие катастрофические сбросы с водоприемником.

Когда сбросной канал *а* идет рядом с оросительным каналом *бб*, то сбросное сооружение из оросительного канала в сброс делается вслед за последним выходящим из этого канала распределителем (рис. 156).

Глубина открытых сбросных каналов определяется из условия, чтобы при пропуске максимальных расходов воды уровень высоких вод был на 15—20 *см* ниже поверхности земли, так как такие расходы сбрасываются непродолжительное время, обычно при опоражнивании каналов. Преобла-

дающие горизонты бытовых вод составляют 10—15% и ниже от максимального.

Количества и расходы паводковых, талых или ливневых вод, подлежащих удалению с орошаемой площади, определяются по соответствующим гидрологическим материалам. Расчетным расходом концевого сброса постоянного канала принимается расход воды при опоражнивании этого канала — в конце его, без потерь на вышележащем участке канала.



Рис. 155.

Для крупных сбросных каналов, получающих воду из концевых сбросов межхозяйственной и хозяйственной сети, максимальный расчетный расход принимается равным 10% суммы расходов одновременно работающих соединенных с ними концевых сбросов.

Катастрофические сбросы в голове или в конце холостой части магистрального канала и крупных распределителей рассчитываются на полный расход канала ниже сброса. Концевые сбросы магистрального канала и распределителей рассчитываются на максимальный расход воды концевой части этого канала в соответствии с водооборотом на нем. Горизонты воды в сбросных каналах при расчетных их расходах должны быть установлены таким образом, чтобы был обеспечен сброс поверхностных вод из самых пониженных точек обслуживаемой ими площади.

Если отметка земли наиболее низкой точки (западина, резерв) на орошаемой площади равна A, то отметка высшего горизонта воды в сбросе в его устье должна быть равна $A - h - il$, где h=0,10—0,25 *м*, i — уклон сброса и l — расстояние его от пониженного сечения до устья.

Поперечное сечение сбросных каналов, проходящих всегда в выемке, должно по возможности удовлетворять требованию наибольшей пропускной способности (максимум R); откосы делаются обычно от 0,75 до 1, ширина по дну — по расчету, но не меньше 0,30 *м*.



Рис. 156.

Скорости течения воды должны быть таковы, чтобы каналы не зарастали, не заилялись (v_{min}>0,30 *м*/сек) и не размывались при пропуске максимальных расходов воды.

Сбросная сеть на рисовых оросительных системах должна: 1) отводить сбросные воды в период поддержания слоя в чеках, если полив риса ведется с поддержанием проточности, т. е. со сбросом 10—20% подаваемой воды; 2) удалять с затопленных площадей риса всю воду, чтобы просушить почву перед уборкой урожая и сделать возможной работу уборочных машин.

Наиболее напряженная работа сбросной сети в период сброса воды перед уборкой урожая, так как здесь нужно в течение 2—3 суток сбросить всю оставшуюся воду и затем в 10—12 дней просушить почву.

Считая, что остающийся в чеке слой воды h *см* должен быть сброшен за 2—3 суток, получим значение модуля стока поверхностных вод: q_1=0,58÷0,38 h *л/сек* с 1 *га*. Этот сток и является обычно расчетным для сбросной сети, так как сток почвенных вод в период просушки почвы обычно невелик и осушение почвы происходит главным образом за счет испарения.

Коллекторы, обслуживающие большие рисовые площади, обычно рассчитываются на модуль стока от 1 до 1,5 *л/сек* с 1 *га*, учитывая неодновременность сброса воды с отдельных полей.

Глубина водоотводной сети на рисовых системах должна быть не меньше 0,8—1 *м* у полевых сбросов, соответственно увеличиваясь для коллекторов.

5. РЕЖИМ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ОРОШАЕМОМ МАССИВЕ

Высокое стояние уровня грунтовых вод на орошаемых землях не должно допускаться, так как оно вызывает не только снижение аэрации (заболачивание), но и засоление почвы. Засоленность грунтовых вод в засушливых районах тем больше, чем ближе к поверхности уровень их залегания. Зависимость между глубиной залегания и минерализацией грунтовых вод (для условий Голодной степи) показана на рисунке 157.

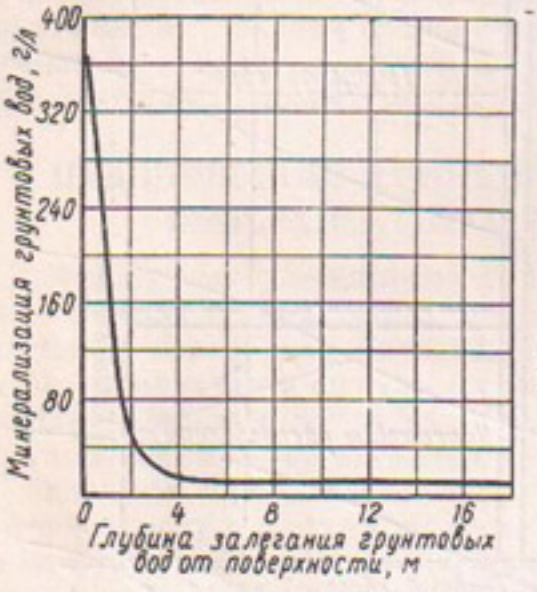


Рис. 157.

Особенно интенсивно процесс соленакопления или минерализации грунтовых вод происходит в тех случаях, когда грунтовые воды имеют слабый отток (при малой водопроницаемости водоносного грунта и малом уклоне грунтового потока). При большом испарении грунтовых вод послойная соленость их по глубине постепенно уменьшается, т. е. верхние слои почвенно-грунтовых вод более минерализованы, чем нижние.

Соли из верхних наиболее минерализованных слоев грунтовых вод перемещаются в двух основных направлениях: в вышележащие слои почвы — вследствие испарения и в нижележащие — вследствие диффузии. Увеличение содержания солей в верхних слоях вследствие испарения вызывает диффузию солей в нижние слои, которая, однако, протекает весьма медленно и обычно не в состоянии компенсировать конвективный перенос.

Послойное уменьшение солености грунтовых вод по глубине грунтового потока является преобладающим типом послойной минерализации грунтовых вод в засушливых районах. Однако при некоторых почвенных и гидрогеологических условиях может быть и другое послойное распределение минерализации грунтовых вод; это отмечено многими исследователями (Ф. П. Саваренский, В. А. Ковда и др.). Особенно сильное влияние на минерализацию грунтовых вод оказывает орошение.

Приходными элементами водного баланса на орошаемом массиве за определенный период могут быть: 1) водоподача брутто — $M_{бр}$, которую можно рассматривать как сумму оросительных вод, подаваемых на поля M (или промывных вод, если в этот период промываются засоленные почвы), и фильтрационных потерь воды S из оросительных каналов ($M_{бр} = M + S$); 2) атмосферные осадки и конденсация (P); 3) приток грунтовых вод извне (G), со стороны вышележащих территорий, инфильтрация из рек и водоемов или подпитывание глубинными подземными водами; 4) приток поверхностных вод (V).

Расходными элементами являются: 1) испарение влаги почвой и транспирация растений (E); 2) отток грунтовых вод за пределы данной территории $O_т$ в примыкающие к ней водоприемники или растекание в сторону соседних неорошаемых земель; 3) сток поверхностных вод ($V_о$).

Если баланс рассматривается для оросительной системы, имеющей коэффициент земельного использования значительно меньше единицы, а подъем грунтовых вод определяется на орошаемых землях, то в уравнениях баланса приходные и расходные элементы его должны быть установлены для

непосредственно орошаемой площади; для этого нужно знать не только значение к. з. и., но и расположение орошаемых и неорошаемых земель, оросительных и водосбросных каналов и гидрогеологические условия массива.

Приращение запаса влаги в толще грунта, включая грунтовые воды, за рассматриваемый период будет равно:

$$\Delta W = M + S + P + G + V - V_0 - E - O_т \; м^3/га,$$

где все размеры в $м^3/га$.

Если в результате этого запас воды в данной толще почвогрунта $W + \Delta W$ превысит[1] ее потенциальную влагоемкость W_0, то разница ΔG поступит на повышение уровня грунтовых вод и вызовет их подъем на величину ΔH, причем:

$$\Delta G = (W + \Delta W) - W_0 \; м^3/га \quad и \quad \Delta H = \frac{\Delta G}{\delta \cdot 10\,000},$$

где W — запасы влаги в расчетном слое в начальный период;

δ — дефицит заполнения грунта водой до полной влагоемкости его, изменяющийся обычно от 0,08 — 0,12 до 0,35 — 0,40 (в долях объема).

Из приведенных уравнений видно, что при анализе режима грунтовых вод очень важно знание гидрогеологических условий, определяющих размеры притока и оттока этих вод. Баланс последних нужно учитывать по отдельным периодам года и, во всяком случае, раздельно для оросительного и неоросительного периодов.

Для предупреждения подъема грунтовых вод на орошаемом массиве (чтобы $\Delta H = O$) необходимо: 1) всемерно снижать все внутрисистемные источники питания грунтовых вод путем применения вышеуказанных мероприятий; это необходимо при всех условиях и часто может быть достаточным для того, чтобы сбалансировать факторы питания и оттока грунтовых вод; 2) в тех случаях, когда, несмотря на минимальное значение внутреннего питания, все же имеет место высокое стояние грунтовых вод ($\Delta H > O$), что нередко бывает при промывке засоленных почв с близкими грунтовыми водами, необходимо прибегать к усилению оттока последних с данного массива и к уменьшению внешнего притока на него.

Предыдущее уравнение баланса грунтовых вод можно написать в таком виде (принимая $V = V_0$):

$$10\,000 \cdot \delta \Delta H = M_{бр} + P + G - E - O_т - \Delta W_0,$$

где главными приходными факторами баланса являются $M_{бр}$ и G, а главными расходными — E и $O_т$; $\Delta W_0 = W_0 - W$ — превышение водоудерживающей способности почвогрунтов в расчетном слое над начальными запасами.

Режим грунтовых вод на орошаемых землях как внутригодовой (сезонный), так и многолетний (по годам) слагается под влиянием сочетания приходных и расходных факторов их водного баланса. Можно отметить два основных вида этих сочетаний.

А. Приходные и расходные факторы, не балансирующиеся в отдельные периоды года, для целого года уравновешены и потому многолетних изменений запасов грунтовых вод не происходит, а наблюдаются только сезонные колебания запасов грунтовых вод, обусловливающие определенный внутригодовой режим их на данном массиве.

Б. Приходные и расходные факторы баланса грунтовых вод неуравновешены не только по отдельным периодам годам, но и по годам, в силу чего

[1] Здесь составлен совместный баланс грунтовых и почвенных (зона аэрации) вод, отчего под W_0 следует понимать объем воды, способный удерживаться всей толщей грунта (например, 5 м) без стекания, т. е. в W_0 включается собственно потенциальная влагоемкость от поверхности грунтовых вод до поверхности земли и запасы в толще грунтовых вод от их поверхности до расчетного уровня.

происходят не только внутригодовые, но и многолетние изменения запаса грунтовых вод на данном массиве в сторону нарастания или снижения уровня грунтовых вод. Постепенный рост минимальных и максимальных уровней грунтовых вод по годам говорит о том, что приходные элементы баланса $(M+G)$ из года в год превышают расходные элементы $(E+O_т)$; это положение является показателем неблагоприятного состояния орошения на данном массиве. Пример подобной динамики грунтовых вод можно видеть на ряде систем. На рисунке 158 показан пример для Шурузякского массива в Голодной степи.

Амплитуда сезонных колебаний уровня грунтовых вод на орошаемых землях может достигать 2—3 *м*.

Отметим главнейшие типы сезонных колебаний грунтовых вод на орошаемых землях при существующих режимах орошения.

I. Приходные элементы баланса грунтовых вод определяются главным образом факторами орошения, а расходные — испарением почвы и транспирацией растений; факторы же внешнего притока и оттока почти не участвуют в балансе. В этих случаях режим грунтовых вод характеризуется подъемами в весенние и летние и спадами в осенние месяцы; если в системе производится зимняя подача воды на водоснабжение или промывку засоленных почв, то отмечается также и зимнее накопление грунтовых вод. Влияние зимней подачи воды, не компенсируемой испарением, на подъем грунтовых вод к весне видно, например, на рисунке 159 (Багдадский район Ферганской области, по данным Г. Н. Виноградова).

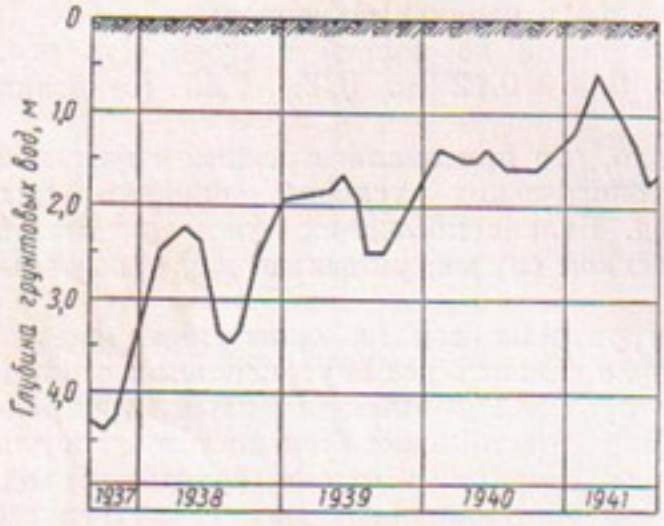


Рис. 158.

При отсутствии зимней подачи воды наблюдается весеннее или летнее накопление грунтовых вод (если факторы орошения превышают факторы испарения) или равномерный режим (если эти факторы уравновешены). Этот тип режима часто называют «ирригационным».

II. Приходные элементы баланса грунтовых вод определяются факторами орошения, расходные же элементы — испарением и транспирацией и естественным оттоком грунтовых вод в течение года. Режим грунтовых вод обусловливается главным образом соотношением между питанием грунтовых вод от орошения и оттоком грунтовых вод и характеризуется подъемами (летом или в начале осени) и спадами (зимой, декабрь — февраль) или же равномерностью в зависимости от режима орошения на системе и связи грунтовых вод орошаемой долины с рекой.

III. Приходные элементы баланса грунтовых вод, кроме факторов орошения, слагаются также из внешнего притока грунтовых вод; расходные же элементы определяются испарением, так как естественный отток грунтовых вод незначителен. В этих случаях режим грунтовых вод характеризуется обычно подъемами осенью и спадами весной.

IV. Приходные элементы баланса грунтовых вод определяются факторами орошения и внешнего притока, а расходные — факторами испарения и оттока. Характер режима грунтовых вод в этих случаях приближается к одному из трех вышеуказанных, в зависимости от конкретного соотношения между приходными и расходными факторами.

Сообразно сочетанию приходных и расходных факторов описанные типы колебаний грунтовых вод определяют различные виды их режима на

орошаемых землях, характеризующиеся различными периодами накопления и расходования, подъемов и спадов грунтовых вод; главнейшие из этих видов для хлопководческих районов СССР показаны в таблице 35.

Таблица 35

Типы и виды режима грунтовых вод	Факторы прихода				Факторы расхода				Время накопления грунтовых вод	Время	
	орошение		внешний приток		испарение		отток			подъема грунтовых вод	спада грунтовых вод
	летом	зимой	летом	зимой	летом	зимой	летом	зимой			
1	+	+	—	—	+	0	0	0	Зима	Весна	Осень
I, 2	+	—	0	—	+	0	0	—	Весна — лето	Лето	Зима
3	+	—	0	—	+	0	—	—	Без накопления	—	—
II, 4	+	—	—	—	+	0	+	+	То же	—	—
III, 5	+	—	+	+	+	0	—	—	Лето — осень	Осень — зима	Весна
IV, 6	+	—	+	+	+	0	+	+	Разное	Разное	Разное

В таблице 35 знаки показывают: (+) — наличие данного фактора; (—) — слабое проявление; (0) — отсутствие или очень слабое проявление.

Все указанные виды режима грунтовых вод очень сильно зависят от режима орошения и потому могут наблюдаться в различных условиях; однако, в силу влияния на ре-

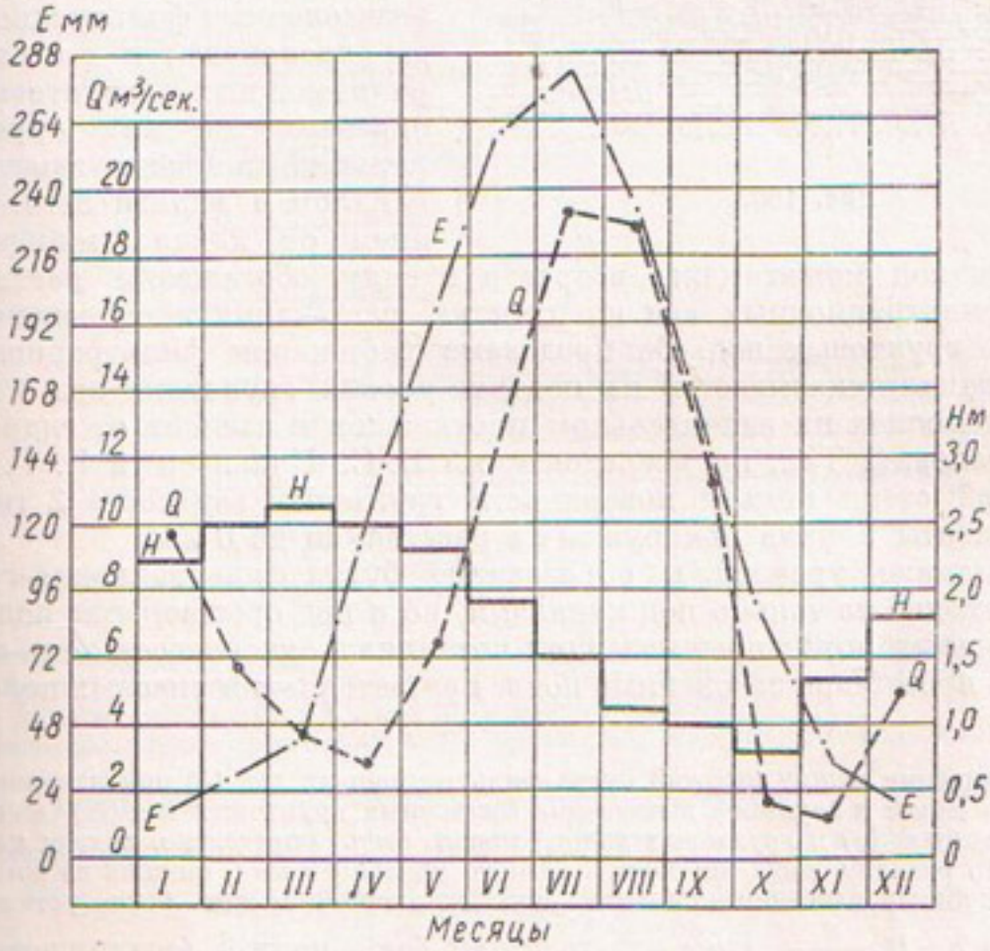


Рис. 159.

жим грунтовых вод факторов естественного притока и оттока их, каждый из указанных видов режима имеет преимущественные области распространения.

Рассмотрим эти виды применительно к данным таблицы 35.

Первый вид режима (1) грунтовых вод наблюдается чаще на оросительных системах, расположенных на плоских равнинах, со слабым оттоком грунтовых вод и с зимней подачей воды.

Второй вид режима (2) наблюдается на оросительных системах без зимней подачи воды — в предгорных равнинах, в долинах, в среднем и нижнем течении реки и в дельтах, когда грунтовые воды связаны с колебаниями горизонта воды в реке.

С третьим видом режима (3) приходится встречаться на системах в равнинах и долинах при отсутствии зимней подачи воды и строго нормированном летнем водопользовании.

Четвертый вид режима (4) преимущественно наблюдается на конусах выноса и в зонах дренирующего влияния рек и крупных водоприемников с хорошим оттоком.

Пятый вид (5) имеет место на орошаемых землях в зоне притока и выклинивания грунтовых или фильтрационных вод (например, ниже конусов выноса).

Шестой вид режима грунтовых вод (6) наблюдается на орошаемых землях при наличии не только притока грунтовых вод, но и обеспеченного оттока их.

Из данных таблицы 35 видно, что основными факторами режима грунтовых вод на орошаемых землях при существующей постановке орошения являются: приходными — подача воды на орошение (как в вегетационный, так и в невегетационный периоды) и в отдельных случаях — внешний приток, а расходными — испарение влаги и в отдельных случаях — отток грунтовых вод.

Орошение оказывает большое влияние не только на режим уровней, но и на минерализацию грунтовых вод. Под влиянием фильтрации воды из каналов часть грунтовых вод под каналом вытесняется и замещается фильтрационными водами, которые растекаются в стороны от канала (рис. 160). В зоне бокового растекания фильтрационных вод незасоленные фильтрационные воды наслаиваются на слои минерализованных грунтовых вод, оказывая на них опресняющее влияние, наиболее заметное под каналом и вблизи него. С удалением от канала минерализация грунтовых вод может даже возрасти в силу обогащения растворимыми солями фильтрационных вод по пути их растекания и вытеснения вверх исходных грунтовых вод. За пределами растекания фильтрационных вод влияние канала сказывается на подъеме уровня грунтовых вод в наблюдательных колодцах на значительном протяжении и зависит от гидрогеологических условий. Так, по исследованиям Б. С. Конькова и Е. Г. Петрова в Голодной степи подъем поверхности грунтовых вод через 2 года после начала работы канала обнаружен на расстоянии до 6 *км*.

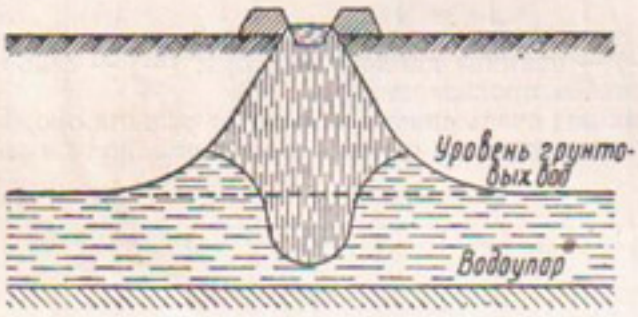


Рис. 160.

Нарастание уровней и образование бугра фильтрационно-грунтовых вод происходит не только под каналами, но и под орошаемыми полями (при даче поливных норм, превышающих потенциальную влагоемкость активного слоя, при промывках засоленных почв, при затоплении рисовых полей и др.).

Соотношение между высотой бугра фильтрационных вод (h) под каналом или орошаемым массивом и глубиной вытеснения бессточных грунтовых вод (H) и соленостью фильтрационных (g) и грунтовых вод(g_0) может быть определено, исходя из равенства давлений по разделу двух жидкостей разного удельного веса, нижняя из которых неподвижна. Глубина залегания контакта двух жидкостей может быть установлена по выражению $h = H \frac{g}{g_0 - g}$, где g — удельный вес более пресной фильтрационной воды; g_0 — удельный вес более минерализованной грунтовой воды; h — высота бугра (напор) фильтрационных вод; H — глубина вытеснения грунтовых вод под каналом (рис. 161). Приведенное выражение показывает, что при одинаковой высоте h глубина опреснения H уменьшается с увеличением отношения $g_0 : g$; при одинаковом отношении g_0 и g глубина опреснения грунтовых вод возрастает с увеличением напора h.

Из вышеизложенного видно, что орошение (фильтрация воды из каналов и с полей оказывает опресняющее действие на грунтовые воды. Однако фильтрация воды может вызывать подъем уровня грунтовых вод, в связи с чем сильно увеличится их минера-

зляция под влиянием испарения. Поэтому при орошении нельзя допускать подъема уровня минерализованных грунтовых вод[1].

Орошение нужно вести так, чтобы не происходило ни сезонных, ни многолетних накоплений грунтовых вод в нежелательных, опасных для хозяйства размерах. Для этого необходимо снижать приходные факторы баланса грунтовых вод, прежде всего излишнюю (превышающую водопотребление культур) подачу воды на орошение, и фильтрационные потери воды в каналах, повышать расходные факторы — полезное водопотребление и в нужных случаях — отток. Снижение подачи воды на орошение (сверх необходимых для растений количеств) нужно во всех случаях, особенно же оно важно на землях со слабым оттоком грунтовых вод. *При недостаточном оттоке грунтовых вод нельзя избыточную подачу воды на орошение уравновешивать испарением влаги с поверхности почвы*, так как это хотя и не создает подъема уровня грунтовых вод, но вызывает накопление солей в верхних слоях почвы по мере испарения почвенных вод.

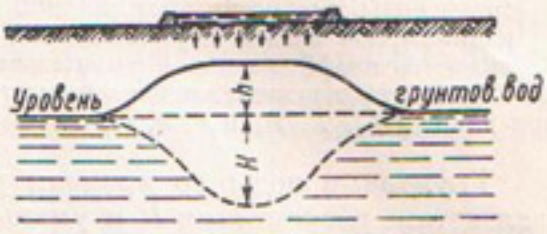


Рис. 161.

Во избежание подъема уровня грунтовых вод на орошаемых землях необходимо, чтобы оросительная норма (брутто) подачи воды в систему за время ΔT не превышала следующей величины:

$$M_{бр} \leqslant E - P + \Delta W_0 + \frac{Q_{от} - Q_{пр}}{\omega} \Delta T \pm \delta \Delta H,$$

где $\pm \Delta H$ — допустимое изменение поверхности грунтовых вод за время ΔT; все остальные величины отнесены к этому периоду.

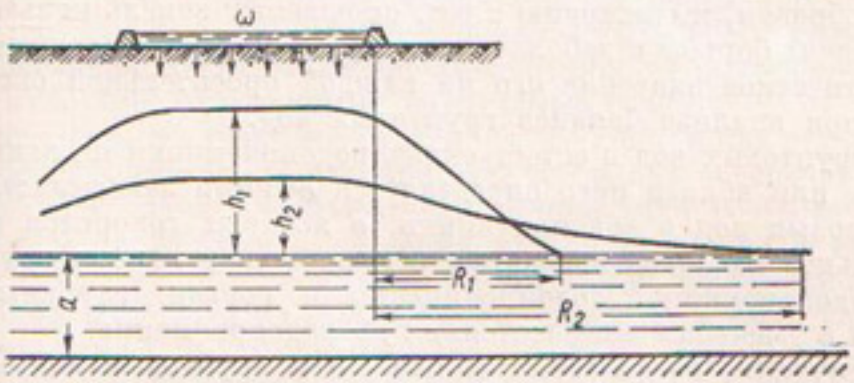


Рис. 162.

Естественный отток грунтовых вод с орошаемого массива может происходить: а) путем бокового растекания в сторону соседних неорошаемых земель и б) в имеющиеся на данном массиве или вблизи него водоприемники.

Боковое растекание грунтовых вод с орошаемого массива, имеющего площадь ω *га* (рис. 162) и контур растекания L*м*, за время $T_{сут}$ составляет $O'_т = \frac{T}{\omega} L q_0$ *м*³/*га*, где q_0 — средний расход растекания в одну сторону на единицу длины контура:

$$q_0 = n_1 k (h_0 + a) \left(\frac{h_0}{R_0} \pm I \right) м^3/сут \text{ на 1 пог. } м,$$

где $h_0 = 0{,}5\ (h_1 + h_2)$ и $R_0 = 0{,}5\ (R_1 + R_2)$;
n_1 — коэффициент, равный 0,75÷1;
a — активная мощность подстилающего грунтового потока, в *м*;
I — уклон его (знак плюс при уклоне от массива, минус — к массиву);
R_1, R_2 — дальности растекания, в *м*.

[1] См. «Влияние орошения на режим грунтовых вод». Сборник второй. Изд. АН СССР, 1959.

Величина снижения грунтовых вод (h_1-h_2) на площади ω путем растекания и продолжительность его T определяются следующими зависимостями:

$$\delta(h_1-h_2)=eT+\frac{q_0}{\omega}TL \text{ и } T=\frac{\delta h_2}{2q_0}(R_2-R_1)\eta,$$

где коэффициент $\eta\approx 1-\frac{(h_1-h_2)R_1}{h_1R_2-h_2R_1}$;

e — испарение грунтовых вод, в *м/сут* (за вычетом внутреннего питания p грунтовых вод, если таковое есть в рассматриваемое время); влияние e сказывается, если грунтовые воды стоят не глубже 3—3,5 *м* от поверхности;

δ — объемный коэффициент свободной пористости грунта, зависящий от глубины грунтовой воды, мощности капиллярной каймы и зоны аэрации; с увеличением высоты капиллярной каймы, с уменьшением зоны аэрации и глубины уровня грунтовых вод значение коэффициента δ уменьшается.

Совместное решение приведенных уравнений позволяет определить величины h_2 и R_2 при данных h_1, T, R_1 и e, a, δ[1].

Грунтовые воды во времени растекаются с замедляющейся скоростью (вследствие возрастания R и уменьшения h). Уменьшение глубины залегания грунтовых вод H и увеличение коэффициента фильтрации k снижает скорость и время растекания и передачи гидростатического давления.

Растекание грунтовых вод хотя и снижает их уровень на орошаемой площади, но вызывает повышение уровня грунтовых вод на соседних площадях, что может способствовать постепенному засолению их почв. *Поэтому понижение коэффициента земельного использования орошаемых земель, т. е. образование внутрисистемных неорошаемых перелогов, в сторону которых может происходить растекание грунтовых вод, недопустимо,* так как эта мера не устраняет избытки солей и грунтовых вод в системе, а только перераспределяет их по площади. Кроме того, низкое значение к.з.и. и наличие внутрисистемных перелогов связаны с увеличением длины непроизводительно работающих каналов и потерь воды в них и нарушают плановое водопользование.

Таким образом, к снижению к.з.и. орошаемых земель нельзя прибегать в качестве меры борьбы с заболачиванием и засолением орошаемых земель, однако фактическое значение его на каждой оросительной системе нужно учитывать при анализе баланса грунтовых вод.

Отток грунтовых вод в естественные водоприемники на данном орошаемом массиве или вблизи него определяется общими зависимостями поступления грунтовых вод в водоприемники, о которых говорится ниже. Здесь отметим только, что отток возрастает с увеличением напора грунтовых вод, глубины водоприемника, водопроницаемости грунта, глубины залегания водоупора и с уменьшением расстояния до водоприемника.

В тех случаях, когда естественный отток грунтовых вод недостаточен и указанные выше мелиоративно-эксплуатационные мероприятия по нормированию водопользования не обеспечивают требуемого понижения грунтовых вод и поддержания нужного режима их, необходимо прибегать к ис-

---

[1] В частности, при $I=0$, $e=0$, принимая в начальный момент $R_1=0$, получим формулы:

$$q_0=n_1k\left(\frac{h_1+h_2}{2}+a\right)\frac{h_1+h_2}{R};\ \delta(h_1-h_2)=\frac{2T}{B}q_0;\ q_0=\frac{\delta h_2R_2}{2T},$$

где B — ширина массива.

Решение находится подбором. Приближенное решение таково:

$$\Delta\bar{h}=\frac{2(1+\bar{a})}{2+1{,}5\bar{a}+\sqrt{A(1+\bar{a})}},$$

где

$$\Delta\bar{h}=\frac{h_1-h_2}{h_1};\quad \bar{a}=\frac{a}{h_1};\quad A=\frac{\delta B^2}{kh_1}\cdot\frac{1}{n_1T}.$$

Все размеры в *м/сут*. Задавались значениями T, находится $\Delta\bar{h}$, h_2 и подземный отток q_0.

кусственному увеличению оттока грунтовых вод (и к уменьшению внешнего притока, если таковой имеется) путем устройства соответствующей дренажной и коллекторной сети.

По мере движения от галечниковых конусов выноса к предгорным равнинам и к речным долинам и в последних — от верхних террас к нижним и к дельтам, обычно наблюдается уменьшение уклона и глубины грунтовых вод и ухудшаются условия естественного оттока их. В этом направлении возрастает потребность в мероприятиях по усилению оттока грунтовых вод при близком их залегании. Это достигается прежде всего устранением подпоров грунтового потока и других причин их слабого оттока и устройством дренажной и коллекторной сети. В тех случаях, когда на данный орошаемый массив притекают грунтовые воды извне с вышележащих площадей, их следует перехватывать путем устройства нагорных ловчих каналов или воздействием на самые условия питания грунтовых вод на вышележащих площадях.

6. ПОНИЖЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД. ДРЕНАЖ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

К устройству дренажа на орошаемых землях приходится прибегать в тех случаях, когда минерализованные грунтовые воды залегают близко от поверхности, и гидрогеологические условия (недостаточность естественного оттока, наличие напора и др.), даже при рациональном водопользовании, не позволяют без дренажа понизить этот уровень в нужные сроки и поддерживать требуемый для сельскохозяйственных культур режим грунтовых вод. В условиях хлопководческого орошаемого хозяйства необходимо, чтобы уровень грунтовых вод стоял не выше 2,5—3 *м* от поверхности, причем допустимые подъемы уровня после поливов не должны превышать 1,2—1,3 *м* от поверхности и на срок не более 7—8 дней. Если этого нельзя достичь за счет естественного оттока и путем рациональной эксплуатации, приходится прибегать к искусственному отводу и понижению уровня грунтовых вод.

Такое положение часто наблюдается при промывке засоленных почв на землях с неглубокими безотточными грунтовыми водами.

Дренажная сеть на орошаемых землях должна закладываться в слое грунтовых вод на достаточной глубине так, чтобы она обеспечивала следующие условия: 1) создание необходимого напора для возможности оттока грунтовых вод и увеличения опреснения их; 2) опускание и поддержание на нужной глубине от поверхности не только самой депрессионной поверхности грунтовых вод, но и их *капиллярной каймы*, или зоны капиллярного подъема минерализованных грунтовых вод.

В противном случае (при недостаточной глубине дренажной сети) поверхность грунтовых вод может служить источником капиллярного поступления грунтовой воды и растворенных в ней солей в верхние слои почвы. Поэтому водоотводная дренажная сеть для понижения уровня грунтовых вод на орошаемых землях (в отличие от поверхностной сбросной сети) должна иметь *достаточную глубину*, чтобы опустить капиллярную кайму.

При решении вопроса о необходимости в данных условиях устройства дренажа требуется выяснить степень солености грунтовых вод и может ли требуемое понижение их быть достигнуто (в нужные сроки) за счет естественного оттока и применения эксплуатационных мероприятий. Для этого нужно знать главнейшие причины высокого стояния уровня грунтовых вод на данном орошаемом массиве, состояние эксплуатации его, размеры внешнего притока и достаточность оттока грунтовых вод за пределы этого массива. Знание этих причин позволит наметить конкретную систему мероприятий. Прежде всего должны быть устранены все эксплуатационные причины высокого стояния грунтовых вод. Если при правильной эксплуатации системы и плановом нормированном водопользовании (непреувеличенные нормы орошения, высокий к.п.д. каналов, отсутствие затоплений), т. е.

при устранении внутренних источников питания грунтовых вод, все же наблюдается подъем их уровня, это указывает на недостаточность оттока или на значительный внешний приток, что и должно быть исправлено путем устройства дренажа.

На орошаемых массивах с засоленными почвами, требующими промывок, и с близкими грунтовыми водами должно быть выяснено, обеспечено ли за счет естественного оттока понижение в нужные сроки образующегося после промывок подъема грунтовых вод (при правильном режиме промывок) или нужно усиление оттока их.

Эти вопросы могут быть решены на основе анализа динамики режима и баланса грунтовых вод на данном массиве, который покажет, за счет каких источников происходит подъем уровня грунтовых вод в данном случае и на что должны быть направлены главные меры.

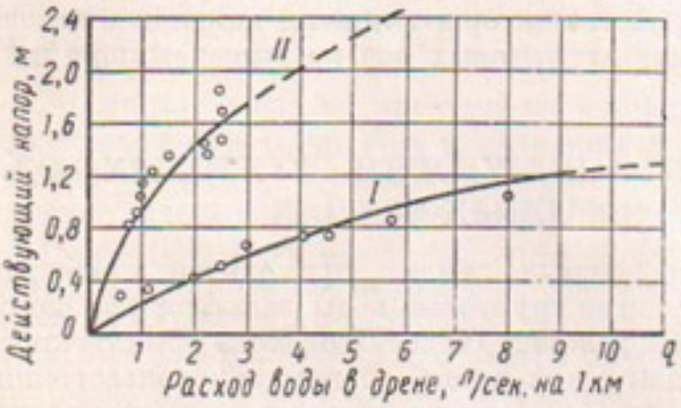


Рис. 163. Зависимость расхода воды в дренах от действующего напора.

Действие дренажа на орошаемых землях выражается: 1) в сокращении периодов высокого стояния грунтовых вод; 2) в абсолютном понижении высоты подъема (пик) уровня их, причем первое проявляется сильнее, чем второе; 3) в постепенном понижении общего уровня грунтовых вод; 4) в снижении засоления почв и грунтовых вод.

Опытный дренаж в Голодной степи, например, сокращает период весеннего подъема уровня грунтовых вод на 1—2 месяца, абсолютные же пики подъема снижаются на 0,30—0,50 *м*; осенний подъем грунтовых вод после поливов сокращается на 20—30 дней.

Исследования дренажа на Северной Мугани (АзНИИГиМ, Н. А. Беседнов) показывают, что до постройки дренажа (1927 г.) преобладающая глубина залегания грунтовых вод на опытном участке в весенне-зимний период составляла около 1—2 *м*, после же постройки глубокой коллекторно-дренажной сети она достигала 2,5—3,5 *м*. Вместе с этим снизилось засоление почвы участка и минерализация грунтовых и дренажных вод. Преобладающее содержание солей (плотный остаток) в грунтовых водах в 1931 г. составляло 15—40 *г/л*, а в 1947 г. — 2—10 *г/л*; содержание хлора в дренажных водах в 1931 г. составляло 7—24 *г/л*, а в 1947 г. — 4,7—6,9 *г/л*. В результате рассоления почв на опытно-дренажном участке на Северной Мугани урожаи сельскохозяйственных культур достигли в 1950 г. следующих величин: хлопчатник средневолокнистый — 43,1 *ц* с 1 *га*, озимая пшеница —28,1 *ц*, люцерна второго года—100,7 *ц*, овощные культуры — 256,4 *ц* с 1 *га* и значительно повысилась производительность труда. Нужно, однако, отметить, что почвы опытно-дренажного участка на Северной Мугани характеризуются значительной величиной среднего коэффициента фильтрации, при котором скорость понижения грунтовых вод (при глубине дрен 2,4—4 *м* и расстояниях между ними от 350 до 580 *м*) составляет около 0,03 *м/сут*. Дренаж глубиной 2,5 *м* при расстояниях между дренами 376—468 *м* на тяжелых почвах со средним значением коэффициента фильтрации около 0,5 *м/сут* (опытно-дренажный участок на Южной Мугани) создает среднюю скорость понижения грунтовых вод только около 0,004 *м/сут* и потому для получения нужного снижения уровня грунтовых вод и засоленности почв требуются более частые расстояния и увеличение глубины заложения дрен.

Зависимость расхода воды в дренах от напора (и глубины заложения) на легких и тяжелых почвах Северного (I) и Южного (II) опытных участков на Мугани показана на рисунке 163 (по данным Н. А. Беседнова).

Дренажная сеть позволяет промывать от избытка солей сильнозасоленные земли, не вызывая опасного повышения уровня грунтовых вод, благодаря чему становится возможным введение на этих землях травопольных севооборотов.

Дренажная сеть для понижения и отвода грунтовых вод может быть закрытой или открытой.

Каналы дренажной сети, открытые или закрытые, в дальнейшем будем называть дренажными каналами, или дренами; они отводят поступающую

в них грунтовую воду в коллекторы, которые обычно делаются открытыми, и сами понижают уровень грунтовых вод.

Глубина дрен на орошаемых землях делается не меньше 2,5—3 м; она должна быть больше критической глубины грунтовых вод. Это объясняется следующим: 1) на орошаемых землях, как сказано выше, надо опустить на достаточную глубину не только уровень грунтовых вод, но и капиллярную кайму их; 2) многие культивируемые на орошаемых землях растения имеют более глубокую корневую систему; 3) большие глубины позволяют увеличивать расстояния между дренажными каналами с сокращением длины их на единицу площади; 4) больший напор над более глубокими дренами содействует более быстрому опреснению грунтовых вод.

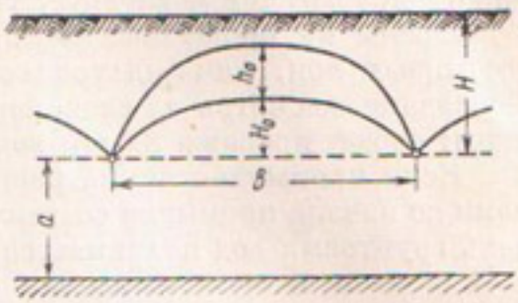


Рис. 164.

Критическая глубина грунтовых вод, выше которой подъем их опасен, зависит от степени минерализации их, механического состава и структурности почв. На лессовых почвах она составляет:

Минерализация грунтовых вод (в *г/л*)	7,0—5,0	5,0—3,0	3,0—1,5
Критическая глубина грунтовых вод (в *м*)	3,5—3,0	3,0—2,2	2,2—1,7

Прочная комковатая структура почвы уменьшает критическую глубину; наоборот, на тяжелых суглинистых и бесструктурных почвах критическая глубина увеличивается на 20—30%.

Если дрены заложены мелко и капиллярная кайма грунтовых вод достигает поверхности, легко происходит реставрация засоления почв. Для предотвращения этого явления после промывки (кроме обеспечения оттока грунтовых вод) необходимо уменьшить испарение почвенной влаги, что достигается своевременными по наступлении спелости почвы послеполивными обработками — зяблевой вспашкой, боронованием или чизелеванием.

Расстояния между дренами на орошаемых землях зависят от глубины дрен, водопроницаемости почвы, содержания солей в ней, гидрогеологических условий и требуемой скорости опускания уровня грунтовых вод после промывки почвы. В зависимости от этих условий расстояния между дренами (при глубине их около 2,5—3 *м*) колеблются от 250 до 800 *м*.

Если грунтовые воды между дренами под влиянием тех или иных причин (промывки, атмосферные осадки и др.) поднимаются на величину h, то дрены должны отводить ежесуточно столько воды, чтобы сработать этот подъем грунтовых вод в течение определенного времени, обусловленного хозяйственным использованием площади. Способность дрен отводить и опреснять грунтовые воды, при прочих одинаковых условиях, зависит главным образом от напора H_0 и глубины заложения дрен H, от расстояний между ними B, от глубины залегания водоупора a (рис. 164) и от водопроницаемости k грунта. Чем больше отношение $\frac{2H_0}{B}$, глубина водоупора a и водопроницаемость тем энергичнее действие k, дрен.

По опытным работам в Голодной степи, при дренаже средней глубины 2,45 *м* допустимо расстояние между дренами до 250 *м*. На Северной Мугани, с ее более легкими почвами, дрены глубиной 2,5 *м* допускают расстояния между ними 400—500 *м*.

Расстояния между дренами при прочих равных условиях приближенно пропорциональны $\sqrt{k}$ и, следовательно, на тяжелых грунтах с малым значением коэффициента фильтрации k получаются небольшие расстояния между дренами, что удорожает стоимость дренажа. Поэтому в настоящее время на землях с тяжелыми засоленными почвами, требующими промывок и

дренажа, закладывают глубокие дрены (порядка 3—4 *м*), создающие больший напор грунтовых вод h и обеспечивающие большее их опреснение; на фоне этих глубоких и редких (около 400—600 *м*) дрен устраивают в пространстве между ними временные (или закрытые кротовые) неглубокие (0,8—1 *м*), но частые (40—60 *м*) дрены. Такие дрены ускоряют отвод промывных вод из верхнего слоя и предохраняют его от быстрой реставрации засоления, которая происходит тем медленнее, чем быстрее опускаются грунтовые воды.

Дрены на орошаемых землях должны отводить или внешний приток грунтовых вод, или фильтрационные (главным образом промывные) воды. Последние, несмотря на свою периодичность, могут достигать большей величины; расчет дренажа на эти воды ведется следующим образом.

Если промывная норма равна m *м*³/*га*, а напор грунтовых вод над дренами до начала промывки составляет H_0 *м* (рис. 164), то после промывки уровень грунтовых вод поднимается на величину:

$$h_0 = \frac{m - 100\,(H - H_0)\alpha}{\mu 100},$$

где α — дефицит влажности слоя почвы $H - H_0$ до потенциальной влагоемкости его, в %;

μ — дефицит насыщения скважности почвы в слое h_0 над поверхностью грунтовых вод, в %.

Напор грунтовых вод после промывки равен $H_0 + h_0$ *м*; сообразно этому напору и определится максимальная величина поступления воды в дрену на единицу длины ее (q) при данных гидрогеологических условиях и расстояниях между дренами. По мере снижения напора $H_0 + h_0$ поступление воды в дрены (q) будет постепенно уменьшаться.

Величину притока воды в дрены (q) и время, в течение которого грунтовые воды, поднявшиеся на величину h_0, опустятся до первоначального положения H_0, определяют на основе методов, изложенных в главе XI.

Подъем грунтовых вод после промывки h_0 должен быть снижен в течение времени, соответствующего характеру использования площади. При интенсивном сельскохозяйственном использовании нередко принимают расчетное q=0,45—0,50 *л/сек* с 1 *га*, а при экстенсивном — q=0,10—0,20 *л/сек* с 1 *га* (Т. Н. Преображенский).

Если дренаж должен отводить внешний приток грунтовых вод, поступающих на данный орошаемый массив, то нужно установить величину этого притока, приходящуюся на 1 пог. *м* перехватывающих его дрен.

Зная приток грунтовых вод на единицу длины дрены q и длину ее, нетрудно определить расходы воды, проходящей в любом сечении дрены, и сделать необходимый гидравлический расчет.

Если дрены делаются закрытыми, то диаметр их, вследствие легкой заиляемости, должен быть не меньше 10—15 *см* и более по расчету.

Дренажный модуль во времени может колебаться в зависимости от питания грунтовых вод (например, во время промывок) и изменений напора. Расчетная величина модуля должна быть определена технико-экономическим путем. При расчете дрен по среднему модулю стока получаются меньшие размеры дрен, но возможно подтопление дрен и подъем грунтовых вод во время максимального стока.

Как колеблются значения дренажного модуля, можно видеть, например, из данных таблицы 36. При этом нужно иметь в виду, что на орошение и промывки давались большие количества воды, что увеличило значения модуля стока.

Внешний приток грунтовых вод на Мугани составлял около 0,03—0,05 *л/сек* на 1 *га*. Большое значение дренажного стока на Мугани объясняется высоким значением коэффициента фильтрации дренированных почв. При прочих равных условиях дренажный модуль (с 1 *га*) увеличивается с уменьшением расстояний между дренами. Расход воды в дренах на 1 пог.*м* длины их возрастает с увеличением напора грунтовых вод между дренами h

Таблица 36

Место наблюдений	Глубина дренажа (в *м*)	Модуль орошения (в *л/сек* на 1 *га*)	Дренажный модуль (в *л/сек* с 1 *га*)		
			среднегодовой	средний за оросительный период	максимальный
Опытное поле Федченко (Фергана)	1,5	0,49	0,09	0,18	0,23
Опытное поле Чарджоу (Туркмения)	1,0—1,5	0,52	0,15	0,22	0,36
Центральная опытно-мелиоративная станция (Голодная степь)	2,45	0,86	0,13	0,26	0,33
Опытный дренажный участок (Северная Мугань)	2,50	0,45	0,26	0,49	0,87

пропорционально h или h^2, в зависимости от глубины залегания водоупора. Скорость опускания уровня грунтовых вод на дренированных землях, как показывают наблюдения, в 2—3 раза больше, чём в бездренажных условиях. Она увеличивается с увеличением напора грунтовых вод и с уменьшением расстояний между дренами (в первой степени или в квадрате, в зависимости от гидрогеологических условий).

В зависимости от указанных условий фактическая скорость опускания грунтовых вод под влиянием дренажа, по наблюдениям в Голодной степи и на Муганской опытной станции, изменяется таким образом:

Напор грунтовых вод (в *м*)	1,8	1,5	1,0	0,8	0,5
Скорость опускания уровня грунтовых вод (в *см/сут*)	8—20	5—15	4—7,5	3,5—5,0	2,0—3,0

КОНСТРУКЦИЯ И РАСПОЛОЖЕНИЕ ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ

В зависимости от гидрогеологических, почвенных и хозяйственных условий дренажная сеть, устраиваемая на землях с близким залеганием грунтовых вод, носит систематический или выборочный характер и нередко бывает представлена только отдельными каналами (дренами и коллекторами). Дрены делаются открытыми или закрытыми, в зависимости от требуемой интенсивности дренирования, расстояний между дренами и свойств почвы. Открытые дренажные каналы не должны препятствовать механизации сельскохозяйственных работ на полях и устройству временных оросителей; они могут идти только по границам этих участков на достаточном расстоянии от постоянных распределителей. При необходимости частого расположения дрен их приходится делать закрытыми, чтобы не терять полезной орошаемой площади и не стеснять механизации сельскохозяйственных работ.

Закрытые дрены делаются обычно из гончарных труб диаметром 10—20 *см*; так как соли могут разрушать гончарные трубы, то в очень засоленных грунтах иногда применяются деревянные трубы. Стыки гончарных труб перекрываются на $^2/_3$ окружности толем, войлоком или гончарными кольцами. В легких суглинистых грунтах под дрены делается подсыпка на 10 *см* и обсыпка стыка щебнем или гравием.

Во избежание заиления труб необходимо: 1) давать дренам уклон не меньше 0,002 и скорости воды 0,35—0,80 *м/сек*; 2) устраивать по длине дрен (через 100—200 *м*) осадочные колодцы, которые можно чистить; 3) в особо неблагоприятных случаях прочищать дрены от наносов круглой металлической щеткой *а* на тросе, пропускаемой в дрену между двумя колодцами (рис. 165).

Дрены желательно располагать в направлении гидроизогипс, а коллекторы вдоль по уклону местности, так как в этом случае они быстрее отводят воду. При расположении оросительной сети по типу I (рис. 103) закрытые

дрены идут параллельно групповым распределителям II— младшего порядка (по одной или две дрены посредине между ними), а коллекторы — параллельно главным распределителям I (посредине между ними). При расположении оросительной сети по типу II (рис. 106) дрены и коллекторы располагаются в обратном порядке. Закрытые дрены должны отстоять на расстоянии 20—30 *м* от оросительных каналов и не идти под ними и вдоль них (пересекаться могут), во избежание попадания в дрены фильтрационных вод из каналов и вмывания мелкозема в дрены.

Во время промывки засоленных почв полоса земли над дренами, шириной около 10 *м*, должна ограждаться валиками, особенно в первые годы работы дрен, во избежание их заиления.

Дренажные воды должны сбрасываться в коллекторы. Обычно дренажные коллекторы имеют глубину около 3—3,5 *м*, поэтому для отвода дренажных вод в открытые сбросы на безуклонных площадях иногда приходится устраивать насосные станции, перекачивающие дренажные воды в сброс или водоприемник.

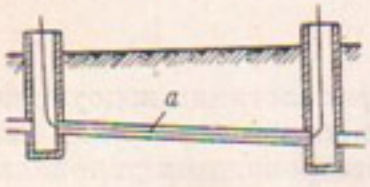


Рис. 165.

Если расстояния между оросительными каналами могут быть сделаны достаточно большими (400 *м* и более), не стесняющими механизации сельскохозяйственных работ на орошаемых землях, то водоотводная сеть для понижения грунтовых вод делается открытой, в виде достаточно глубоких (2,5—3 *м*) осушительных каналов. Открытые дрены проще для надзора, но недостатками их являются потеря полезной площади, зарастание и частое обрушение откосов.

Для крепления оплывающих откосов открытых коллекторов в Туркмении применялась выстилка дна и откосов их снопами камыша (перпендикулярно оси канала) с последующей засыпкой их грунтом, вынимаемым со дна коллектора (И. С. Рабочев).

Ширина открытых дренажных каналов по дну делается по расчету, но не меньше 0,30 *м*. Горизонт воды в них не должен создавать подпора грунтовых вод на дренируемой площади; иначе дрены и коллекторы могут явиться источником питания грунтовых вод, если они одновременно являются и приемниками сбросных вод.

Сечения как открытых, так и закрытых дрен и коллекторов, по мере увеличения количества поступающей в них воды, по длине постепенно увеличиваются.

В тех случаях, когда дренажные воды приходится искусственно откачивать, часто применяется *раздельная система отвода сбросных поверхностных и дренажных—грунтовых вод*. Поверхностные сбросные воды поступают самотеком в неглубокие сбросные каналы; дренажные же воды поступают в глубокие коллекторы, из которых вода откачивается механическим путем. Отвод более крупных расходов сбросных вод самотеком позволяет значительно уменьшить мощность насосных станций и не делать больших глубоких коллекторов.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ ПРИ ПОМОЩИ КОЛОДЦЕВ

Недостатками горизонтальной дренажной сети являются: 1) необходимость сравнительно глубокого заложения ее для того, чтобы опустить капиллярную кайму грунтовых вод, что обусловливает высокую стоимость дренажа, часто затрудняющую его применение; 2) тесная зависимость заложения дрен от местных топографических условий; 3) заиление закрытых дрен, зарастание и обвалы откосов открытых дрен. Поэтому для понижения грунтовых вод на орошаемых землях применяется также откачка грунтовых вод из специально заложенных глубоких буровых колодцев; этот метод позволяет осуществлять глубокое понижение грунтовых вод и регулировать его.

Так как при орошении, как было указано выше, наиболее минерализованные верхние слои грунтовых вод под влиянием фильтрации пресных оросительных вод оттесняются в глубину, то вертикальный дренаж, отводящий воду глубоких слоев, способствует ускорению процессов опреснения почв и распространению их на бóльшую глубину по сравнению с горизонтальным дренажем. Однако вертикальный дренаж требует затраты энергии на откачку воды и увеличивает эксплуатационные расходы.

Применение колодцев для откачки воды целесообразно в гидрогеологических условиях, характеризуемых залеганием более или менее мощных крупнозернистых водоносных слоев, без сплошных водоупорных прослоек, а также при наличии напорных грунтовых вод, являющихся источником заболачивания. Наиболее эффективны вертикальные колодцы на землях, подстилаемых галечниковыми аллювиальными отложениями, а также чередующимися песчаными, супесчаными и суглинистыми слоями; такие условия встречаются во многих долинах и предгорных равнинах, по окраинам крупных конусов выноса. В низовьях и дельтах рек, сложенных мелкозернистыми слоистыми суглинисто-глинистыми грунтами, условия для успешной работы вертикального дренажа менее благоприятны. По мере откачки воды из глубокого водоносного слоя на ее место более или менее быстро поступают почвенно-грунтовые и фильтрационные воды из вышележащих, обычно менее водопроницаемых слоев.

Хорошая водопроводимость грунта и быстрое поступление воды из поверхностных слоев в водоносный слой, из которого производится откачка,— условия успешного действия колодца. В зависимости от этих условий удельный дебит колодцев (на 1 *м* глубины откачки) колеблется от 5 до 30 *л/сек*. *Колодцы с малым удельным дебитом неэффективны.*

Колодцы для понижения грунтовых вод делаются буровые, диаметром в 30—70 *см* и более и глубиной от 30 до 150 *м*, в зависимости от залегания водоносного слоя. Вода поступает в колодцы через боковые отверстия (фильтр) или через дно.

Расположение колодцев делается или *площадное*, где нужно опустить уровень грунтовых вод на данной орошаемой площади, или же *линейное*, где линия колодцев должна перехватить грунтовый поток, поступающий на данную орошаемую площадь извне, со стороны прилежащих земель. В зависимости от водопроницаемости грунтов, колодцы располагаются на расстояниях 1,5—3 *км* по уклону и 0,7—1,5 *км* по горизонталям, так что один колодец обслуживает площадь от 100 до 400 *га*. Колодцы оборудуют глубинными насосами производительностью от 20 до 400 *л/сек* и двигателями (электромоторами) мощностью от 17 до 105 *квт*.

Для определения количества воды, подлежащей откачке из колодцев при вертикальном дренаже площадного типа, необходимо установление вертикального баланса грунтовых вод на подлежащей осушению орошаемой площади[1].

Основные приходные элементы вертикального баланса грунтовых вод на орошаемой площади следующие: а) приток воды снизу вверх из нижележащего водоносного слоя; б) поступление воды сверху—атмосферные осадки плюс подача воды на орошение (поливные воды и фильтрация из каналов); расходными элементами являются: а) испарение почвы и транспирация растений; б) изменение запаса влаги в слое почвогрунта выше уровня грунтовых вод за рассматриваемый период времени. Отсюда количество воды, подлежащей откачке, будет равно восходящему притоку на данной площади плюс поступающие в грунтовые воды осадки и фильтрационные воды с орошаемых полей и из оросительных каналов.

Г. Г. Оганезов определяет восходящий ток из нижнего водоносного слоя как произведение среднего градиента восходящего тока на глубину понижения грунтовых вод; этот градиент определяется эмпирическим путем и для Северной степи Армении, по Оганезову, оказался равным 60 *мм* в месяц на 1 *м* понижения уровня грунтовых вод, или

---

[1] О методике определения количеств откачиваемой воды из вертикальных дрен см. работы: 1) Г. Г. Оганезов. Осушение насосными колодцами Северной степи. Изд. Армянского госуд. изд-ва, Ереван, 1956; 2) Л. Ц. Буниятян и В. В. Александрян. Исчисление количества вод, подлежащих откачке при вертикальном дренаже. «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1956. *Прим. автора.*

$=2$ *мм/сут*. Мощность глинистого покровного слоя в Северной степи Армении составляет в среднем 5 *м* и коэффициент фильтрации равен около $0{,}002 \times 5 = 0{,}01$ *м/сут*.

Количество атмосферных осадков, просачивающихся до грунтовых вод на орошаемых землях, определяется в размере 0—40% количества выпадающих осадков, в зависимости от почвенных, гидрогеологических и климатических условий. Для условий Северной степи Армении Г. Г. Оганезов принимает это количество в размере 30%; остальная часть выпадающих осадков расходуется на испарение почвы, транспирацию растений и сток. Количество оросительной воды, поступающей в грунтовые воды с орошаемых полей, равно разности между фактической величиной оросительной нормы и суммой поливных норм, установленных по дефициту полевой влагоемкости почвы.

Количество фильтрационных вод из оросительных каналов может быть определено в зависимости от к. п. д. оросительной системы (η).

Количество воды, расходуемое на испарение почвы и транспирацию растений за счет испарения грунтовых вод на орошаемых землях, Г. Г. Оганезов определяет в размере 15% от испарения настоящего времени, а все остальное испарение происходит за счет поливной воды и осадков. Таким приближенным приемом можно определить количество откачиваемой воды из вертикальных колодцев, равномерно размещенных по площади.

Стоимость устройства одного дренажного колодца с оборудованием составляет на 1 *га* обслуживаемой им площади от 600 до 1300 руб., а эксплуатационные расходы за год — от 80 до 200 руб. на 1 *га*.

Вода, откачиваемая из колодцев, если она не сильно минерализована, может быть употребляема на орошение (в добавление к речной воде или самостоятельно), что повышает эффективность вертикального дренажа. Как и горизонтальный, вертикальный дренаж выполняет только задачу понижения грунтовых вод на нужную глубину и не является универсальным средством борьбы с засолением почвы, требуя для этого дополнительных эксплуатационных и агротехнических мероприятий, о которых говорилось выше.

7. ПРОМЫВКА И МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Степень вредности главнейших воднорастворимых солей для растений (по Л. П. Розову) представлена в следующей таблице:

$NaCl$	Na_2SO_4	Na_2CO_3
$MgCl_2$	$MgSO_4$	$MgCO_3$
$CaCl_2$	$CaSO_4$	$CaCO_3$

Все соли, расположенные выше черты, вредны для растений. Размеры вредного содержания солей в почве зависят от вида и возраста растений, свойств почвы и количества влаги в почве, т. е. от концентрации почвенного раствора, интенсивности испарения влаги почвой, сочетания солей и др. Поэтому в разных условиях размеры вредного содержания солей и степень солеустойчивости одного и того же растения различны.

В хлопководческих районах Средней Азии принято (СоюзНИХИ) подразделение почв по степени их засоленности, в зависимости от содержания плотного остатка и хлора (табл. 37).

Таблица 37

Степень засоления почвы	Плотный остаток (в весовых %)	Содержание Cl (в весовых %)
Незасоленные	<0,3	<0,01
Слабая	<0,3	0,01—0,10
	0,3—1,0	<0,01
Средняя	0,3—1,0	0,01—0,10
	1,0—2,0	<0,01
Сильная	0,3—1,0	>0,10
	2,0—3,0	<0,10
Солончаки	2,0—3,0	>0,10
	>3,0	<0,01

Выносливость различных растений к содержанию солей в почве ориентировочно можно характеризовать цифрами, приведенными в таблице 38.

Таблица 38

Сельскохозяйственные растения	% солей по весу	Сельскохозяйственные растения	% солей по весу
Пшеница, овес, просо, горох, люцерна, египетский хлопчатник	0,1—0,4	Корнеплоды, капуста, сорго, овсяница, свекла сахарная, райграс итальянский . . .	0,6—0,8
Американский хлопчатник, ячмень, рожь, тимофеевка, ежа сборная	0,4—0,6	Пырей, костер безостый, райграс французский	0,8—1,0

Данные таблицы 38 относятся к смеси хлористых и сернокислых солей в верхнем 1,5-метровом слое почвы. При наличии соды все цифры должны быть снижены, так как содержание соды допустимо в количестве не больше 0,005%.

Способность растений переносить то или иное количество растворимых солей зависит от почвенных и климатических условий; она уменьшается на тяжелых глинистых и суглинистых почвах и в сухих и жарких условиях и увеличивается на легких песчаных и супесчаных почвах и во влажных условиях; органическое вещество в почве увеличивает устойчивость растений к солям.

Вредное действие солей на растения очень сильно зависит от концентрации их в почвенном растворе.

Максимальная концентрация хлора, не вызывающая угнетения люцерны, по данным для Мургабского оазиса, составляет в слое 10—20 *см* 1,84—1,36 *г/л* и в слое 0—100 *см*—2,8—4,6 *г/л*.

Для поддержания допустимой концентрации почвенного раствора необходим соответствующий поливной режим, как об этом говорилось выше, и удаление избытков солей на сильнозасоленных почвах.

Удаление избыточных солей на сильнозасоленных почвах производится путем промывки этих почв, т. е. растворения водой содержащихся в активном слое почвы солей и удаления (вымыва) их из этого слоя в нижние горизонты — при глубоком залегании грунтовых вод, или же в дрены и водоприемники — при близком залегании грунтовых вод и слабом оттоке их.

В практике принято считать, что промывку нужно применять на почвах, содержащих более 0,02—0,03% хлора в метровом слое, чтобы к моменту посева содержание иона Cl в этом слое не превышало 0,01% по весу.

Эффективность промывки засоленных почв зависит от физических свойств их и от степени солонцеватости почв, т. е. соотношения в составе их растворимых солей ионов Ca и Na. Засоленные почвы с преобладанием иона Ca (солончаковые) могут быть промыты от содержащихся в них солей сравнительно легко, если только почвы достаточно водопроницаемы. Солонцеватые почвы с преобладанием ионов Na не могут быть улучшены одной промывкой и требуют предварительной химизации их, чтобы заместить поглощенный Na кальцием, получить при этом продукт обмена (Na_2SO_4 и др.), который может быть вымыт; иначе почва будет содержать поглощенный Na и иметь щелочную реакцию и неблагоприятные физические свойства. Промывка засоленных почв без химизации может применяться на почвах, содержащих не больше 10% поглощенного Na. При промывке нужно возможно более полное удаление поглощенного Na.

Для химизации почвы в нее могут быть внесены: а) гипс ($CaSO_4$), если почва содержит щелочные соли, и pH>8; б) сера, если почва, кроме поглощенного Na, содержит достаточное количество карбонатов. Для успешного действия химизации нужно обеспечение хорошей аэрации улучшаемой почвы. Количество вносимого гипса должно быть рассчитано на замещение поглощенного Na во всем мелиорируемом слое почвы (15—25 *т* гипса на 1 *га*), оно может быть несколько уменьшено (до 10—17 *т/га*), так как небольшая доза поглощенного Na (около 2—4% суммы всех поглощенных оснований) может оставаться в почве без вреда для растений. Гипсование почв следует делать под посев многолетних трав и зяблевую вспашку; при гипсовании надо вносить органические удобрения (перепревший навоз, компост и др.); при гипсовании без навоза вместе с гипсом вносится

суперфосфат, а перед посевом сульфат аммония. После гипсования, чтобы удалить вытесненный Na в виде Na_2SO_4, следует провести орошение, но небольшими нормами, так как при больших количествах воды могут снова образоваться щелочные солонцы.

Соли Ca на солонцовых почвах замещают поглощенный Na и нейтрализуют щелочность, увеличивают доступную для растений влагу при одном и том же общем запасе ее в почве, повышают мобильность почвенной влаги и скорость подачи ее к корням растений.

Промывка солонцовых почв без химизации, т. е. без внесения солей Ca, требует очень большого количества воды, времени и вызывает осолодение почвы; только легкие и карбонатные солонцы при применении многолетних трав, органических удобрений и глубокой вспашки поддаются мелиорации без гипсования. По данным Л. П. Розова, в карбонатных почвах Средней Азии мелиорация без гипсования возможна за счет имеющегося в почве запаса углекислого кальция без добавочного внесения гипса. И. Н. Антипов-Каратаев на основании опытов мелиорации солонцов на Малоузенском солонцовом стационаре Академии наук СССР в зоне каштановых почв Заволжья (Саратовская область) приходит к выводам, что рассолонцевание солонца до глубины 40 *см* при травопольном севообороте, нормальной глубине вспашки (25 *см*), внесении гипса и при орошении, но без промывки, достигается в первые 1—2 года или на 3—4 года раньше, чем без внесения гипса.

Промывки засоленных почв производятся без применения дренажа или же на базе дренирования промываемых земель.

Промывка почвы без дренажа применяется в следующих случаях: 1) грунтовые воды залегают глубоко и ниже 1,5—2-метрового слоя почвы залегает мощный слой хорошо водопроницаемого грунта (галечники и др.) с вполне достаточной способностью поглощения или отвода просачивающихся промывных вод, которые могут быть опущены на такую глубину, при которой не могут оказывать вредного влияния на растения; 2) грунтовые воды имеют достаточный отток за пределы орошаемого массива и промывные воды удаляются естественным путем. Чем интенсивнее и обеспеченнее отток грунтовых вод, тем при меньшей глубине их залегания возможна промывка без дренажа.

Промывка засоленных почв с дренажем производится в следующих случаях: 1) минерализованные грунтовые воды залегают близко от поверхности (<2—3 *м*) и не имеют необходимого оттока, чтобы образующийся после промывки подъем (бугор) грунтовых вод мог опускаться к началу посевного периода на достаточную глубину за счет естественного оттока; 2) почвы имеют малую водопроницаемость или очень сильно засолены, так что для промывки их требуются очень большие количества воды, могущие вызывать заболачивание почвы и очень длительные сроки промывки. Промывки должны производиться в осенний период, когда грунтовые воды стоят более глубоко, чем летом, испарение слабо, влажность почвы достаточна и нужны меньшие промывные нормы, чтобы, не вызывая подъема грунтовых вод, опускать растворимые соли на требуемую глубину. Хуже в холодное время вымываются соли Na_2SO_4.

Сроки начала промывок должны назначаться тем раньше, чем тяжелее почва и чем раньше замерзает почва; в условиях Средней Азии для тяжелых почв начало промывки конец ноября — середина декабря, для средних почв—конец декабря — середина января и для легких почв—январь. Перед промывкой желательна вспашка почвы с последующим боронованием, чтобы закрыть все ходы и трещины в почве и обеспечить равномерное и медленное поступление промывной воды в почву. Предпочтительнее промывку делать до зяблевой вспашки.

На старых орошаемых хлопковых землях промывку можно проводить и по растущему хлопчатнику — после первого сбора урожая (с нижних ярусов кустов), если это не создаст препятствий механизированной уборке хлопка.

При промывке по зяби осенью или зимой почва весной перепахивается (без оборота пласта) с одновременным боронованием и малованием, чтобы максимально сохранить накопленную в почве влагу.

После промывок должны быть посеяны многолетние травы. Глубина грунтовых вод к началу вегетационного периода должна быть не меньше

2,5—3 *м*, чтобы капиллярно поднимающиеся грунтовые воды и растворенные соли не могли достигнуть активного слоя почвы.

Общее количество воды, или общая промывная норма M, необходимая для того, чтобы промыть слой почвы H*м*, т. е. понизить в нем содержание растворимых солей S_1% до S_2% по весу, слагается из следующих составных частей: а) количества воды, необходимого для насыщения слоя почвы H до предельной его влагоемкости (с учетом фактической влажности его, осадков и испарения), и б) дополнительного количества воды, необходимого для вытеснения (вымыва) из промываемого слоя почвы H растворенных и подлежащих удалению количеств солей $(S_1 - S_2)$%. Если предельную полевую влагоемкость промываемого слоя почвы обозначить буквой $П$, наличный запас воды в нем перед промывкой — m, то общая промывная норма получает (по Л. П. Розову) следующее выражение:

$$M = П - m + nП,$$

где $nП$ — добавочное количество воды, необходимое для вытеснения растворенных солей из слоя H, причем коэффициент $n = 0{,}5 - 1{,}5$ зависит от количества удаленных солей, характера солеотдачи и определяется опытным путем.

Последующие исследования С. В. Астапова, В. Р. Волобуева, В. А. Ковда, А. Н. Костякова, В. М. Легостаева, И. С. Рабочева и др. приводят к такому выражению общей промывной нормы:

$$M = 100 H \alpha \left\{ (\beta_0 - \beta) + \frac{S_1 - S_2}{K} \right\},$$

где H — глубина промываемого слоя почвы;

α — вес единицы объема почвы;

β_0 — предельная полевая влагоемкость почвы, в % по весу;

β — наличная влажность почвы в момент промывки, в % по весу;

S_1 и S_2 — содержание подлежащих вымыву солей, в % по весу, — исходное до промывки (S_1) и конечное после промывки (S_2);

K — коэффициент вытеснения или вымыва солей, в m на 1 $м^3$ воды; он зависит от физических свойств почвы, глубины грунтовых вод, содержания и характера солей.

По скорости выщелачивания при промывке солончаков соли располагаются в такой ряд: $NaCl$—$MgSO_4$—Na_2SO_4—$CaSO_4$.

Чем меньше их содержание в почве, тем труднее идет солеотдача из почвы. На рисунке 166 показаны, по данным В. М. Легостаева, значения коэффициента K вымыва хлора из слоя почвы H=1 *м* при разных глубинах грунтовых вод (1,5—3,5 *м*), при различном исходном (S_1) содержании хлора (0,02—0,40% по весу) для почв средних и тяжелых по механическому составу, а также количества воды, необходимые для промывки метрового слоя этих почв до содержания хлора S_2=0,02% в бездренажных условиях.

Динамика вымыва хлора из сильнозасоленной почвы, по данным Федченковской опытной станции СоюзНИХИ, при неглубоком дренаже при разных нормах промывки показана на рисунке 167.

Из приведенных данных видно, что чем больше количество подлежащих вымыву солей и чем больше глубина промываемого слоя почвы H, тем больше требуемая величина общей промывной нормы; например, как видно из рисунка 167, чтобы промыть метровый слой почвы с 0,307 до 0,02% хлора, требуется общая промывная норма не меньше 11 тыс. $м^3/га$. Такая норма за один сезон при неглубоком залегании грунтовых вод может вызвать недопустимый подъем их уровня. Поэтому на недренированных землях величина промывной нормы, даваемой за один сезон (m $м^3/га$), должна быть такой, чтобы она не могла создавать опасного подъема уровня грунтовых вод на орошаемой площади.

Если общее количество воды (M $м^3/га$), потребное для вымыва из слоя H всего количества солей $(S_1 - S_2)$%, превышает допустимую величину сезонной промывной нормы, то промывки делаются в течение нескольких $\left(\frac{M}{m}\right)$ осенне-зимних сезонов.

Величина промывной нормы, не вызывающая подъема грунтовых вод, определяется следующим образом. Если грунтовые воды не имеют достаточного

оттока и стоят на небольшой глубине, величина промывной нормы, даваемой за один сезон, должна быть не больше:

$$m \leqslant HA\beta + 100\delta h \; м^3/га,$$

где H — глубина промываемого слоя почвы, в $м$, принимаемая равной 1,5—2 $м$, а при близких грунтовых водах равной глубине их;

A — потенциальная влагоемкость почвогрунта в слое H, в % объема;

β — недостаток насыщения грунта водой до потенциальной влагоемкости, в % от A, зависящий от влажности почвы перед промывкой;

δ — разница между полной скважностью и потенциальной влагоемкостью грунта, составляющая от 5 до 15% объема грунта;

h — высота, в $м$, допустимого поднятия грунтовых вод после промывки; величина $h = H_{ос} - H_{вес}$, где $H_{ос}$ — глубина грунтовых вод осенью перед промывкой, $H_{вес}$ — глубина грунтовых вод весной; она должна быть не меньше величины, допустимой по условиям механизированной обработки почвы весной, равной 1,3 $м$ на легких почвах и до 1,8 $м$ на тяжелых почвах. Иногда h принимают не больше амплитуды бытового весеннего подъема уровня грунтовых вод, что требует уменьшения величины промывной нормы m.

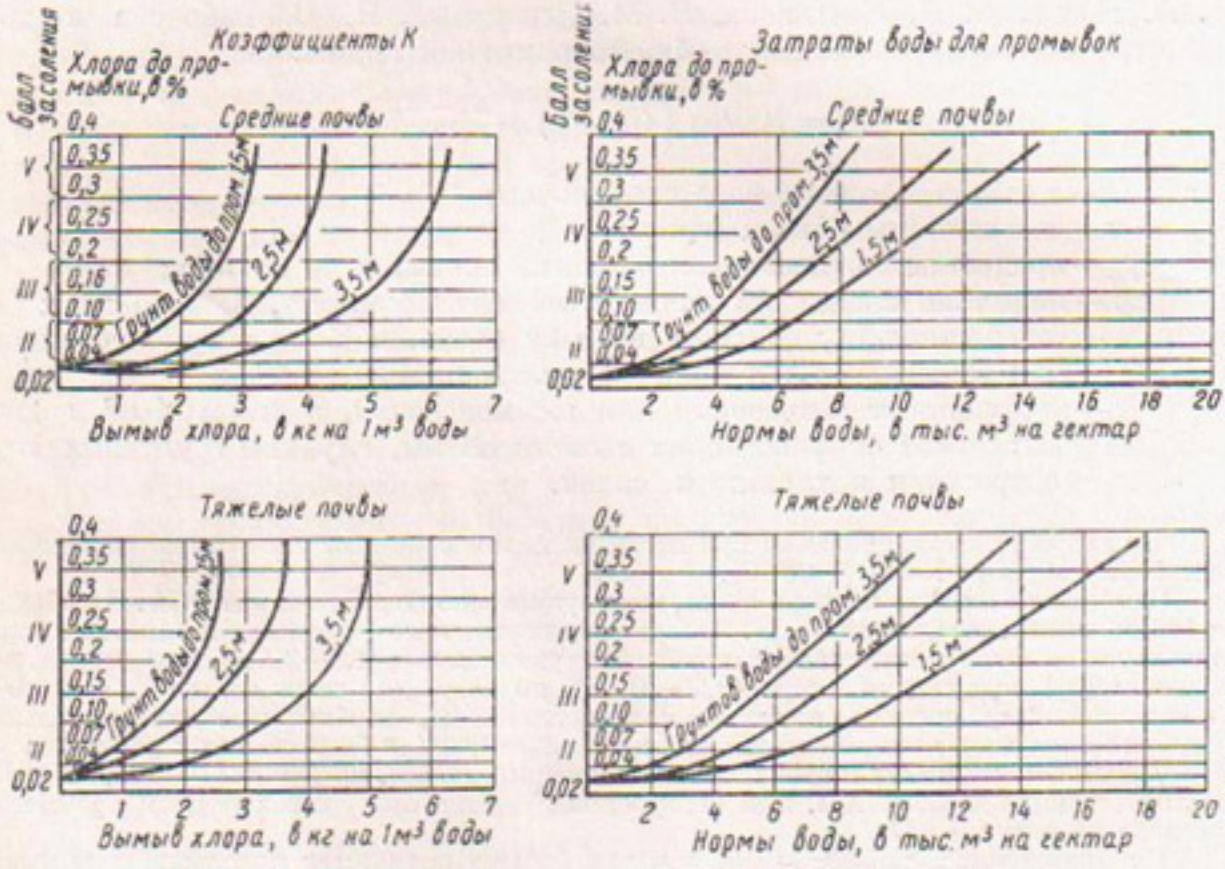


Рис. 166. Размер промывных норм и коэффициента K в бездренажных условиях в зависимости от степени засоления почв, их механического состава и глубины залегания грунтовых вод.

Если понижение уровня грунтовых вод h после промывок должно достигаться в течение времени $T = \frac{\delta\omega h}{Q_{ср} + e\omega}$ суток[1], то величина сезонной промывной нормы, согласно предыдущему, должна быть:

$$m \leqslant HA\beta + 10\,000T\left(\frac{Q_{ср}}{\omega} + e\right) м^3/га,$$

где $Q_{ср}$ — средний за время T суточный отток грунтовых вод, в $м^3/сут$;

[1] А. Н. Костяков. Предупреждение заболачивания и засоления земель при орошении. Научные записки МГМИ, т. 13, 1947. *Прим. автора.*

ω — площадь подъема грунтовых вод после промывки, в $м^2$;

e — суточный слой испарения грунтовых вод, равный 0,005—0,002 $м/сут$.

Из этого выражения видно, что сезонная промывная норма при значительном оттоке грунтовых вод $Q_{ср}$ может быть при том же T больше, чем при слабом оттоке. Поэтому при дренаже сезонные промывные нормы могут быть больше.

Подъем грунтовых вод после промывки на величину $h_1 > h$ (при повышенной промывной норме) может быть допущен только в том случае, если уровень их путем естественного оттока может опуститься: а) к началу полевых работ весной до допустимой величины h, т. е. на величину $h_1 - h$ за 40—50 суток (рис. 168) и б) к началу вегетационного периода до уровня 2—2,5 $м$ от поверхности, т. е. еще на величину h $м$ за 20—30 суток.

Чтобы концентрация солей в почве после промывки, во избежание явлений солонцеватости, не опустилась ниже допустимой величины λ (электролитический порог), величина промывной нормы должна быть не больше: $m \leqslant \frac{S_1}{\lambda} - w_1$ $м^3/га$, где S_1 — содержание солей (хлора) в слое H, в $т/га$; λ — требуемая минимальная концентрация солей (хлора), в $т/м^3$; например, на засоленных сероземах Средней Азии содержание хлора в метровом слое почвы после промывки допускается 0,01—0,020%; w_1 — содержание влаги в слое H перед промывкой.

В зависимости от вышеуказанных условий величина сезонной промывной нормы m в бездренажных условиях получается равной от 1500 до 3500 $м^3/га$; m увеличивается с увеличением засоленности почвы S_1 и влагоемкости почвы A.

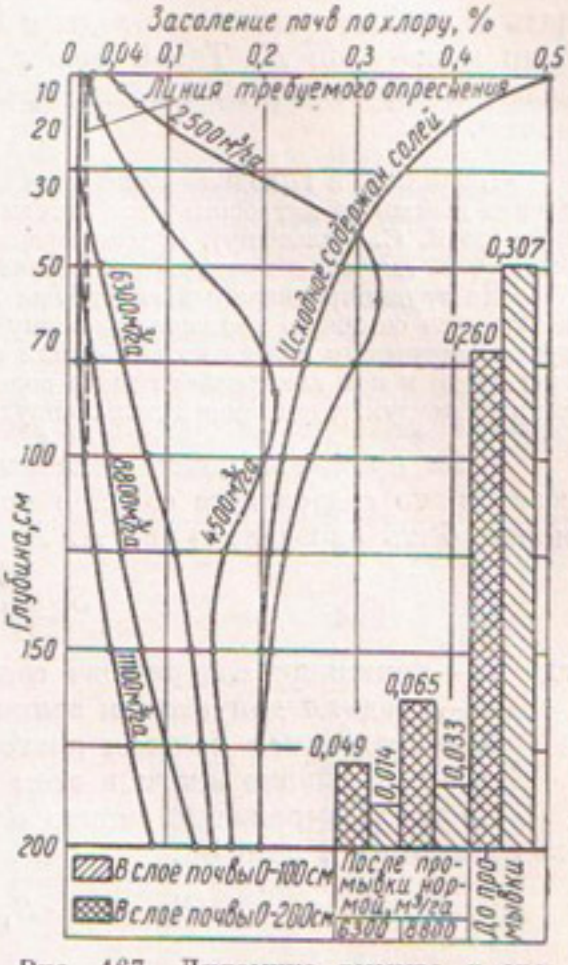


Рис. 167. Динамика вымыва хлора из почвы при промывках.

Повышение сезонной промывной нормы увеличивает глубину рассоления почвы и тем больше, чем легче почва, но может вызвать недопустимый подъем грунтовых вод.

Грунтовые воды под промываемым массивом после промывки (без дренажа) опускаются за счет естественного оттока значительно медленнее,

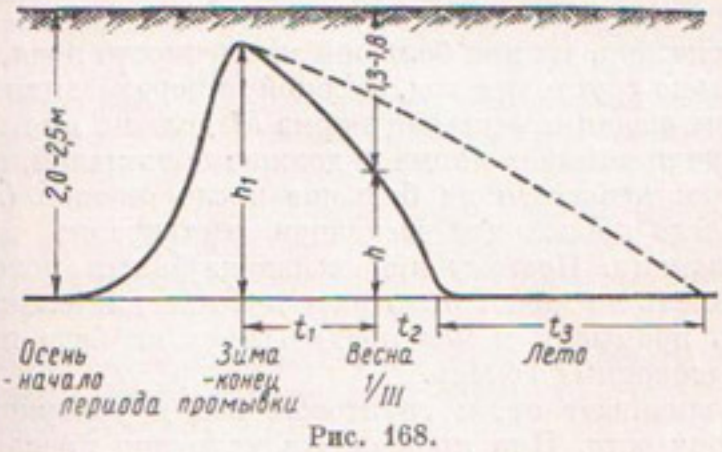


Рис. 168.

чем поднимаются во время промывки, вследствие чего на промытых землях долго держится бугор грунтовых вод и на соседних площадях уровень их повышается. Поэтому промывки надо вести дифференцированными нормами на каждый сезон, согласно формуле $m = \frac{S_1}{\lambda} - w_1$, или принимать меры усиления оттока промывных вод.

Для повышения эффективности действия воды на растворение солей сезонную промывную норму нужно давать не в один, а в 2—3 приема: сначала достичь насыщения промываемого слоя почвы (80—100 *см*) до потенциальной его влагоемкости, чтобы растворить соли, а затем через 4—5 дней дать остальное количество воды в 1—2 приема, чтобы вымыть растворенные соли ниже слоя H. Такой прием обеспечивает более полное растворение солей и выравнивает их концентрацию между крупными и мелкими порами почвы.

Например, в Голодной степи дача промывной нормы 4500 $м^3/га$ в два приема обеспечила вымыв из метрового слоя почвы 87% хлора вместо 46% при единовременной даче (по В. С. Малыгину), причем средняя скорость просачивания в первом случае была 0, 83 *см/час*, а во втором—2,5 *см/час*.

На труднопроницаемых глинистых почвах В. С. Малыгин считает целесообразным давать всю сезонную промывную норму в один прием, так как на таких почвах во время перерыва в подаче воды верхний слой может просохнуть, а нижний будет насыщен водой и при следующей подаче воды в верхнем слое может образоваться защемленный воздух, тормозящий дальнейшую промывку.

Если промывка почвы делается последовательно в течение нескольких сезонов, то содержание солей в промываемом слое почвы S_n после n сезонов может быть определено (по А. А. Черкасову) по следующей зависимости:

$$S_n = S_1 \left(\frac{w_0}{m + w_1} \right)^n,$$

где S_1 — начальное содержание солей в промываемом слое почвы H *м*;
m — средняя допустимая величина сезонной промывной нормы;
w_0 — предельная полевая влагоемкость слоя почвы H;
w_1 — содержание влаги в этом слое перед промывкой, в $м^3/га$.

Из этого выражения можно определить количество солей, вымываемых из слоя H за n сезонов:

$$S_1 - S_n = S_1 \left\{ 1 - \left(\frac{w_0}{m + w_1} \right)^n \right\},$$

общую величину промывной нормы за n сезонов:

$$M = n \left\{ w_0 \left(\frac{S_1}{S_n} \right)^{\frac{1}{n}} - w_1 \right.$$

и число сезонов промывки:

$$n = \frac{M}{m} = \lg \frac{S_1}{S_n} : \lg \frac{m + w_1}{w_0}.$$

Выше было сказано, что при большой засоленности почв, близком залегании и слабом оттоке грунтовых вод, высокой минерализации их для нужного рассоления почвы общая промывная норма M должна иметь бóльшую величину, сезонная же промывная норма m должна быть малой, поэтому промывка таких почв растягивается на большое число сезонов (n) и при малых значениях m легко происходит частичная реставрация засоления между промывными сезонами. Поэтому при вышеуказанных условиях, особенно если освоение земель не может быть растянуто на длительный срок, приходится проводить промывки и мелиорацию почв на базе предварительного дренирования засоленных земель.

Дренаж увеличивает отток грунтовых вод и ускоряет опускание их уровня после промывки. При промывке в условиях дренажа коэффициент вымыва солей (K), т. е. количество вымываемых солей, приходящееся на 1 $м^3$ промывной воды, увеличивается (в 2—$2^1/_2$ раза по имеющимся наблюдениям) и соответственно повышается эффективность промывок и уменьшается количество воды, необходимой для промывки по сравнению с недренированными землями; также более быстро опресняются верхние слои грунтовых вод, что очень важно для предотвращения реставрации засоления после промывок.

Фильтрационные воды при промывке, удаляемые дренажем, выносят из почвы большое количество солей.

Опытный дренаж на Мугани в первые годы работы удалял с 1 *га* дренированной площади около 130 *т* солей в год. Концентрация раствора солей в дренажных водах составляла от 19 до 34 *г/л*. Одна промывка в первые годы снижала общее содержание солей (плотный остаток) до 32%.

Опытный дренаж в Голодной степи в первые годы работы удалял с 1 *га* ежегодно около 67 *т* солей, что составляет 1,6 *т* на 1 пог. *м* длины дрен. Содержание солей в дренажной воде составляло около 39% общего содержания солей (плотного остатка) в почве.

В силу этого при промывке дренированных земель удаление солей из промываемых слоев почвы превышает поступление солей (от грунтовых вод и с поливной водой) и таким образом происходит рассоление почвы.

Рассоление почвы по ширине полосы между дренами неравномерно: количество вымываемых солей и глубина опреснения увеличиваются от середины полосы к самим дренам, что отвечает характеру действия дрен[1].

Влияние промывок с дренажем на распределение солей по глубине видно, например, из данных Голодностепской опытной станции (табл. 39, где показаны средние цифры содержания солей по всей полосе между дренами).

Таблица 39

Горизонты почвы (в *см*)	Плотный остаток		Серная кислота		Хлор	
	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
0—20	2,22	0,95	0,99	0,47	0,21	0,040
20—50	2,73	1,15	1,00	0,58	0,46	0,048
50—100	2,89	1,17	0,92	0,62	0,36	0,028
100—150	1,72	1,12	0,74	0,57	0,20	0,045
150—200	1,34	0,95	0,64	0,53	0,14	0,060
0—200	1,96	1,07	0,81	0,55	0,26	0,045
Процент вымытых солей из слоя в 2 *м*	46		33		83	

Данные таблицы 39 показывают следующее: а) при глубоком дренаже промывкой затронут весь двухметровый слой почвы; б) соли убывают не только в верхних, но и в более глубоких слоях почвы; в) содержание солей после промывки по глубине разреза почвы увеличивается от верхних слоев почвы к нижним. Однако по мере удаления от дрены это увеличение затухает, так как скорость опускания грунтовых вод уменьшается, а количество капиллярно поднимающихся солей из грунтовых вод увеличивается[2].

Самый ход вымывания солей из почвы, по данным работ Почвенного института Академии наук СССР, может протекать во времени различно; крайние выражения его схематически показаны на рисунке 169.

Первый случай (*I*) имеет место на почвах с большой водопроницаемостью, второй (*II*)—на более тяжелых почвах, где промывка идет медленно и требуется больше воды. Однако, когда процесс протекает очень быстро, может быть неудовлетворительное качество промывки (недостаточная глубина и степень рассоления почвы), так как при этом вода соприкасается с почвой недостаточное время. Чтобы увеличить эффективность промывки, необходима предварительная подготовка почвы к промывке: планировка, глубокая вспашка с последующим боронованием и укатыванием, дача промывной нормы не сразу, а в 2—3 приема.

При промывке с дренажем величина сезонной промывной нормы может быть значительно увеличена и, следовательно, сокращен общий срок промывки сильнозасоленных почв.

[1] Сказанное относится к сравнительно кратковременным промывкам способом затопления. В случае длительной инфильтрационной промывки по всей площади междренья и особенно при сосредоточенной подаче промывной воды посредине между дренами наибольшее опреснение почв и грунтовых вод, как показали исследования, проведенные на кафедре сельскохозяйственных мелиораций МИИВХ им. В. Р. Вильямса, происходит посредине между дренами.

[2] См. предыдущую сноску.

При промывке солонцеватых почв, т. е. почв, богатых поглощенным Na, и натриевых солончаков, богатых хлористым или сернокислым натрием, необходимо, как сказано выше, промывки вести на базе гипсования почвы, если только почва не содержит достаточного количества карбонатов.

Промывка засоленных почв ведется способом затопления, причем для уменьшения фильтрации и подъема грунтовых вод желательно, чтобы питание каждого чека водой было самостоятельным. Размеры делянок или чеков на легких почвах 0,15—0,20 *га*, на тяжелых почвах 0,20—0,25 *га*.

Влияние промывок засоленных почв на минерализацию грунтовых вод зависит от соотношения степени засоленности промываемых почв и подсти-

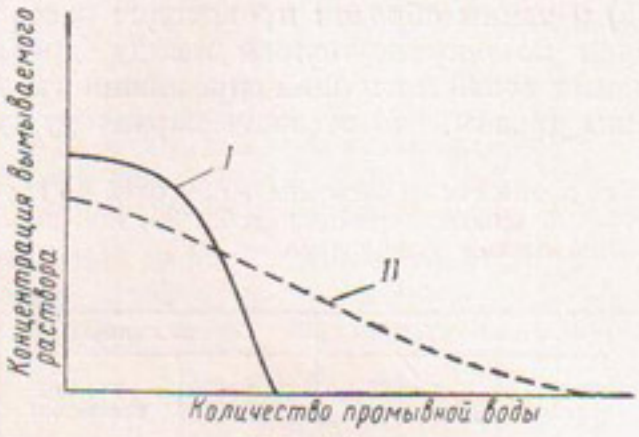


Рис. 169.

лающих их грунтовых вод и отточности последних. Если соленость промывных вод меньше солености подстилающих грунтовых вод или последние имеют достаточный отток, минерализация грунтовых вод после промывок уменьшается. Если же соленость промывных вод больше солености грунтовых вод и последние не имеют достаточного оттока, то минерализация грунтовых вод после промывок не изменяется или даже увеличивается (особенно в начале периода промывок). В большинстве случаев минерализация грунтовых вод после промывок снижается или остается без изменения.

Все мероприятия по мелиорации засоленных почв должны проводиться на базе планового водопользования, правильной техники орошения, поддержания нужного режима и уровня грунтовых вод и введения правильных травопольных севооборотов и хорошей агротехники, применительно к конкретным условиям орошаемых земель.

Глава шестая

ИСТОЧНИКИ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ И ГОЛОВНОЕ ПИТАНИЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИСТОЧНИКОВ ОРОШЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГОЛОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Задачи орошения и обводнения земель в сухих безводных районах во многих случаях разрешаются совместно. Общими обычно являются источники воды, способы забора и подачи ее; различие заключается главным образом в количествах, сроках и распределении воды по территории и в технико-экономических условиях орошения и обводнения.

Величина и режим расходов воды, забираемых в оросительно-обводнительную систему, определяются суммированием потребления воды на орошение и обводнение.

Источниками для орошения и обводнения могут быть: 1) воды рек, 2) подземные воды и 3) воды поверхностного местного стока, собираемые в специальных водохранилищах, а также озерах. В каждом данном случае используют наличные водоисточники, наиболее подходящие (с технико-экономической стороны) для водозабора, орошения и обводнения, достаточные по количеству и пригодные по качеству.

Кроме того, при комплексном решении крупных ирригационных проблем и реконструкции оросительных систем может осуществляться переброска оросительной воды из одних систем или источников, имеющих излишки воды, в другие, недостаточно обеспеченные водой (при помощи специальных соединительных каналов).

Такие мероприятия широко осуществлялись и осуществляются в республиках Средней Азии и Закавказья. В развитии их крупнейшее значение имели народные ирригационные стройки, проводившиеся в указанных республиках с 1938 г. В этом деле должна быть отмечена также большая работа известных советских гидротехников — А. Н. Аскоченского, Б. Д. Коржавина, И. Д. Лебедева, В. В. Пославского и др.

Большой Ферганский канал имени Сталина — один из ярких примеров указанной комплексной системы. В Большой Ферганский канал вода поступает из реки Нарын с расходом около 98 $м^3/сек$, из них около 76 $м^3/сек$ перебрасывается в реку Кара-Дарью. Отсюда расход воды в 86 $м^3/сек$ (за счет пополнения из реки Кара-Дарьи) подается каналом в левобережную часть Ферганской долины и Ленинабадский округ Таджикской ССР для улучшения водообеспеченности орошаемых земель в этих районах (около 300 тыс. *га*) и орошения новых земель (около 70 тыс. *га*). Длина Большого Ферганского канала от реки Нарына до г. Ленинабада около 300 *км*.

Наиболее важны следующие свойства источника орошения:

1) расход воды, какой может доставлять данный источник орошения в течение оросительного периода, и его изменения во времени, т. е. режим источника сезонный и многолетний;

2) суммарное количество воды или сток, какой дает рассматриваемый источник за оросительный период и за год, и его колебания во времени в разные годы;

3) положение источника и горизонтов воды в нем по отношению к орошаемой площади (в вертикальном и горизонтальном направлениях);

4) качество воды как оросительного материала; содержание крупных наносов и солей в воде.

Знание содержания солей в воде особенно необходимо при использовании подземных вод — с точки зрения допустимости их для орошения; знание содержания наносов важно при пользовании водой из рек — для конструирования и эксплуатации головных сооружений и каналов.

От указанных свойств водоисточника зависят определенные условия связанной с ним оросительной системы: 1) возможные размеры орошаемой площади; 2) характер оросительной системы (самотечная подача или механический подъем воды); 3) степень необходимости регулирования стока; 4) борьба с наносами.

Для наиболее полного использования источника орошения, особенно же рек, весьма важно *согласование режима работы системы и режима источника орошения*. Это согласование достигается как путем создания регулирующих водохранилищ, так иногда и путем соответственного изменения режима орошения, не выходя из поставленных данной системе плановых народнохозяйственных заданий. При согласовании важно учитывать колебания не только расходов, но и горизонтов воды в источнике орошения, так как от этого зависят характер головного сооружения и условия питания системы водой.

Характер источника орошения оказывает существенное влияние на головное питание системы, определяя тот или иной тип его. Основные типы головного питания, в зависимости от характера источника орошения и его положения по отношению к орошаемой площади, представлены в таблице 40.

Таблица 40

Источники орошения и обводнения	Положение горизонтов воды в источнике по отношению к горизонту воды в магистральном канале	
	выше	ниже
	всегда или периодически	
Реки	Головной регулятор без плотины, постоянного или временного (паводкового) питания	Головной регулятор с водоподъемной плотиной Механический подъем воды из реки или канала
Подземные воды	Самоизливающиеся скважины, подающие воду в резервуар или канал. Подземные галереи, подающие воду на нижележащие земли	Механический подъем воды из колодца в резервуар или в канал
Воды поверхностного стока, собираемые в запасные водохранилища	Самотечная труба (или тунель) в теле плотины Водосливной канал, работающий во время паводков	Механический подъем воды из водохранилища

В зависимости от других свойств источника орошения, каждый из указанных типов головного питания получает свои особенности и видоизменения. Характер головного питания оросительной системы зависит также от экономических условий, определяющих размеры капиталовложений в строительство.

2. СОГЛАСОВАНИЕ РЕЖИМА ИСТОЧНИКА И РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

Согласование режима источника и режима орошения имеет важное значение, особенно при орошении из рек, так как режим реки и режим орошения изменяются во времени независимо друг от друга. Для обводнения земель следует возможно полнее использовать воды паводков рек, когда есть излишек воды; исходя из этого, приходится в значительной степени строить режим забора воды на обводнение.

Режим подземных вод равномернее, но и при орошении из колодцев также нередко устраиваются резервуары для согласования подачи воды с ее потреблением и увеличения возможной площади орошения из одного колодца при постоянном его дебите, а также для согревания и аэрации подземных вод до употребления их на полив.

Наконец, запасные водохранилища, задерживающие стекающие воды атмосферных осадков, регулируют сток, приводят его в нужное соответствие с потребностями орошения.

Согласование режима орошения и режима реки особенно важно, когда необходимо наиболее полное использование стока реки на орошение, а также при комплексном использовании реки.

В ряде случаев приходится учитывать также *приток в реку возвратных вод* с вышележащих орошаемых площадей, если он имеется. Эти воды, как показывают фактические наблюдения, могут давать приток от 20 до 200 *л/сек* на 1 *км* длины реки или от 0,03 до 0,20 *л/сек* с 1 *га* орошаемой площади (в зависимости от почв, состояния орошения, расстояния до реки и т. д.). Однако *правильная эксплуатация систем, борьба с потерями воды в каналах, применение небольших поливных норм, хорошая техника полива (без сброса, дождевание), плановое водопользование, использование на орошение подземных вод — все это сильно уменьшает количество возвратных вод* и повышает оросительную способность источника. Поэтому при плановой организации водного хозяйства основные пути увеличения оросительной способности рек лежат не в использовании возвратных вод, носящих стихийный характер, а в рационализации орошения.

ВЫБОР РАСЧЕТНОГО РЕЖИМА ИСТОЧНИКА ОРОШЕНИЯ

Режим стока колеблется как в течение одного года, так и в разные годы. Поэтому при проектировании орошения необходимо располагать данными о режиме (расходах и горизонтах воды) источника орошения за возможно длинный ряд лет (и притом в нужном створе реки). Зная режим разных годов, нужно правильно установить *расчетный режим* или из ряда лет разной многоводности выбрать определенный расчетный год. Расчетным годом должен быть такой, который гарантирует работу системы с определенным нужным процентом обеспеченности водопотребления и, следовательно, определенную эффективность использования данного источника орошения.

При принятом режиме орошения для данной системы и при расчете ее по минимальному году будет орошаться наименьшая площадь из возможной, часть земель не будет орошаться совсем, но зато воды всегда будет в достаточном количестве, и орошение можно будет вести по требуемому режиму; при расчете же по максимальному году площадь системы будет наибольшая, но зато в течение ряда лет она будет испытывать недостаток в оросительной воде, и тогда придется или не поливать часть площади (менее важные культуры), или отступать от нужного режима орошения.

При расчете на средний год недостатки первого и второго случаев уменьшаются, но не устраняются,— орошение лишь наполовину устойчиво.

Поэтому расчетный режим реки выбирают по годам, дающим нужный, наиболее эффективный процент обеспеченности орошения.

1. При наиболее высокой обеспеченности орошения за расчетный принимается некоторый фиктивный режим, для построения которого по периодам (5—10 дней) берутся наименьшие значения расхода данного источника (реки) в этот период, зарегистрированные за все годы наблюдений. Этот метод дает наибольшую обеспеченность, но зато сильно преуменьшает оросительную способность источника.

2. За расчетный режим источника принимается такой, который обладает определенным нужным процентом обеспеченности — по величине стока за определенный наиболее важный для орошения расчетный период (сезон наиболее острой потребности в воде). При орошении на зарегулированном стоке

реки за расчетный период принимается весь год, а при орошении на местном стоке — период весеннего стока.

Для установления расчетного режима стока в настоящее время приходится пользоваться главным образом статистическим методом, так как генетические принципы гидрологических расчетов еще только начинают разрабатываться[1]. Для этого нужно иметь данные гидрометрических наблюдений за возможно более значительный ряд лет, чтобы на основании их можно было судить об изменчивости этого режима как сезонной (внутригодовой), так и многолетней (по годам). Так как гидрологические условия под влиянием хозяйственной деятельности человека также изменяются, то при анализе режима стока нужно в наибольшей мере, возможной в настоящее время, учесть те изменения, которые могут произойти в гидрологии данного бассейна под влиянием хозяйственных мероприятий (дать прогноз этих изменений), и внести соответствующие поправки в производимые расчеты.

При построении расчетного режима стока (за рассматриваемый расчетный период) на основе имеющихся наблюдений по отдельным срокам (например, по декадам или другим срокам) берется расход определенной принятой обеспеченности. Этот расход устанавливается следующим образом:

а) для каждой декады за все годы наблюдений вычисляется средний декадный расход воды и находится коэффициент вариации C_v кривой распределения декадных расходов;

б) по найденному коэффициенту C и значению коэффициента асимметрии C_s определяется значение модульного коэффициента K_p, отвечающее принятой обеспеченности p;

в) умножая средний расход воды за декаду на значение модульного коэффициента, получают расчетный расход. Таким путем определяются расчетные расходы каждой декады всего расчетного периода (определяемого в зависимости от условий орошения, как сказано выше).

Нужная обеспеченность $p\%$ для определения расчетного режима выбирается таким образом, чтобы при расчете по ней данный источник орошения использовался наиболее целесообразно. Для этого на основе многолетних данных должны быть проанализированы режимы реки в разные годы, их повторяемость и взаимная связь или чередование.

Если за расчетный режим водоисточника принят режим с обеспеченностью $p\%$, при котором орошаемая площадь равна ω *га*, то в течение $p\%$ лет эта площадь будет орошаться по нормальному поливному режиму и давать нормальную урожайность Y; в течение же $(100-p)\%$ лет придется или сокращать размеры орошаемой площади, или изменять поливной режим с сокращением подачи воды против нормальных количеств ее. Вследствие этого на площади ω может получаться меньшая урожайность $Y_1=\beta Y<Y$, где коэффициент β, определяемый опытным путем, показывает снижение урожайности вследствие недостаточной обеспеченности культуры водой при данных условиях.

Общая суммарная продукция с орошаемой площадью за N лет будет равна $\omega NY[p+(1-p)\beta]$, причем с увеличением обеспеченности стока p (в долях от N) площадь орошения ω уменьшается, а коэффициент β увеличивается. Расчетная обеспеченность устанавливается или по максимуму общей эффективности, или по получению определенной гарантированной продукции A в маловодные годы, т. е. по условию $\omega\beta Y=A$.

Величина расчетной обеспеченности стока зависит от экономических и гидрологических условий орошения и чаще принимается от 70 до 90%.

Полученный расчетный режим реки при принятом режиме орошения определяет размеры возможной площади орошения; эти размеры и оросительная способность реки могут быть повышены, при неизменном режиме реки, за счет рационализации агротехники и режима поливов, за счет повышения коэффициента полезного действия системы и уменьшения потерь воды в каналах и путем правильной постановки водопользования и эксплуатации системы.

В последние годы для повышения эффективности использования водных ресурсов в районах неустойчивого увлажнения было предложено (Д. Т. Зузик и др.) «подвижное орошение». Принцип этого орошения заключается в том, что водозаборные сооружения и орошаемая площадь рассчитываются на среднюю и ниже средней обеспеченность стока, при этом в годы более маловодные, чем средние, воды не хватает на орошение всей площади и тогда поливается не вся орошаемая площадь, а только отдельные (различные в каждом году) участки ее, наиболее нуждающиеся в воде и притом уменьшенными нормами (чтобы максимально использовать естественные осадки). При этой системе орошения более полно используются водные ресурсы (меньше сброс) и уменьшаются затраты на крупные головные и распределительные сооружения, но увеличиваются затраты

[1] В гидрологии до последнего времени господствовало статистическое направление в изучении гидрологических явлений; необходимо всемерно развить генетическое направление — изучение закономерностей образования и изменения гидрологических явлений, в особенности стока, под влиянием определяющих их факторов. *Прим. автора*

на устройство и эксплуатацию оросительной сети и потребные трудовые ресурсы на орошение всей площади, уменьшается урожай с единицы площади в сухие годы, однако увеличивается суммарный сбор со всей площади. Формы осуществления подвижной системы орошения, ее целесообразность и эффективность сильно зависят от техники орошения, местных природных и особенно хозяйственных условий, пока они не испытаны в достаточной степени.

Большинство действующих систем имеют значительные внутренние ресурсы, которые нужно использовать для повышения производительности систем; во многих случаях коэффициент полезного действия систем низок (0,50 и ниже), а нормы подачи воды на единицу площади высоки; поэтому *основным средством увеличения размеров орошаемой площади должно быть уменьшение потерь воды в оросительной системе, повышение ее коэффициента полезного действия, правильные агротехника, водопользование и эксплуатация.* Наиболее выгодное использование водных ресурсов достигается тогда, когда кривые режима орошения в течение года и режима источника конформны друг другу; здесь орошаемая площадь получается наибольшей. Однако это достижимо не при всех условиях; необходимо стремиться к тому, чтобы в определенные критические периоды соотношение между расходом источника и потреблением воды позволяло иметь возможно бóльшую величину орошаемой площади. *Для этого необходимо приспособление режима реки к режиму орошения, а также согласование режима орошения с режимом источника, поскольку это допустимо по агробиологическим и хозяйственным условиям.*

Согласование режима орошения с режимом реки в маловодные критические периоды может быть достигнуто одним из следующих путей: 1) уменьшением поливных норм m; 2) удлинением поливного периода t; 3) снижением процента культур, требующих поливов в критические периоды; 4) исключением в периоды недостатков воды полива некоторых неведущих культур.

Однако пути изменения режима орошения ограничены как с точки зрения поставленных данной оросительной системе хозяйственных задач, так и в отношении допустимости их по агробиологическим условиям. Например, по условиям режима большинства рек Средней Азии недостаток воды для расширения посевов хлопка сказывается главным образом весной, между тем как осенью и зимой имеются излишки воды. Для более полного использования водных ресурсов источника орошения чаще приходится, установив нужный рациональный режим орошения, привести в соответствие с ним режим источника.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ИСТОЧНИКА ОРОШЕНИЯ

Эта задача решается путем регулирования стока источника и добавочного питания оросительной системы (в периоды недостатка воды) из регулирующих водохранилищ или из других источников.

Оросительная способность реки[1] без устройства водохранилищ может быть определена из сопоставления оросительных способностей реки в отдельные периоды расчетного года и принятия наименьшего из полученных значений.

Регулирование режима реки позволяет увеличить размеры орошаемой площади, улучшить условия водопользования на существующей площади, часто сопровождается получением гидроэнергии, создает лучшие условия для развития хозяйства. Вместе с тем оно связано с крупными капиталовложениями.

Регулирование режима реки для целей орошения может быть: а) сезонное, когда путем устройства водохранилища регулируются сезонные колебания

---

[1] Под оросительной способностью реки обычно понимают площадь (ω *га*) земель, которая может быть полита из данной реки в определенный период года заданной обеспеченности; $\omega = Q/q$, где Q — расход воды в реке в соответствующий период расчетного года, в *л/сек*; q — гидромодуль брутто (т. е. водозабор на единицу площади) в этот же период, в *л/сек* на 1 *га*.

стока реки в течение года, б) многолетнее, когда регулируются колебания стока реки в различные годы.

Вопрос о нужной емкости и работе регулирующих водохранилищ может решаться или путем сопоставления во времени (по отдельным периодам) объемов стока реки и потребления воды на орошение, или же путем построения суммарных кривых режима реки и подачи воды на орошение за рассматриваемый период[1].

Сезонное или однолетнее регулирование стока достаточно только в том случае, когда фактическое потребление воды не превышает годового стока расчетного года, обеспечивая оросительные и другие водохозяйственные нужды. В тех же случаях, когда потребление воды превышает годовой сток расчетной обеспеченности, необходимо многолетнее регулирование стока, основанное на аккумулировании в водохранилище части стока многоводных лет, чтобы использовать его в маловодные годы. Если же потребление превышает годовой сток среднего гидрологического года, то и многолетнее регулирование не в состоянии обеспечить полное удовлетворение ежегодных потребностей в течение многолетнего периода.

Расчет емкости и условий работы водохранилища при многолетнем регулировании может быть сделан путем использования непосредственных данных о стоке и потреблении воды за достаточно длительный период (30—40 лет). Если данные наблюдений недостаточны (но не менее 8—10 лет), приходится прибегать к методам математической статистики.

Эти методы излагаются в курсах регулирования стока и гидрологии.

Потери воды из водохранилища на испарение и фильтрацию прибавляются к полезному потреблению воды, так что годовая отдача водохранилища αS_0, где S_0—средний многолетний сток и α — коэффициент зарегулирования стока, должна включать в себя сумму полезного потребления и потерь воды в водохранилище.

При сезонном регулировании емкость водохранилища, как показывает опыт, составляет от 20 до 70% среднего многолетнего стока реки. Это зависит главным образом от годового оборота водохранилища — числа наполнений за год: чем больше это число, тем меньше может быть объем. Многолетнее регулирование стока требует значительного увеличения емкости водохранилища и заставляет повышать плотину или строить добавочные водохранилища, опоражниваемые только в маловодные годы; но оно позволяет увеличить размеры орошаемой площади и дает бóльшие энергетические возможности. При многолетнем регулировании емкость водохранилища составляет от 1,2 до 1,7 среднего многолетнего стока. Регулирование стока для орошения и обводнения следует сочетать с задачами гидроэнергетического использования.

Вопросы орошения и гидроэнергетики тесно связаны[2]; разрешая вопросы гидроэнергетики, можно создать благоприятные условия для развития орошения и обводнения земель в широких размерах. Самое орошение является крупным потребителем энергии — орошение высокорасположенных земель с механическим подъемом воды, дождевание, механизация сельскохозяйственных работ. Возрождая жизнь района, орошение предопределяет рост потребности в энергии— для электрификации сельского хозяйства, для промышленности и благоустройства.

Гидроэнергию в связи с орошением и обводнением получают обычно двумя путями: 1) на реке, используя напор плотин головного сооружения или регулирующих водохранилищ, и 2) в самой системе, используя напор на перепадах, сбросных сооружениях.

Однако режим потребления воды на орошение обычно не совпадает с режимом потребления воды для получения гидроэнергии (кроме случаев использования энергии для механического подъема воды на орошение), поэтому

---

[1] См., например, М. В. Потапов. Сочинения, т. III. Сельхозгиз, М., 1951.

[2] См. В. В. Звонков. Комплексное использование водных ресурсов в речных бассейнах СССР. Изд. АН СССР, М., 1957.

при регулировании стока следует добиваться наиболее целесообразной в народнохозяйственном отношении увязки интересов орошения и энергетики.

Если гидростанция использует сток, зарегулированный в целях орошения, когда главные расходы воды приходятся на летний период, получается сезонная (летняя) энергия, а зимой, когда возрастает спрос на электроэнергию (для промышленности, хозяйства, освещения), производительность станции падает. Если же сток зарегулирован только в целях энергетики, сокращаются летние расходы воды для орошения.

Согласование требований энергетики и орошения, кроме того случая, когда энергия идет на нужды орошения, может быть достигнуто устройством двух водохранилищ: верхнего — выше гидростанции, регулирующего сток для целей энергетики, и нижнего, принимающего отработанную воду гидростанции и регулирующего сток для орошения; однако такое решение иногда затрудняется отсутствием подходящего места для устройства нижнего водохранилища.

Если нельзя полностью увязать требования энергетики и ирригации, нужно выбрать решение, наиболее целесообразное в данном случае с общей народнохозяйственной точки зрения. При такой постановке задача будет решаться не изолированно, а комплексно — и ирригация и энергетика в нужной мере. В большинстве случаев такое комплексное решение не только наиболее целесообразно, но и наиболее эффективно как для орошения, так и для энергетики.

В засушливых районах на реках с недостаточными водными ресурсами регулирование стока их в целях орошения и получения гидроэнергии проектируется обычно так, чтобы, обеспечивая полностью потребности оросительных систем в воде, в максимальной мере удовлетворить и потребности хозяйства в энергии.

При определении емкости водохранилищ, как сказано выше, следует учитывать *потери воды в водохранилище*: на испарение с водной поверхности и на фильтрацию в дно и откосы водохранилища; потери нужно суммировать с кривой потребления.

Потеря воды на испарение зависит от местных климатических условий и размеров водохранилища: чем суше климат, выше температура, сильнее ветры и мельче водохранилище, тем потери на испарение больше.

Для уменьшения потерь воды на испарение водохранилища должны быть по берегам окружены лесными защитными полосами шириной 10—20 *м*, умеряющими силу ветра.

При расчете баланса водохранилища нужно из испарения с водной поверхности его вычитать осадки, выпадающие на эту поверхность за рассматриваемый период.

По фактическим наблюдениям, испарение с поверхности водохранилищ составляет: Мургабские водохранилища — 2—2,5 *м* в год, Ершовское водохранилище в Саратовской области — 0,97 *м* в год и 0,71 *м* за лето, Валуйское в той же области — 0,72 *м* за лето, Тингутинское в Сталинградской области — 0,65 *м* за лето.

Для районов Заволжья по Б. В. Полякову потери на испарение с водной поверхности составляют в среднем от 500 до 800 *мм* в год.

Испарение с водной поверхности в центрально-черноземных областях составляет от 400 до 600 *мм*.

Потери из водохранилищ на фильтрацию слагаются из потерь в ложе водохранилища, через дно и берега его и потерь через тело плотины, основание ее и в обход с боков. Размеры этих потерь и методы их исчисления рассматриваются в курсах гидротехнических сооружений.

Фильтрационные потери из водохранилища во времени постепенно снижаются вследствие заиления ложа, сработки напора воды, насыщения грунтов и растекания фильтрационного потока. В зависимости от величины напора и свойств грунта фильтрационные потери из водохранилищ составляют от 0,3 до 1,3 *м* в год.

Для уменьшения фильтрации воды из водохранилищ применяют специальные антифильтрационные мероприятия, состоящие в уплотнении, кольматировании, оглеении, создании антифильтрационных покрытий (глинобетон и др.) в ложе водохранилищ, взрыв карстовых воронок и трещин и заделку этих мест глиняными экранами и др.

Общие потери воды на испарение и просачивание составляют в год от 1 до 2—2,5 *м*. В некоторых же случаях потери достигают бо́льших величин — в первые годы после наполнения и в проницаемых грунтах; с увеличением глубины и емкости водохранилища потери относительно уменьшаются.

Вследствие потерь воды полезная емкость водохранилища должна быть увеличиваема (на 15—40% своего полезного объема).

Режим работы регулирующего водохранилища определяется уравнением:

$$FdH=(Q-Q_1)dt,$$

где F — площадь зеркала воды;
dH — изменение (понижение или повышение) уровня воды за время dt;
Q — приток воды в водохранилище;
Q_1 — расход и потери воды из водохранилища в период dt.

При зарегулировании стока не весь сток может быть собран в водохранилище и, кроме того, не вся запасенная вода может быть полезно использована в силу наличия мертвого запаса и потерь. Эффект водохранилища объемом V состоит в добавочном использовании некоторого объема воды V_0. Отношение $\frac{V_0}{V}$ характеризует регулирующее действие водохранилища; чем оно больше, тем эффективнее данное водохранилище.

Слабой стороной регулирующих водохранилищ является заиление их и вследствие этого уменьшение объема и постепенная утрата регулирующего действия. Интенсивность заиления зависит от содержания и качества наносов в речной воде и от характера водохранилища и его эксплуатации.

Водохранилища сильно снижают свое регулирующее действие, когда заиление достигает 40—50% первоначальной емкости.

Для предупреждения и борьбы с заилением водохранилищ предложено много способов, однако большинство их нельзя признать разрешающими этот вопрос.

С точки зрения продолжительности нормальной работы водохранилища важно увеличение его мертвого объема и, следовательно, повышение отметки горизонта опоражнивания. Кроме того, чем выше этот горизонт, тем больше площадь командования магистрального канала, получающего воду из водохранилища. Однако чем больше мертвый запас и выше горизонт опоражнивания, тем меньше полезный объем водохранилища и мощность, какую можно получить в голове магистрального канала у плотины. Эти соображения приходится учитывать при установлении объема водохранилища. Если допустимый для заиления «мертвый» объем водохранилища равен A $м^3$, годовой сток воды, проходящей через водохранилище, составляет S $м^3$ и среднее содержание наносов в воде, оседающих в водохранилище, равно ϱ $кг$ в 1 $м^3$ воды, то ежегодный объем наносов, отлагающихся в водохранилище, приблизительно равен $\frac{0,7\varrho S}{1000}$ $м^3$, и, следовательно, заиление мертвого объема A водохранилища произойдет в $N=\frac{\alpha A1000}{0,7\varrho S}$ лет, где коэффициент α, равный 0,8—0,9, дает поправку на отложение части наносов вне водохранилища.

В первую очередь заиляется «мертвый» объем водохранилища, это и определяет срок нормальной службы водохранилища, и дальше уже начинается постепенное снижение его полезного объема.

Очень важной мерой против заиления является недопущение воды из реки в водохранилище в те периоды, когда река несет много наносов. Для этого, если возможно, не располагают водохранилище на самой реке и в пик паводка, когда река несет много наносов, не запасают воду в водохранилище, а пропускают ее ниже через специальный обходный туннель или через особые отверстия в плотине, заложенные на возможно более низких отметках.

Кроме этого, применяются следующие меры борьбы с заилением водохранилищ.

1. По пути русла, питающего водой водохранилище, устраивается несколько добавочных осадочных бассейнов, которые осаждают наносы и не допускают их в водохранилище (рис. 170). Этот способ возможен в том случае, когда по направлению русла имеются подходящие для устройства бассейнов низины.

2. В верховьях водохранилища создаются лесные массивы, полосы кустарников, уменьшающие размыв почвы и скорость стекания воды и задерживающие наносы выше водохранилища, а на площади бассейна водохранилища осуществляются противоэрозионные мероприятия.

3. Если река несет немного наносов и они образуют рыхлые отложения, то возможна промывка их с помощью гидромониторов и удаление через осо-

бую, заложенную в самом низком месте плотины, трубу B, в которую вода направляется под большим напором. В канал вода подается через особый туннель, отметка которого выше отметки трубы. Между туннелем и трубой образуется мертвый объем, в котором и отлагаются наносы, требующие промывки (рис. 171).

4. Если водохранилище сильно заилилось, иногда применяется механическое удаление наносов землесосами и землечерпалками.

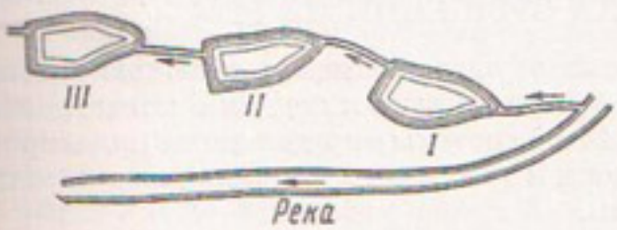


Рис. 170.

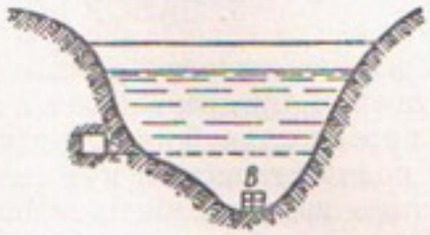


Рис. 171.

Для чистки средних по размерам водохранилищ хорошую работу показали землесосы системы А. М. Царевского и В. И. Пугавко.

Если река несет галечник и песок, выше водохранилища устраиваются на реке низкие набросные плотины, за которыми и откладываются крупные наносы.

Стоимость воды, получаемой из водохранилища, сильно зависит от объема его. Крупные водохранилища дают обычно более низкую стоимость воды и меньший добавочный расход на орошаемый гектар.

Объем водохранилища определяется не только потребностью в воде, но и топографическими и геологическими условиями местности. Наиболее удобными условиями будут следующие: наличие широкой долины (чаши) с малопроницаемыми грунтами, замыкаемой сужением (ущельем), откосы которого сложены плотными и водонепроницаемыми породами, где и может быть построена плотина.

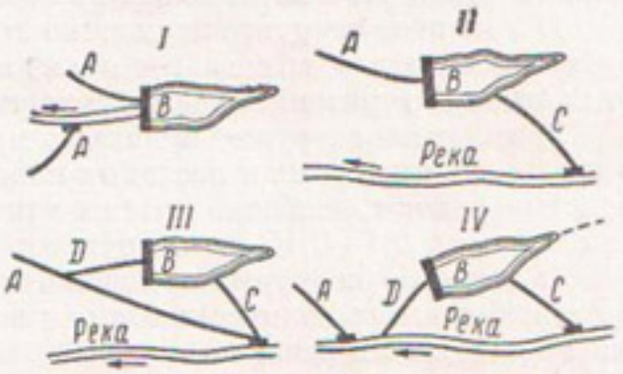


Рис. 172.

Расположение водохранилищ (рис. 172) по отношению к реке и каналу может быть сделано по одному из следующих типов, в зависимости от местных условий.

1. Водохранилище B располагается на самой реке, и через него проходит весь ее расход. Оросительный канал A выходит из водохранилища или из реки ниже плотины (тип I).

2. Водохранилище располагается в стороне от реки и питается из нее водой через особый подводящий канал C. Оросительный канал A выводится или из водохранилища (тип II), или из реки, причем добавочное питание его водой делается или непосредственно из водохранилища (тип III), или из реки (тип IV) при помощи подпитывающего канала D.

При втором типе расположения водохранилища начальные объемы полых вод реки, особенно богатые наносами, могут не впускаться в водохранилище, а проходить непосредственно по реке, минуя канал C, вследствие чего такие водохранилища находятся в более благоприятном положении в отношении заиления, чем водохранилища первого типа. К первому типу можно отнести, например, Мургабские водохранилища, ко второму — Большое Катта-Курганское водохранилище на р. Зеравшан, построенное в 1940—1942 гг.

Может быть и такое расположение водохранилищ, когда подводящий канал C отсутствует и водохранилище B получает воду не из главной реки, откуда выведен оросительный канал A, а из притока этой реки или же собирает сток какой-либо балки, впадающей в главную речную долину. Задачу регулирующего водохранилища может выполнять также естественное озеро с достаточным водосбором и удобным, с точки зрения использования, расположением; в этом случае также не нужен канал C.

Кроме крупных регулирующих водохранилищ, нужно отметить также сравнительно мелкие внутрисистемные водохранилища, назначением которых является приспособле-

ние существующего отпуска воды в системе к специфическим потребностям отдельных частей системы (например, увеличение поливного расхода, если по водообороту в системе отпускается малый расход; производство полива тех или иных культур вне срока отпуска воды в системе; запас воды для питьевых целей). Эти водохранилища обычно имеют небольшую емкость (от 10 до 80 тыс. $м^3$) и наполняются водой из каналов или из рек и речек. Однако устройство таких внутрисистемных водохранилищ не должно нарушать установленного для системы водного режима норм отпуска воды и общего плана водопользования.

3. ЗАБОР ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ ИЗ РЕК

Головное питание систем из реки осуществляется с помощью головных сооружений, предназначенных для забора из реки и подачи в магистральный канал оросительной или обводнительной системы определенных (нормированных) количеств воды в нужные сроки и требуемого качества, в соответствии с планом водопользования системы.

Водопотребление и забор воды из рек в засушливых и безводных районах производятся не только на орошение, но часто также и на обводнение, т. е. создание необходимых водных источников в безводной местности для бытового, хозяйственного и промышленного водоснабжения.

График режима комплексной работы канала строится по общему методу построения графика режима орошения с учетом соответствующих количеств и сроков подачи воды как на орошение, так и на обводнение и водоснабжение во все периоды времени.

Основные требования, какие приходится предъявлять к головным сооружениям при заборе воды из рек, сводятся к следующим:

1) головное сооружение должно забирать в систему в нужные сроки требуемые расходы воды, согласно плану водопользования в системе, независимо от колебаний горизонтов воды в реке, и хорошо регулировать подачу воды;

2) головное сооружение должно предохранять систему от поступления в нее из реки крупных и песчаных наносов, допуская в канал только мелкие илистые наносы; особенно опасны для заиления каналов песчаные наносы диаметром от 0,1—0,15 *мм* и крупнее;

3) головное сооружение должно предохранять систему от поступления в нее избыточных количеств воды (и возможных при этом затоплений) в периоды паводков в реке;

4) головное сооружение должно обладать должной прочностью и безопасностью в отношении как сохранения целости самого сооружения, так и обхода его рекой.

Устройство водозаборных головных сооружений тесно связано с характером реки, из которой производится водозабор.

На орошение в СССР используются *горные*, *равнинные и степные реки*, различающиеся по своим геологическим, гидрографическим и гидрологическим условиям и по условиям забора воды из них для орошения. Более или менее крупные реки, как известно, в свою очередь, можно разделить по длине на следующие участки: *верхний*, или *горный*, особенно резко выраженный в горных районах, характеризующийся наибольшими уклонами; *переходный*, или *предгорный*, участок при выходе реки в долину; *долинный*, или *равнинный*, участок, характеризующийся средними уклонами; наконец, *нижний*, или *дельтовый*, участок, имеющий наименьшие уклоны. Степные реки в большинстве случаев являются малыми реками равнинного типа с небольшими уклонами и часто имеют не постоянный, а только временный (главным образом весенний) сток.

Верхние, или горные, участки рек имеют русло, сложенное из более прочных грунтов, а в горных районах — из обломков скалистых пород, булыжника, крупной гальки; уклоны и скорости воды в реке здесь значительные.

Отвод воды в горной части реки обычно легче, ибо уклон большой, но расходы реки меньше; основания для сооружений более прочны, строительные материалы часто имеются на месте, магистральный канал имеет неболь-

шую холостую часть, направляясь непосредственно к орошаемой площади. Однако здесь требуется большее количество сооружений вследствие пересеченной местности; почвенные и гидрогеологические условия орошаемых земель достаточно благоприятны, но рельеф сложнее.

Переходные, или предгорные, участки (при выходе реки в долину) имеют русло, сложенное из песка, гравия (в горных районах с галькой); течение воды более спокойное. Ложе реки достаточно прочно для постройки головных сооружений. Берега высокие, отсутствует опасность затопления. Ширина реки небольшая, вследствие чего при плотинном водозаборе плотина может иметь меньшие размеры. Уклон реки значительный, что облегчает вывод воды; на небольшом протяжении холостой части канала можно получить значительную разность горизонтов воды в канале и в реке и использовать ее на получение гидроэнергии, сбрасывая часть расхода канала обратно в реку; для этого в голове должен забираться добавочный расход воды для гидростанции. Почвенные условия и залегание грунтовых вод на орошаемых землях менее благоприятны, чем в горной части, но рельеф лучше.

В долинной части, и особенно в дельтах, русло реки сложено мелкозернистыми грунтами; река несет большие расходы, но имеет небольшие уклоны и скорости течения, вследствие чего отлагаются наносы и по направлению к низовьям увеличивается ширина и поднимаются горизонты воды. Так как уклон реки в долинной части небольшой, то при выводе воды из реки без плотины нужна длинная холостая часть магистрального канала. При плотинном же водозаборе высота плотины может быть меньше, но требуется бóльшая длина ее. Вследствие отложения наносов имеется опасность обхода головного сооружения рекой и затопления местности, для предупреждения чего нужны большие регулировочные работы при водозаборе, особенно в низовьях реки. Так как река в равнинной части имеет небольшой уклон, холостая часть канала получается длинной. Гидрогеологические условия орошаемых земель менее благоприятны. Основания для плотин обычно слабые, уклоны поверхности земли небольшие, получение гидравлической энергии в голове связано с затоплениями, а на сбросах и каналах затруднено.

Использование для орошения малых степных рек, отличающихся в большинстве случаев непостоянным стоком и глубокой врезанностью русла, связано с регулированием стока путем устройства водохранилищ и часто с механическим подъемом воды.

МЕСТО ВОДОЗАБОРА

Выбор надлежащего места водозабора имеет большое значение, так как неудачное расположение и конструкция водозаборного сооружения влекут недобор воды, занесение наносами или подмыв его и необходимость постоянных работ по поддержанию сооружений в рабочем состоянии.

При выводе из реки определенной части ее расхода происходят следующие явления (влияние их тем больше, чем больше отводимая часть расхода): в месте забора воды расход и горизонт понижаются и потому выше сооружения скорости увеличиваются, а ниже сооружения уменьшаются; вследствие этого начинается выпадение наносов, которые, постепенно повышая уровень, появляются и перед сооружением, вызывая его занос. Иногда же, если скорости воды в реке велики, может происходить и обратное явление: выше головы может начаться размыв дна и уровень воды в месте отвода понижается.

При бесплотинном водозаборе главное течение реки в межень может отходить от головного регулятора; в этом случае доля забираемой в голову воды (от расхода реки) сильно падает. При плотинном же водозаборе, особенно при высоком подпоре, река может затоплять местность выше плотины, образовывать острова, делиться на рукава и т. д. Поэтому для выбора надлежащего места водозабора требуются тщательные исследования реки и часто соответствующие регулировочные работы в русле реки.

Место водозабора на реке должно удовлетворять ряду требований.

1. Устойчивость и прочность русла реки в створе водозабора. Наиболее устойчивой формой русла в плане является криволинейная форма пологих меандр, состоящих из вогнутых и выпуклых кривых и прямых вставок.

По исследованиям С. Т. Алтунина[1], шаг речной меандры (перекат+плес) для рек с аллювиальным руслом должен быть равен $L=(12\div15)\,B$, где B — ширина реки для устойчивого русла, определяемая по нижеприводимым формулам. Кривизна устойчивых излучин может быть вычерчена по сопрягающим дугам кривизны трех радиусов: для начала кривой выпуклого берега — от бесконечности до $r_1=7B$; для середины кривой — $r_2=(5\div6)\,B$ и для конца кривой — $r_3=3{,}5B$. Соотношение основных гидравлических элементов устойчивого русла должно, по С. Т. Алтунину, удовлетворять следующим условиям:

$$B^m=KH_{ср},$$

где $K=8$—10 и $m=1$ в горных реках, $m=0{,}5$ в нижних участках реки,
и

$$B=C\,\frac{Q}{I^{0,20}}\sqrt{Q},$$

где коэффициент Q изменяется от 0,75 в горных участках до 1,5 в нижних участках; коэффициент $C=1$ для прямолинейных участков реки, $C=0{,}75$ для криволинейных участков реки и $C=0{,}50$ для сильно изогнутых участков (под углом 45—90°).

В приведенных формулах B — ширина устойчивого русла по урезу воды и $H_{ср}$ — средняя глубина воды.

2. Минимальное поступление наносов из реки в головное сооружение. Для этого оно должно располагаться на вогнутом берегу реки, в том месте, где река имеет прочное русло, устойчивое направление потока, малое передвижение донных наносов по ширине; во избежание размыва вогнутый берег укрепляется. Сооружение следует располагать у места наибольших глубин в период наибольшего водозабора, которое находится (по С. Т. Алтунину) на расстоянии около 4—5 $B_к$ от начала кривой, где $B_к$ — ширина устойчивого русла на кривой. Направление вогнутого берега должно совпадать с направлением поверхностных токов воды в реке, чтобы отвод потока воды из реки происходил без изменения его начального направления. Большое влияние на завлечение донных наносов имеет процент водозабора и соотношение удельных расходов воды в реке и отводе.

По исследованиям В. Б. Дульнева (САНИИРИ), если процент водозабора $n_1=0{,}5\,\frac{d}{a}$, где d — ширина отвода, a — ширина русла до отвода, то наносы не поступают в отвод, а при проценте водозабора $n_2=0{,}5\left(1+\frac{d}{a}\right)$ все донные наносы завлекаются в отвод. При одном и том же проценте водозабора поступление наносов в отвод тем меньше, чем больше отношение $\frac{d}{a}$.

3. В месте водозабора должны быть хорошие геологические условия для возведения сооружений, достаточно высокие отметки меженного уровня воды, чтобы обеспечить лучшее командование орошаемой местностью, и достаточный уклон воды, чтобы легче выводить канал.

4. Водозабор не следует располагать ниже порогов или впадения притоков с большим количеством наносов.

Забор воды из реки осуществляется непосредственно или с помощью специальной водоподъемной плотины. Бесплотинный водозабор дешевле, не вызывает нарушения бытового уровня реки, но зато холостая часть магистрального канала получается более длинной. При плотинном водозаборе возможно забирать из реки бóльшую часть расхода и даже весь расход.

---

[1] С. Т. Алтунин. Некоторые итоги исследований водозаборных узлов сооружений на реках Средней Азии. Труды Института энергетики Академии наук Узбекской ССР, вып. 2, 1948. *Прим. автора.*

Чтобы определить степень обеспеченности головного сооружения водой при колебаниях горизонта воды в реке и установить надобность постройки плотины, нужно располагать подробными данными об изменениях горизонтов и расходов воды в реке в месте расположения головного сооружения.

Горизонты воды в реке у головы канала (в месте водозабора) могут быть определены на основе достаточно продолжительных наблюдений ближайшей гидрометрической станции путем прибавления или вычитания разницы (поправки), определяемой уклоном на участке от створа станции до головы канала. По кривой зависимости $Q=f(H)$ для створа станции можно определить по найденным H соответствующие значения Q в голове. По значениям Q и H может быть установлен минимальный расчетный режим расходов и горизонтов воды в створе расположения головного сооружения (регулятора). Зная минимальные расчетные отметки горизонтов воды в реке в течение оросительного периода и отметку порога регулятора (из условий командования канала), получим тот напор воды, какой будет у регулятора в течение оросительного периода, а следовательно (по H и размерам регулятора), и те расходы воды, какие он сможет пропускать в маловодные годы.

Уровень воды в реке перед головным регулятором при бесплотинном заборе должен быть определен с учетом отводимого в канал расхода воды; он равен $H_2=H_1=\Delta H$, где ΔH — понижение уровня воды в реке вследствие уменьшения расхода в ней с Q_1 до $Q_2=Q_1-Q_к$; здесь H_1 — уровень в реке при расходе Q_1; $Q_к$ — расход, поступающий в канал, ΔH и H_2 определяются по кривой связи $H=f(Q)$.

Сопоставляя фактические горизонты с потребными в течение оросительного периода горизонтами, обеспечивающими пропуск нужных расходов (по графику режима водозабора согласно плану водопользования)[1], нетрудно установить степень обеспеченности канала водой в разные моменты оросительного периода при принятой отметке порога регулятора в минимальные годы и, следовательно, степень необходимого подъема горизонта воды в реке (при помощи водоподъемной плотины). Повышение подпора ведет к увеличению площади командования канала, уменьшает опасность заиления системы, но зато удорожает стоимость плотины и создает опасность затоплений и обхода головных сооружений. В вопросе о выборе места головного сооружения и высоты плотины имеет значение также возможность получения гидравлической энергии.

Положение головного сооружения определяется предварительно по карте, а затем уже точно на местности, что достигается в результате трассировки оросительного канала с принятым для него уклоном от высшей точки орошаемой местности до пересечения с рекой. Если место головного сооружения твердо определяется совокупностью перечисленных условий и требований, тогда магистральный канал трассируют с нужным уклоном от этого места; в этом случае определится положение высшей орошаемой точки из данного канала и, следовательно, возможной к орошению площади.

В целях предохранения головных сооружений от обхода рекой и правильного направления к ним воды, особенно в меженный период, приходится прибегать к регулировочным и выправительным сооружениям на реке. Если головное сооружение располагается на реке с неустойчивым руслом, меняющей свое течение, и выправительные работы очень сложны, головной регулятор можно расположить в достаточном удалении от берега, подводя воду к регулятору особым каналом или естественным упорядоченным рукавом (имея землечерпательный караван для поддержания этого канала или рукава от занесения), или же устраивая многоголовый водозабор.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ВОДОЗАБОРА

При выводе воды из рек самотеком применяются бесплотинные и плотинные водозаборы.

1. Наиболее примитивным видом бесплотинного водозабора из реки является устройство *шпоры*, примыкающей с низовой стороны к тому берегу, на котором расположена орошаемая площадь. Эта шпора, или водозахватная дамба, имеет криволинейное очертание, отходя от берега вверх по течению; она отделяет от реки часть водного потока и направляет его в канал (рис. 173). В дамбе подводящего русла устраиваются один или несколько сбросов, чтобы в паводки сбрасывать в реку из подводящего русла избыточную воду (рис. 174). Дамба должна быть тем длиннее, чем больше процент водозабора.

[1] Определение по расходу регулятора нужного напора и, следовательно, горизонта воды перед регулятором и обратно ведется по формулам зависимости Q от H для данного типа головного регулятора и его размерам. *Прим. автора.*

Работа подобного водозабора всецело зависит от режима реки; канал не предохранен от поступления в него паводковых вод и наносов из реки. Во время паводков могут создаваться большие затопления орошаемой площади, отчего приходится защищаться обвалованием; водозахватная шпора может разрушаться рекой.

Чтобы уменьшить поступления наносов в канал, в подводящем русле надо возбудить поперечную циркуляцию потока с направлением донных струй в сброс, а поверхностных в канал. По исследованиям С. Т. Алтунина, для направления донных наносов в сброс нужно, чтобы удельный расход подводящего русла или канала q был в два раза меньше удельного расхода сброса $q_{сбр}$, т. е. $q_{сбр}=2q$. Поэтому водозахватная дамба должна направ-

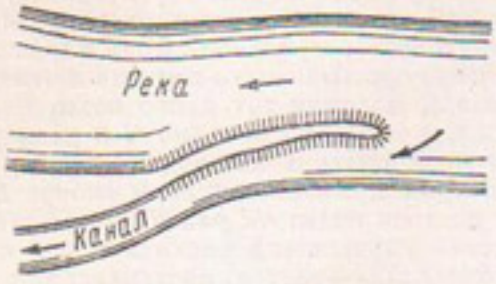


Рис. 173.



Рис. 174.

лять в подводящее русло количество воды в $1^1/_2$—2 раза больше, чем требуемый расход воды в канале. Если условия командования позволяют, в конце подводящего русла, перед входом в канал, устраивается постоянный регулятор с порогом, а у корня водозахватной дамбы — глубокий боковой сброс.

2. Более совершенный вид бесплотинного водозабора представляет *шлюз-регулятор*, построенный на берегу реки, соединяющий магистральный канал с рекой и регулирующий подачу воды в канал. Порог этого регулятора закладывается на такой высоте, чтобы вода из реки при самых низких уровнях (в течение оросительного периода) могла самотеком поступать в канал. Для лучшего захвата воды перед головой канала на горных и предгорных участках рек устраивается короткая водозахватная шпора, направленная навстречу течению реки, с боковым сбросом. Для промывки канала от наносов, проходящих через порог, ниже головного регулятора, на расстоянии 1—2 *км*, в канале ставится выпускное сооружение, позволяющее сбрасывать излишнюю воду, поступающую в канал, и промывать от наносов участок канала между головным регулятором и сбросом (рис. 175).



Рис. 175.

Водозабор как со шпорой, так и со шлюзом-регулятором следует располагать на вогнутой части реки, чтобы направление забора воды шло примерно по касательной к кривой изгиба течения реки.

Через водозаборный шлюз-регулятор можно забирать в канал только часть расхода реки — обычно около 10—25%. Кроме того, через шлюз-регулятор система обеспечивается водой только тогда, когда естественный горизонт воды в реке в течение всего оросительного периода выше требуемого горизонта воды в магистральном канале. А это не всегда обеспечивается, и поэтому приходится или делать длинную холостую часть канала, или же ограничивать работу системы только периодами паводков в реке, т. е. устраивать паводковые системы. Главнейшие недостатки этих систем: а) обеспеченность их водой только в период паводков; б) возможность занесения наносами головного регулятора; в) поступление в систему избыточных количеств воды в паводки.

3. Отмеченные недостатки бесплотинного водозабора отсутствуют в *плотинном водозаборе*, осуществляемом шлюзом-регулятором с помощью расположенной ниже водоподъемной плотины на реке (рис. 176). Плотина поднимает горизонт воды в реке до такого уровня, при котором вода может поступать самотеком в головной регулятор. При плотинном водозаборе значительно сокращается длина холостой части канала; из реки можно забирать значительную часть или даже весь расход воды заданной обеспеченности, что очень важно на малых реках или в маловодные периоды. С увеличением высоты плотины возрастает ее стоимость, сильнее нарушается бытовой режим реки и растет затопляемая площадь выше плотины, но зато увеличивается и площадь командования канала и уменьшается глубина выемки магистрального канала в холостой части. Лучшие результаты дают водозаборные узлы, имеющие перед плотиной специальное криволинейное, постепенно расширяющееся подводящее русло, обеспечивающее возможность фронтального расположения головного регулятора и плотины и поступление воды в регулятор без изгиба потока. Длина подводящего русла должна быть не меньше (5—6) B, где B — устой-

чивая ширина русла; русло образуется при помощи выправительных дамб или полузапруд и не допускает блуждания или разделения потока на рукава.

Выправительные работы нужно также в нижнем бьефе водозаборного узла, для придания нужного направления потоку ниже водозаборного узла и предохранения от подмыва находящихся здесь сооружений и канала, для обеспечения достаточной транспортирующей способности потока ниже водозаборного узла.

Из изложенного видно, что при каждом виде водозабора из рек нужны определенные выправительные или регулировочные мероприятия в русле реки, имеющие задачей: 1) создавать и поддерживать устойчивое состояние русла перед головным сооружением и правильное, параллельное оси реки течение, без образования боковых течений; 2) направлять нужные количества воды в межень к месту расположения головного регулятора и таким образом обеспечивать забор нужных расходов воды в канал; 3) предохранять берега реки в местах водозабора от размыва и затопления, а головное сооружение от обхода рекой; 4) содействовать тому, чтобы песчаные донные наносы относились рекой от головного сооружения к противоположному берегу.

Регулировочные работы особенно необходимы для рек с большими колебаниями расходов воды с широкими неустановившимися руслами и несущих много наносов[1].

Рассмотренные типы водозабора из рек схематически представлены в таблице 41.

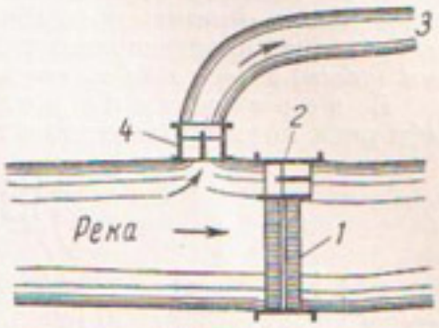


Рис. 176.

1 — плотина; *2* — промывной шлюз; *3* — магистральный канал; *4* — головной регулятор.

Конструкция каждого из указанных типов водозабора определяется следующими условиями: 1) требованиями, которым водозабор должен отвечать; 2) характером реки и выбранного места расположения водозабора — его топографическими и геологическими условиями; 3) технико-экономическими соображениями.

Таблица 41

Соотношение горизонтов воды в реке и в начале рабочей части магистрального канала	Водозабор с плотиной	Водозабор без плотины	
	постоянное действие	постоянное действие	действие в паводки
	длина холостой части магистрального канала		
Горизонт реки постоянно ниже горизонта в канале	Средняя	Большая	Средняя
Горизонт реки периодически ниже горизонта в канале	Малая	Средняя	Малая
Горизонт реки выше горизонта в канале	—	Малая	—

Одним из важных условий, определяющих тип водозабора, является предохранение оросительной системы от поступления в нее донных наносов из реки.

Отложение в оросительных каналах наносов ведет к уменьшению пропускной способности каналов и вызывает большие затраты труда и средств на очистку. Поэтому ирригационная техника стремится выработать методы предохранения каналов от вхождения в них песчаных наносов в голове. Нельзя еще считать эти методы окончательно установленными, однако теоретические и лабораторные исследования и изучение действующих сооружений значительно продвинули вперед разрешение этого вопроса; большая заслуга в этом деле принадлежит советским гидротехникам.

---

[1] О выправительных и регулировочных работах на реках при водозаборе см. работы С. Т. Алтунина. Выправительные, защитные и регулировочные сооружения на реках, М., 1947, и Регулирование русел рек при водозаборе, Сельхозгиз, М., 1950. *Прим. автора.*

Первое условие предохранения оросительной системы от наносов — *выбор надлежащего места водозаборного сооружения и регулировочные работы в русле реки в зоне водозабора*. Эти вопросы были рассмотрены выше.

Второе существенное условие обеспечения правильного водозабора и минимума поступления наносов в канал заключается *в правильном устройстве самого головного сооружения*.

В настоящее время эта задача (главным образом для предгорных и равнинных водозаборов) решается следующим образом: 1) устройством в голове порога, задерживающего поступление в канал донных наносов реки; 2) расположением оси водозабора и канала в месте отвода от реки под острым углом к оси реки, так как при этом минимум наносов завлекается в канал; 3) обеспечением промывки русла реки перед регулятором (верхнего бьефа) от отлагающихся там наносов; 4) обеспечением промывки верхнего участка канала за регулятором (нижнего бьефа) от наносов, прошедших через головной регулятор.

В зависимости от местных условий решение этих задач может быть различным; однако можно отметить несколько основных схем или типов водозаборов, применяемых в современной ирригационной технике. *Эти схемы различаются прежде всего направлением (углом) забора воды по отношению к направлению течения воды в реке.*

В первом типе водозабора вода отводится из подпертого плотиной бьефа реки под прямым углом к течению самой реки. Здесь (рис. 177) главнейшее значение в задерживании наносов имеют плотина и порог головного регулятора, имеющий высоту 1—2,5 *м* над дном реки или порогом промывного шлюза; высота порога над дном реки делается около 0,5—0,8 напора на плотине. Ось регулятора перпендикулярна к оси реки и промывного шлюза.

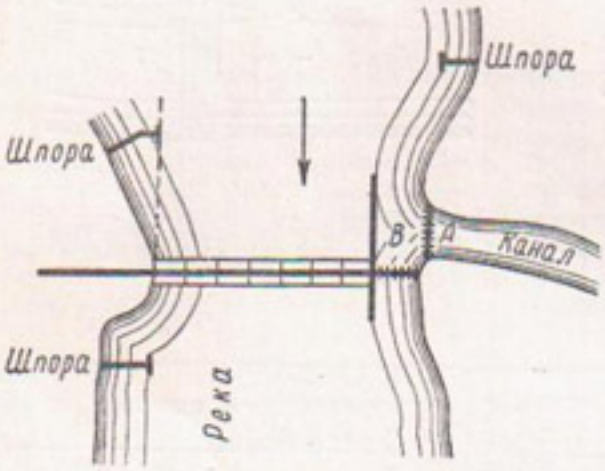


Рис. 177.

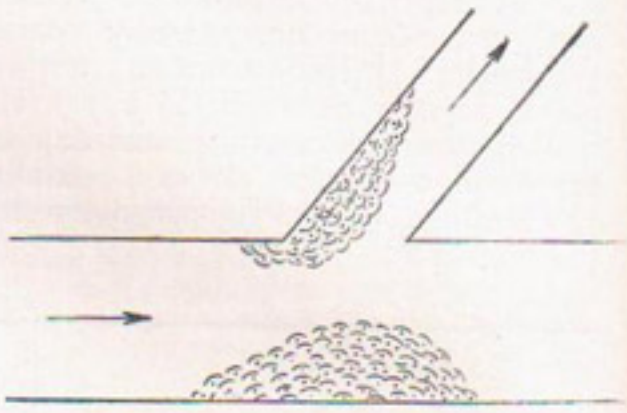


Рис. 178.

Выше промывного шлюза перед головным регулятором устраивается особый *промывной карман*, образуемый продольной стенкой, расположенной между промывным шлюзом и водопропускной частью плотины. При устройстве кармана в верхнем бьефе регулятора (во время его работы) получается малая скорость, что более или менее предохраняет канал от заиления. Длина разделительной стенки кармана должна быть такова, чтобы в кармане могли выпадать крупные фракции наносов.

Скорость воды в кармане во время работы канала должна быть примерно на 30% меньше скорости воды в канале; поэтому площадь живого сечения кармана должна быть на 25—50% больше площади живого сечения канала в голове.

Наносы, отлагающиеся в кармане, промываются периодически через промывной шлюз при закрытом регуляторе.

Указанный тип применим только при плотинном заборе воды, и в этих условиях нередко дает достаточно удовлетворительные результаты. Однако он имеет и серьезные недостатки, главнейшие из них:

1) порог (особенно постоянный) при низких горизонтах воды в реке может ограничивать поступление в канал нормального расхода воды и снижать орошаемую площадь; порог легко заносится донными наносами и требует частых промывок кармана; 2) поступление воды под углом 90° из кармана в канал и изгиб струй способствуют усиленному образованию водоворотов перед входом, способствующих вхождению наносов в канал; 3) при большой ширине головного регулятора не все наносы по длине порога перед регулятором могут быть промыты и др.

Во втором типе водозабора вода из реки отводится под острым углом к направлению течения реки. Такое расположение водозабора основывается на большом опыте работы ирригационных каналов и на лабораторных исследованиях А. Я. Миловича, Д. Я. Соколова, М. В. Потапова и других авторов.

Как известно, в месте отвода бокового канала от основного русла потока, как и на закруглении потока, вследствие поворота струй образуется поперечное падение поверх-

ности воды в сторону канала (на закруглении в сторону выпуклого берега). В результате этого образуется сильное поперечное течение донных струй потока, насыщенных наносами, в сторону бокового канала, которые, складываясь с продольным течением, образуют спиральное движение и сильный вынос донных наносов в боковой канал. Вследствие отклонения донных струй в боковой канал в главном потоке образуется донный водоворот у берега, противоположного каналу, а в боковом канале (из-за изгиба струй) образуются

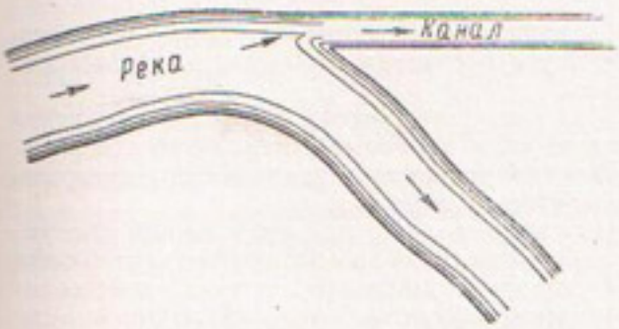


Рис. 179.

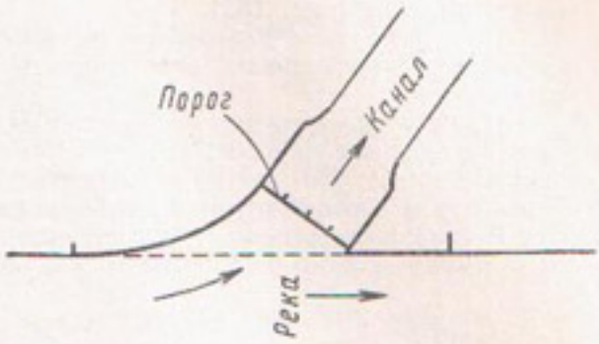


Рис. 180.

донные и поверхностные водовороты у верховой стороны канала. Эти водовороты стесняют живое сечение канала, повышают скорости течения воды в свободной части сечения и сильно уменьшают скорости в части, занятой водоворотом, где и отлагаются наносы, постепенно заполняющие всю ширину бокового канала и продвигающиеся вниз по нему (рис. 178).

В боковой канал наносы вовлекаются тем сильнее, чем больше поперечное падение горизонта воды, т. е. чем круче угол ответвления бокового канала, чем больше коэффи-

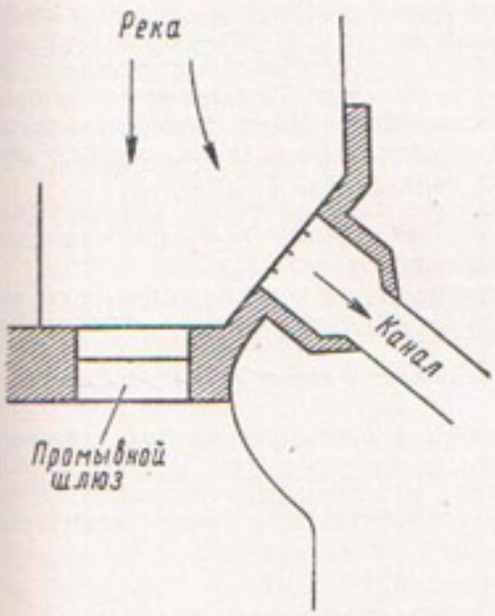


Рис. 181.

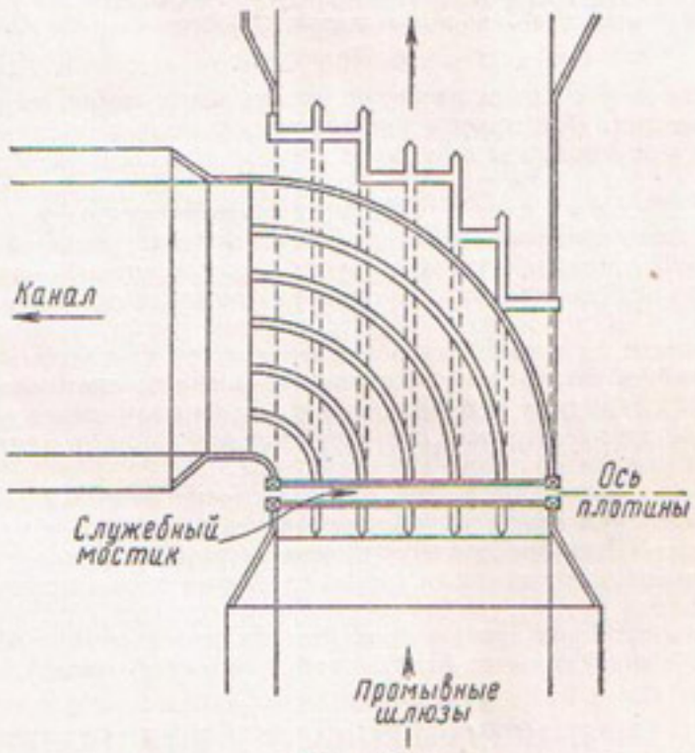


Рис. 182.

циент забора воды и чем больше скорость в основном русле по сравнению со скоростью в боковом канале.

Для уменьшения попадания наносов из реки в канал во время забора воды применяются следующие меры:

1) отвод воды в канал с минимальным изгибом струй под острым, а не под прямым углом к течению реки;

2) забор воды на вогнутом берегу, чтобы канал служил как бы продолжением основного русла по касательной (рис. 179). При водозаборе на прямом участке реки головное сооружение делается по схеме, указанной на рисунке 180, при бесплотинном водозаборе и по схеме рисунка 181— при плотинном водозаборе;

3) для усиления действия промывного шлюза и кармана можно устроить горизонтальный выносной полок на высоте порога, повысить входной порог с устройством в нем донных промывных отверстий, позволяющих перехватывать и удалять донные наносы в нижний бьеф;

4) для предохранения канала от заиления применяются струенаправляющие системы М. В. Потапова, создающие искусственную поперечную циркуляцию; известны также и другие типы устройства водозабора, описание которых дается в курсах гидросооружений.

В третьем типе водозабора забор воды из реки производится без всякого изгиба потока — параллельно оси течения реки (под углом $\alpha=0$), причем здесь необходимо плотину и регулятор располагать непосредственно над промывными шлюзами в плотине (рис. 182).

При этом типе водозабора устройство водоподъемной плотины, играющей роль и порога, может, однако, ограничивать забор воды в систему при низких горизонтах воды в реке.

Применение того или иного типа водозабора зависит от местных условий (характер реки, содержание наносов, соотношение расходов воды в реке и канале, отметки горизонтов и т. д.); для крупных оросительных систем устройство водозабора устанавливается путем соответствующих лабораторных опытов на моделях.

В головных шлюзах, регулирующих подачу воды в канал для уменьшения поступления крупных наносов в канал, перед затворами регулятора со стороны верхнего бьефа ставится шандорная стенка, позволяющая забирать более осветленную воду верхних горизонтов, что особенно важно в тех случаях, когда вследствие низких горизонтов воды в реке в межень нельзя иметь достаточной высоты порог; шандоры позволяют увеличить его высоту в период паводка. Поступление воды в канал при колебаниях горизонта воды в реке в неинженерных системах регулируется также путем устройства не одной, а нескольких голов (многоголовый водозабор) или прокопов (рис. 183), входные отверстия которых расположены на разных отметках по высоте и на различных расстояниях вверх по реке с таким расчетом, чтобы в них могла поступать вода из реки при разных горизонтах. При низких горизонтах в реке вода в главный канал забирается через несколько голов-прокопов или через головы, расположенные выше по реке. При высоких горизонтах вода подается через головы, расположенные ниже по реке. Головы располагаются на 0,5—2,5 км одна от другой, в зависимости от уклона русла реки. Идущие от голов прокопы, соединившись, переходят в магистральный канал. Пропускная способность каждой головы обычно меньше пропускной способности магистрального канала, поэтому при полной подаче воды должно работать одновременно не меньше двух голов.

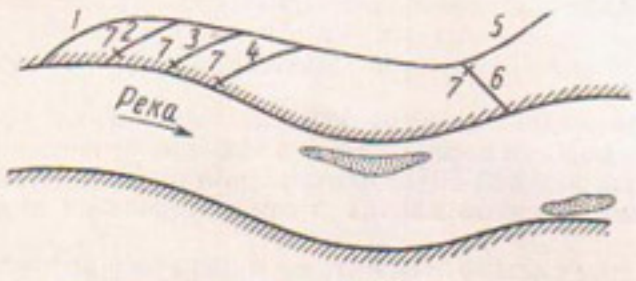


Рис. 183. Многоголовый водозабор:
1, *2*, *3* и *4* — головы водозабора; *5* — магистральный канал; *6* — сбросной канал; *7* — перемычки.

В низовьях рек устраивается дамба, ограждающая главный канал и орошаемые земли от затопления высокими водами при подъеме уровня в реке. Дно голов закладывается на уровне самых низких вод в данном сечении реки.

Система нескольких голов-прокопов имеет значение на всех реках с большим содержанием наносов и неустойчивым руслом (например, Аму-Дарья) и широко применяется в старых системах Средней Азии.

Если одна голова будет занесена наносами, ее закрывают перемычками и очищают, а воду в канал направляют через другую голову.

Принцип многоголового водозабора, но оснащенного соответствующими инженерными сооружениями (регуляторами в конце прокопов, подающих воду в магистральный канал и др.), используется в некоторых современных оросительных системах. Каналы-прокопы играют роль отстойников и очищаются как механически (землесосами), так и гидравлически (промывкой в сбросной канал).

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОД ПОВЕРХНОСТНОГО МЕСТНОГО СТОКА НА ОРОШЕНИЕ И ОБВОДНЕНИЕ

В зонах периодической засушливости, к которым относятся степные и лесостепные районы Европейской части СССР, Западной Сибири и др., кроме использования водных ресурсов рек, большое значение имеют для орошения и обводнения воды местного стока.

Местный сток регулируют двумя путями: 1) на балках, в лощинах, оврагах, на небольших речках устраивают искусственные водохранилища — пруды; 2) стекающие с пологих склонов и плато талые весенние воды задерживают лиманами.

Водохранилища и лиманы имеют крупнейшее хозяйственное значение для обеспечения высоких и устойчивых урожаев и большое гидрологическое

значение в засушливых районах: задерживая поверхностный сток весной, они влияют на уменьшение весеннего половодья; используя запасенную воду на орошение, усиливают внутренний влагооборот данной местности и грунтовое меженное питание рек. Особенно велико значение этих мероприятий в сочетании с защитными лесонасаждениями, введением правильных севооборотов, снегозадержанием и др.

Устройство прудов и лиманов, проведенное в массовом масштабе, содействует изменению климатических условий засушливых местностей, повышению увлажнения их, особенно в летний период.

Орошение на местном стоке осуществляется самостоятельными небольшими системами и поэтому вполне доступно отдельным хозяйствам и группам хозяйств. Это орошение имеет не сплошной, а выборочный характер, что особенно соответствует районам периодической засушливости.

ОРОШЕНИЕ И ОБВОДНЕНИЕ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ—ПРУДОВ

Условия и месторасположение водохранилищ

Место для устройства водохранилища должно быть выбрано с водосборной площадью, достаточной для получения необходимого стока и обеспечивающей водохранилище наибольшей емкостью, при минимальных длине и объеме плотины и минимальной площади зеркала воды; это дает наименьшую стоимость водохранилища, минимальное затопление полезной сельскохозяйственной площади и наилучшие условия сбережения воды и поддержания должного санитарного режима. Под водохранилище должно быть выбрано место с прочным основанием плотины и достаточно водонепроницаемым грунтом под ложем водохранилища во избежание потерь воды. В случаях водопроницаемых (или трещиноватых) грунтов приходится прибегать к применению антифильтрационных покрытий (слой глины, уплотнение грунта и др.), а иногда и отказываться от данного места. Если в ложе водохранилища выклиниваются ключи, то дебит их должен быть учтен при определении емкости водохранилища и плотину следует расположить ниже выхода ключей.

Важным соображением при выборе створа плотины является также наличие удобного места для сброса излишних паводковых вод.

Продольный уклон балки выше плотины должен быть возможно малым (по возможности, не превышать 0,005), так как малый уклон увеличивает длину и емкость пруда. При выборе места расположения водохранилища для оросительных целей нужно учитывать также следующее.

Местность, где устраивается орошение из пруда, разделяется на две зоны: 1) водосборную зону питания и 2) зону потребления воды; в месте смыкания этих двух зон располагается водохранилище с соответствующим водозаборным сооружением. Первая зона отдает свои воды, стекающие с водосборной площади, в водохранилище; вторая зона получает эти воды из водохранилища и во время поливов отдает почве и растениям. Чем выше по балке расположено водохранилище, тем меньше питающая его водосборная площадь и, следовательно, меньше возможная емкость водохранилища, но тем больше командуемая водохранилищем площадь и, следовательно, больше возможность самотечного орошения.

Возможная величина орошаемой площади из водохранилища на местном стоке определяется при принятом режиме орошения: 1) величиной водосборной площади и запасаемым в водохранилище стоком с этой площади; 2) наличием и расположением пригодных для орошения земель; 3) принимаемой обеспеченностью орошения по годам. Так как в силу изменения климатических условий сток с водосборной площади и необходимая величина оросительных норм по годам колеблются, то изменяется и возможная величина орошаемой площади. Если водохранилище рассчитано на сезонное регулирование стока, то отдача его, а следовательно, и возможная орошаемая площадь в маловодные годы резко уменьшаются; но зато при одинаковой емкости водо-

хранилища может быть больше средняя величина орошаемой площади. Объем потребления при сезонном регулировании не может превышать стока самого маловодного года или года расчетной обеспеченности стока. Чтобы обеспечить возможно бо́льшую устойчивость орошения, независимо от колебаний стока по годам, прибегают, если позволяют условия, к многолетнему регулированию стока.

Многолетнее регулирование стока позволяет зарегулировать определенный процент α среднего многолетнего стока S с нужной обеспеченностью $p\%$ и, таким образом, гарантировать ежегодную отдачу воды для нужд орошения не ниже $\alpha S\omega$ *м*³ в течение $p\%$ общего числа лет, где S — средний многолетний годовой сток с единицы водосборной площади, в *м*³/*га*, а ω — водосборная площадь, в *га*. При средней оросительной норме брутто M *м*³/*га* величина орошаемой площади не ниже $\frac{\alpha S\omega\eta}{M}$ *га* будет обеспечена в течение $p\%$ общего числа лет, а в течение $(100-p)\%$ общего числа лет возможная площадь орошения будет меньше этой величины; в этом выражении η — к. п. д. водохранилища. Чем больше процент обеспеченности p, тем больше должна быть емкость водохранилища для орошения заданной площади (или тем меньше будет площадь орошения при заданной емкости водохранилища).

Однако при многолетнем регулировании стока требуется больший объем водохранилища или снижение орошаемой площади (но с более высокой обеспеченностью).

Чем больше емкость водохранилища (при данном размере и режиме стока), тем больше возможная величина средней орошаемой площади (но с меньшей обеспеченностью покрытия потребления), больше степень полезного использования стока, выше плотина, но меньше стоимость водосбросных сооружений при водохранилище. Поэтому в последние годы рядом авторов для проектирования водохранилищ в степных и лесостепных районах СССР предложен принцип полного регулирования весеннего паводкового стока или создания значительной дополнительной регулирующей емкости в водохранилище (исходя из расчета аккумулирования паводкового стока 0,5—1% обеспеченности), что позволяет избежать устройства или значительно упростить конструкцию паводковых водосбросных сооружений при водохранилищах[1], с заменой их креплеными боковыми водообходами и обеспечением к моменту весеннего снеготаяния достаточной свободной емкости для принятия стока паводковых вод с учетом условий весеннего стока каждого года.

Водохранилища с полным зарегулированием местного стока и отсутствием дорогих водосбросных сооружений дают более низкую стоимость 1 м³ запасенной в них воды, но требуют увеличения высоты плотин и емкости водохранилища (в несколько раз).

Поэтому выбор расчетной обеспеченности стока, емкости водохранилища, размеров орошаемой площади и сезонного или многолетнего регулирования требует технико-экономического анализа соответствующих вариантов.

На 1 *га* орошаемой площади нужно иметь $n = \frac{M}{\alpha S\eta}$ *га* водосборной площади при данных условиях (при определенной обеспеченности). Эта величина n для различных районов и разных годов составляет от 40 до 10; или, иначе, процент орошаемой площади от водосборной колеблется от 2,5 до 10; в Заволжье он около 4—8, в Казахстане —2,5—5.

Таковы факторы, влияющие на возможную величину орошаемой площади и определяемые обеспеченностью водой.

Вторая группа факторов — *размеры пригодных для орошения земель* (по почвенным, гидрогеологическим, топографическим и другим условиям) и их расположение по отношению к водохранилищу. Эти земли могут находиться ниже водохранилища, в зоне его командования, и тогда возможно орошение их самотеком. Если же пригодные земли расположены выше зоны командования водохранилища, нужен механический подъем воды. Плоскость раздела между зоной самотечного орошения и зоной орошения с механическим водоподъемом определяется так.

Для данной водосборной балки строятся кривые (рис. 184), где по оси ординат отложены отметки горизонталей по тальвегу балки, а по оси абс-

[1] См. статьи в журнале «Гидротехника и мелиорация» № 1 за 1953 г. и др. *Прим. автора.*

цисс — соответствующие этим высотам величины: 1) *нижерасположенных и пригодных для орошения площадей* (*кривая А*) и 2) *возможных к орошению площадей по условию обеспеченности водой* (*кривая В*).

На кривой A_1 отложены площади, пригодные для орошения и командуемые отметкой порога водовыпускной трубы при построении плотины в данном створе. Кривая A_1 строится таким образом, что на ней против каждой отметки H откладываются размеры пригодной площади, командуемой отметкой $(H+a)$, где a — высота заложения порога водовыпускной трубы при постройке плотины в створе H. На кривой B против каждой отметки H откладываются приведенные величины водосборной площади, отвечающие отметке H и разделенные на коэффициент n, т. е. отвечающие обеспечению водой по норме M. В месте пересечения кривых A_1 и B находится та отметка H_0 по оси балки, которая определяет створ плотины и при которой площадь, возможная к орошению по наличию стока, совпадает с площадью, пригодной для орошения и командуемой заложенной в плотине водовыпускной трубой, т. е. площадью *0—3*, которая может быть орошена самотеком. Отметка H_0 представляет собой, таким образом, плоскость раздела зон самотечной и механической подачи воды из водохранилища, построенного в створе отметки H_0.

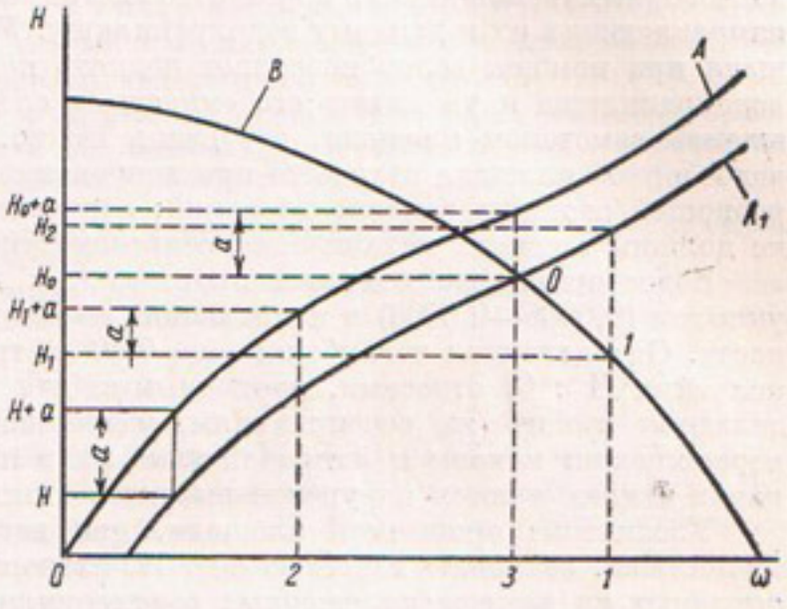


Рис. 184.

При расположении водохранилища на более низких отметках и, следовательно, увеличении его емкости возрастает возможная по обеспеченности водой площадь орошения, но зато не вся эта площадь может орошаться самотеком. Например, при расположении плотины водохранилища на отметке H_1 (рис. 184) возможная к орошению площадь измеряется абсциссой *0—1*, часть этой площади *0—2* может орошаться самотеком, а для орошения остальной площади *2—1* нужен механический подъем воды до отметки H_2. При расположении же водохранилища выше отметки H не вся площадь, которую можно оросить самотеком, будет обеспечена водой.

Фактическое место расположения плотины, кроме указанных условий, определяется также емкостью водохранилища, необходимой для получения требуемой обеспеченности $p\%$ орошения площади ω, и условиями незатопляемости ценных земель, сброса излишних паводковых вод, подачи воды на орошение и т. д.

Емкость, размеры и, следовательно, расположение водохранилища должны быть согласованы с размерами и расположением орошаемых из этого водохранилища площадей. Стоимость водохранилища (плотины и водосбросных сооружений), приходящаяся на каждый гектар орошаемой из этого водохранилища площади, довольно высокая. Поэтому для снижения стоимости орошения 1 *га* необходимо, чтобы полезная ежегодная отдача водохранилища возможно более соответствовала бы размерам и потребностям в воде орошаемых из него площадей, так как только при этом условии будет наиболее эффективным использование собираемой в водохранилище воды.

Пригодность выбранного места для плотины характеризуется также соотношением между размерами (объемом) плотины и емкостью водохрани-

лища. Чем бóльшая емкость пруда приходится на единицу объема тела плотины, тем лучше выбранное место водохранилища.

Для небольших водохранилищ (емкостью до 3 млн. $м^3$) на 1 $м^3$ объема плотины приходится от 15 до 60 $м^3$ емкости; для крупных водохранилищ (емкостью от 40 до 100 млн. $м^3$) на 1 $м^3$ объема плотины приходится от 100 до 200 $м^3$ емкости водохранилища. На 1 $м^3$ емкости водохранилища в более или менее крупных водохранилищах приходится 0,15—0,50 $м^2$ зеркала воды; в мелких это соотношение больше.

Если водосборная площадь невелика по сравнению с потребной площадью орошения, то иногда можно прибегнуть к искусственному увеличению водосборной площади. Это достигается устройством системы редко расположенных водосборных валов-канав, перехватывающих воды соседних водосборов и направляющих их к данному водохранилищу. Увеличение водосборной площади при помощи валов позволяет поднять подпорную отметку горизонта водохранилища и увеличить его емкость, а следовательно, и размеры орошаемой самотеком площади, что очень важно. Искусственное увеличение водосборной площади возможно при непременном согласовании водных потребностей соседних землепользований; перехватывающие сток валы-канавы не должны стеснять механизации сельскохозяйственных работ.

Водосборные валы-канавы проводятся к водохранилищу с малым уклоном (0,0005—0,0008) в направлении горизонталей водосборной поверхности. Они делаются неглубокого (до 0,40 $м$) треугольного сечения с очень пологими (1 : 6) откосами, проходимыми для машин. С низовой стороны делаются такого же сечения валы, удерживающие стекающие воды при переполнении канавы и направляющие их в пруд. Подошвы водосборных канав закладываются на уровне высокого стояния воды в водохранилище.

Увеличение орошаемой площади, при недостатке воды одного водохранилища, возможно также за счет использования избыточных вод, сбрасываемых из вышерасположенных водохранилищ.

Водохозяйственные расчеты орошения на местном стоке

При проектировании водохранилищ на местном стоке необходимо знать: 1) полезный объем воды, потребление которого из данного водохранилища на орошение и хозяйственные нужды должно быть обеспечено на p%; 2) потери воды, которые могут происходить в течение года из данного водохранилища на испарение и фильтрацию; 3) емкость, какую может и должно иметь данное водохранилище, чтобы гарантировать необходимое потребление воды с нужной обеспеченностью (p лет из 100); 4) максимальный приток воды в водохранилище в периоды паводков (весеннего и ливневых) с водосборной площади и условия сброса избыточного притока; 5) условия забора воды на орошение; 6) условия заиления водохранилища и способы борьбы с ним.

Полезный объем потребления воды из водохранилища определяется величиной подлежащей орошению площади, принятым составом культур, необходимым режимом орошения, потребностями в воде на обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение района, обслуживаемого данным водохранилищем.

Режим орошения и величина оросительных норм по годам изменяются в зависимости от климатических условий, запасов влаги в почве с весны и др. Изменения оросительных норм учитываются на основании соображений, изложенных в главе о режиме орошения.

Если водохранилище используется на орошение и водоснабжение, то требуемые объемы воды суммируются. К полезной емкости водохранилища должны быть прибавлены потери воды на испарение и фильтрацию. Учет потерь должен делаться по периодам в зависимости от уменьшения в течение года напора и зеркала воды в водохранилище (по мере забора воды).

Для определения количеств воды, которые могут быть собраны в водохранилище в различные годы, нужно установить размеры водосборной пло-

ницы его (по имеющимся для данной местности подробным картам или непосредственной съемкой) и определить объем поверхностного стока, который может стекать с этой площади в водохранилище в разные годы. Для расчета надо знать величины стока с единицы водосборной площади, зависящие, как известно, от количества и интенсивности атмосферных осадков (или таяния), уклона, характера почвенного и растительного покрова, формы и размеров водосборной площади, условий погоды предшествующей осени и зимы и периода снеготаяния.

Величины годового стока с единицы водосборной площади и его изменения по годам могут быть определены на основании следующих способов:

1) по непосредственным гидрометрическим наблюдениям стока с данного водосборного бассейна за достаточно длительный период времени, если таковые наблюдения имеются;

2) на основе установления корреляционной зависимости между стоком и осадками для данной (или аналогичной по своим условиям) водосборной площади.

Для большинства степных и лесостепных районов СССР, где применяется орошение на местном стоке, в частности для Заволжья, свыше 90% годового стока проходит весной, поэтому весенний сток зависит главным образом от количества зимних осадков и условий таяния.

Модуль, или норма, стока зависит от величины водосборного бассейна, от уклона бассейна и степени распаханности его.

Необходимые зависимости можно найти в работах по гидрологии соответствующих районов и ежегодниках, выпускаемых Управлением гидрометеорологической службы СССР.

3) по картам изолиний среднего многолетнего модуля стока. Такие карты для Европейской части и для всей территории Советского Союза составлены Б. Д. Зайковым[1] и В. А. Троицким[2]. Для Заволжья имеются специальные карты Нижневолгопроекта. Для Украины можно пользоваться картами А. В. Огиевского, для центрально-черноземных областей — картами Гидрологического института[3].

Размеры годового стока имеют большие колебания по отдельным годам, особенно для малых бассейнов. Они увеличиваются в направлении с севера на юг. Годовой сток в малых бассейнах в многоводные годы составляет до 300%, а в маловодные годы снижается до 5% среднего многолетнего стока.

Так как сток в разные годы значительно изменяется, то при определении емкости водохранилищ нужен тщательный анализ условий и размеров стока с водосборной площади его для целого гидрологического периода, охватывающего весь цикл как самых многоводных, так и самых маловодных лет.

Годовой сток для неизученных бассейнов определяется по методу Г. П. Иванова и Б. Д. Зайкова или же по способу, предложенному В. И. Мокляком.

Зная величину водосборной площади и размеры стока с единицы площади за каждый год, можно определить размеры стока с данного водосбора за разные годы.

При *расчете сезонного регулирования стока* должна быть построена кривая распределения стока с данной водосборной площади ω. По этой кривой определяется сток принятой расчетной обеспеченности $p\%$, т. е. ωS_p, и отвечающая ему емкость водохранилища, где S_p — сток с обеспеченностью $p\%$ с единицы водосбора.

Возможная орошаемая площадь Ω определится делением этой величины стока (с учетом потерь) на расчетную оросительную норму брутто, т. е. $\Omega = \frac{\omega S_p \eta}{M_{бр}}$, где η — к. п. д. водохранилища.

Так как наиболее маловодные годы по стоку часто не совпадают с наиболее засушливыми и требовательными по воде годами, особенно в лесостеп-

---

[1] Б. Д. Зайков. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. Л.—М., 1946. *Прим. автора.*

[2] В. А. Троицкий. Гидрологическое районирование СССР. Изд. Академии наук СССР, Л.—М., 1948. *Прим. автора.*

[3] Труды Государственного гидрологического института, вып. 12 (66). Л., 1948. *Прим. автора.*

ных районах, то обеспеченность орошения превышает обеспеченность стока; например, по подсчетам В. В. Трофимова, в условиях центрально-черноземных областей при обеспеченности стока в 80% получается обеспеченность орошения свыше 90%.

Если потребность воды на орошение и обводнение данной земельной площади превышает весенний сток расчетной обеспеченности, то применяют *многолетнее регулирование стока*. При многолетнем регулировании получается более высокая обеспеченность покрытия водопотребления данной площади, но зато требуется и значительно бóльшая емкость водохранилища по сравнению с сезонным регулированием. При проектировании водохранилищ многолетнего регулирования нужно учитывать, что в средние и многоводные годы в этих водохранилищах задерживается больше воды, чем требуется на орошение данной площади, и вследствие этого накапливаются избыточные запасы воды, вызывающие большой сброс паводковой воды

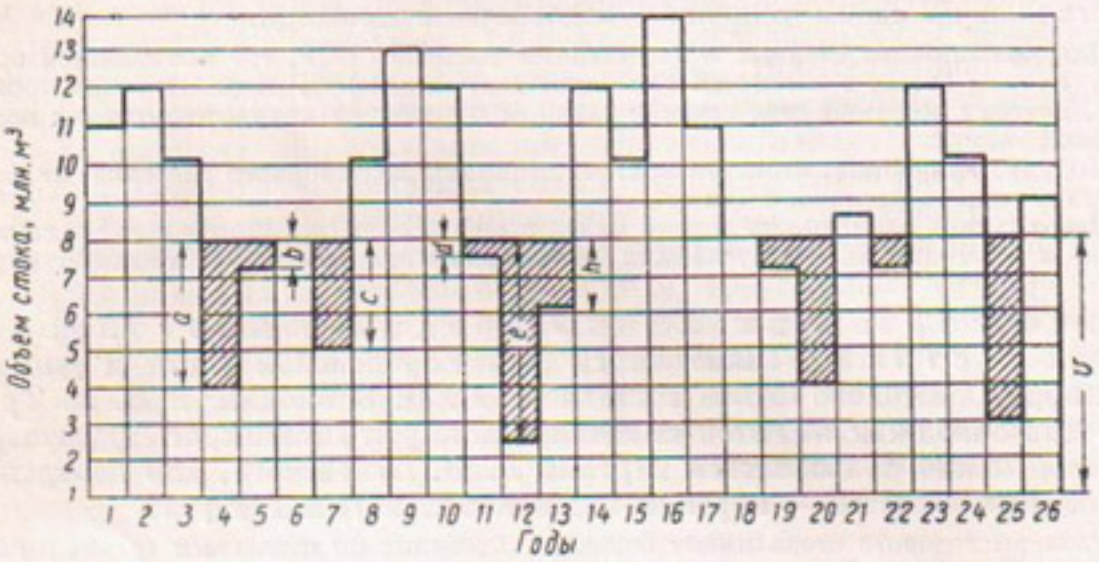


Рис. 185.

увеличиваются потери воды из водохранилища; в то же время общая средняя орошаемая площадь значительно уменьшается (хотя и имеет более высокую обеспеченность водопотребления).

При расчете многолетнего регулирования стока для орошения необходимо установить нужную емкость водохранилища, которая позволяла бы получать ежегодно определенную отдачу воды (определенный зарегулированный сток αS_0) с нужной при данных условиях обеспеченностью $p\%$. Эта задача может быть решена двояко: методом анализа и последовательного суммирования ежегодного поступления (стока) воды в водохранилище и ежегодного расхода воды из него (на полезное потребление плюс потери) или методом математической статистики.

Метод последовательного суммирования по годам прихода и расхода воды в водохранилище более надежен, но может быть применим в тех случаях, когда имеются данные по определению стока за достаточно длинный последовательный ряд лет (с поправками на изменения стока под влиянием хозяйственных мероприятий в данном бассейне).

Зная размеры стока с водосборной площади за последовательный ряд лет, с одной стороны, и годовые объемы потребления воды плюс потери из водохранилища — с другой, нужно сопоставить обе эти величины за каждый год. Это сопоставление покажет, в какие годы будут избытки или недостатки воды и размеры их и, следовательно, позволит установить нужную емкость водохранилища.

Например, на рисунке 185 показан весенний сток за каждый год 26-летнего периода и нанесена линия, показывающая потребность на каждый год (полезная отдача водохранилища плюс все ежегодные потери воды в нем)[1]. Как видно из рисунка, чтобы покрыть дефицит стока в 11, 12 и 13-й годы, надо, чтобы в предшествующие влажные 8, 9 и 10-й годы водохранилище наполнилось до объема $V+d+e+h$; если сумма $d+e+h<a+e+c$, то емкость водохранилища должна быть равной $V+a+b+c$, где a, b и c — дефицит стока в предшествующие годы (4, 5 и 7-й).

[1] Для простоты примера принято постоянное среднее потребление воды по годам; фактически водопотребление по годам изменяется. *Прим. автора.*

Емкость водохранилища многолетнего регулирования при достаточном числе данных по стоку может быть определена также путем построения суммарных кривых притока воды в водохранилище и расхода воды из него по годам (это построение делается по общему методу). Сопоставление суммарных кривых дает как объем воды, подлежащий задержанию в водохранилище, так и избыточные объемы, подлежащие сливу из водохранилища через водосбросные сооружения.

Полная емкость водохранилища многолетнего регулирования должна быть равна объему полезного годового потребления воды на орошение и водоснабжение со всеми потерями плюс наибольшая величина дефицита стока в маловодные годы (несколько дефицитных лет подряд), наблюдающаяся за весь рассматриваемый гидрологический период (не меньше 30—40 лет), плюс мертвый объем водохранилища.

Если материалы по стоку на данном бассейне имеются за непродолжительный период времени, водохозяйственные расчеты орошения на местном стоке приходится вести на основании *методов математической статистики.*

Одним из этих методов является следующий.

Для данного бассейна устанавливаются средний многолетний сток с его водосбора S_0 и изменчивость годового стока, т. е. коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s.

Чтобы охватить влияние непосредственно следующих друг за другом нескольких маловодных годов, колебания стока характеризуются не по отдельным годам, а по периодам в n последовательных лет, для которых

$$C_{vn}=\frac{C_v}{\sqrt{n}} \quad \text{и} \quad C_{sn}=\frac{C_s}{\sqrt{n}}.$$

По найденным C_{vn} и C_{sn} (при разных n) находятся средние для периодов по n лет значения модульных коэффициентов K_n разной обеспеченности:

$$K_n=1+\Phi C_{vn},$$

где Φ — коэффициент Фостера, соответствующий нужной обеспеченности.

Если коэффициент зарегулирования стока равен α и ежегодная отдача водохранилища должна составлять αS_0, то дефицит объема стока за период в n лет при принятой обеспеченности $p\%$ и при переменных нормах водопотребления по годам и необходимая емкость многолетнего регулирования $V_м$ могут быть определены по следующему выражению:

$$V_м=(\alpha-K_n)\,nS_0-\alpha\,(1-m_n)\,nS_0=(\alpha m_n-K_n)\,nS_0,$$

где m_n — модульный коэффициент норм потребления воды за n-летний период при заданном (80—90) проценте покрытия потребления, т. е. при 20—10% обеспеченности. При расчете орошаемой площади по нормам среднего года $m_n>1$; при расчете же по нормам сухого года значение $m_n<1$.

Емкость многолетнего регулирования должна быть определена для разных значений n и α при каждой обеспеченности $p\%$ и одинаковом покрытии потребления.

Максимальное значение $V_м$ из полученных таким образом величин определит ту емкость многолетнего регулирования и ту продолжительность периода регулирования n, какие необходимы, чтобы зарегулировать сток на $\alpha\%$ при обеспеченности $p\%$.

Необходимая емкость сезонного регулирования равна:

$$V_c=\alpha S_0,$$

за вычетом воды, поступающей в водохранилище в вегетационный период; V_c равна $(0{,}8\div0{,}9)\,\alpha\,S_0$.

Полная емкость регулирования (т. е. объем сливной призмы водохранилища) должна быть равна:

$$V=V_м+V_c=(\alpha m_n-K_n)\,nS_0+\alpha S_0.$$

Полный объем водохранилища при коэффициенте зарегулирования стока α должен быть:

$$V_\alpha=V+V_0,$$

где V_0 — «мертвый» объем водохранилища.

Таким методом определяется полный объем водохранилища, позволяющий гарантировать ежегодную отдачу воды не ниже αS_0 м³ в течение $p\%$ общего числа лет работы водохранилища. Далее возникает задача определения наивыгоднейших при данных условиях значений α и p, которая решается следующим приемом.

По вышеизложенному методу определяются необходимые объемы водохранилища V при разных значениях p и α.

Каждому значению коэффициента зарегулирования стока α при данной обеспеченности p соответствуют свои значения n и V (дающие максимум $V_м$).

Наиболее выгодным является тот коэффициент зарегулирования (при определенном p), при котором получаются: 1) наибольшая полезная отдача водохранилища и, следовательно, наибольшая возможная величина орошаемой площади; 2) достаточно малая площадь затопления по сравнению с орошаемой площадью; 3) приемлемое значение удельной емкости водохранилища (и плотины) на 1 *га* орошаемой площади.

Полезная отдача водохранилища при коэффициенте зарегулирования стока α равна

$$\alpha S_0 - E_\alpha,$$

где E_α — потери воды из водохранилища на испарение и фильтрацию, отвечающие объему этого водохранилища V_α.

Величина потерь воды, особенно при плоской чаше водохранилища, может лимитировать значение α, так как при увеличении значения α и объема водохранилища V потери могут возрастать быстрее увеличения α и полезная отдача воды будет уменьшаться. Величина потерь воды из водохранилища определяется следующим выражением: $E_\alpha = F_\alpha h$, где F_α — средняя рабочая площадь зеркала водохранилища, определяемая по кривым зависимостей $V = f(H)$ и $F = \varphi(H)$ для среднего объема, равного $\left(V_0 + \frac{V_\alpha}{2}\right)$ при коэффициенте зарегулирования α; h — слой потерь воды из водохранилища на испарение и фильтрацию за сезон.

Таким образом, для разных значений α (при одной и той же обеспеченности p) могут быть найдены размеры полезной отдачи водохранилища и возможная величина орошаемой площади:

$$\omega_\alpha = \frac{\alpha S_0 - E_\alpha - W}{M_{бр}},$$

где $M_{бр}$ — средняя величина оросительной нормы (брутто);

W — забор воды из данного водохранилища на водоснабжение.

Если при неизменном объеме водохранилища будем увеличивать отдачу его и размеры орошаемой площади, то процент обеспеченности снизится.

Площади затопления при разных значениях α определяются следующим образом. Каждому значению α соответствует объем водохранилища V_α. По кривой зависимости $V = f(H)$ для чаши водохранилища находим для каждого объема V_α соответствующие ему отметки подпорного горизонта H_α (с прибавкой к нему, в случае надобности, толщины регулирующего слоя на пропуск паводковой воды через водохранилище); по этим отметкам H_α по карте местности в горизонталях находим площади затопления при разных значениях α. Зная отметки подпорного горизонта H_α, по ним устанавливаем отметки гребня и, следовательно, размеры и стоимость плотины, отвечающие разным коэффициентам зарегулирования стока α.

На основании полученных данных может быть установлена наивыгоднейшая степень зарегулирования стока α и наивыгоднейшие размеры водохранилища при каждой обеспеченности отдачи p%. Однако при окончательном установлении α надо учитывать и конкретные местные условия, которые могут ограничивать величину α, а именно: а) геологические и топографические условия, не подходящие для устройства высокой плотины; б) затопление ценных земель; в) недостаток в данном месте пригодных для орошения земель.

Таким образом, для разных значений обеспеченности стока p будут найдены наивыгоднейшие значения α и отвечающие ему объемы водохранилища.

На основании этих данных можно выбрать наивыгоднейший процент обеспеченности p, на который и должны быть рассчитаны проектируемое водохранилище и орошение из него.

Наивыгоднейшей будет та обеспеченность p%, которая определит бо́льшую площадь орошения при меньшей площади затопления и меньшей стоимости плотины, лучше обеспечивает наибольшую народнохозяйственную эффективность орошения за рассматриваемый период времени N лет и получение определенных гарантированных урожаев в сухие годы.

Метод математической статистики в приложении к расчетам орошения на местном стоке позволяет вести эти расчеты при недостатке непосредственных наблюдений стока, но он не учитывает будущих изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности (введение правильных севооборотов, создание лесонасаждений и др.). Это влияние должно быть учтено при принятии окончательных расчетных величин.

После того как на основании изложенного метода выбран наилучший вариант, следует сделать окончательные расчеты путем непосредственного анализа динамики баланса воды в данном водохранилище за последовательный ряд лет. Для этого должны последовательно по годам и месяцам суммиро-

ваться все поступления воды в водохранилище и расходы воды из него, с учетом изменения приходных и расходных факторов стока и водопотребления под влиянием мероприятий по созданию лесонасаждений и введению севооборотов. Поступления воды в водохранилище слагаются из: а) стока с водосбора; б) атмосферных осадков на зеркало воды; в) возвратных оросительных вод с расположенных выше орошаемых площадей; г) сбросов воды из вышерасположенных водохранилищ. Последние два источника не всегда имеют место.

Расходы воды из водохранилища слагаются из: д) потребления воды на орошение и водоснабжение; е) потерь воды на испарение и фильтрацию; ж) сбросов избытков воды из водохранилища.

Изменение объема водохранилища равно (а+б+в+г) — (д+е+ж).

Все расчеты могут быть сведены в таблицу по следующей форме.

Год	Месяц	Объем воды в начале месяца	Поступление воды			Сброс из водохранилища	Расход воды из водохранилища									Остаток воды в водохранилище в конце месяца
							потери				полезное потребление				потери плюс потребление	
											орошение					
			сток с водосбора и осадки	возвратные воды и сбросы сверху	итого		отметки зеркала воды	средняя площадь зеркала	слой потерь	объем потерь	площадь	объем воды	водоснабжение	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Сброс из водохранилища равен объему воды в начале месяца плюс приток за данный месяц и минус полный объем водохранилища, т. е. (7) =(3)+ +(6) — V (цифры в скобках показывают номер графы в таблице).

Размеры возможной к орошению площади определяются следующим образом: из объема водохранилища к началу оросительного сезона V надо вычесть мертвый объем, потребление воды на водоснабжение и потери за оросительный сезон и полученную таким образом отдачу водохранилища данного года разделить на принятую для этого года оросительную норму брутто. Потери воды (11) за каждый месяц определяются по зеркалу воды, соответствующему наполнению водохранилища в начале месяца и интенсивности потерь в этом месяце.

Остаток воды в конце месяца (17) равен объему в начале месяца плюс приток минус сброс, потребление и потери за этот месяц, т. е. (17) =(3)+ +(6)—(7)—(16). Остаток воды в конце месяца составляет объем водохранилища в начале следующего месяца и поэтому выписывается также в соответствующую строчку графы (3).

Нормальный горизонт наполнения водохранилищ

Возможную емкость и зеркало водохранилища определяют путем построения кривых объемов и зеркала водохранилища в зависимости от глубины воды у плотины, на основе подробной нивелировки ложа водохранилища[1].

Общий вид кривых объема водохранилищ представлен на рисунке 186; тип *I* кривых соответствует водохранилищам в глубоких долинах, тип *III* — в пологих долинах; тип *II* занимает среднее положение.

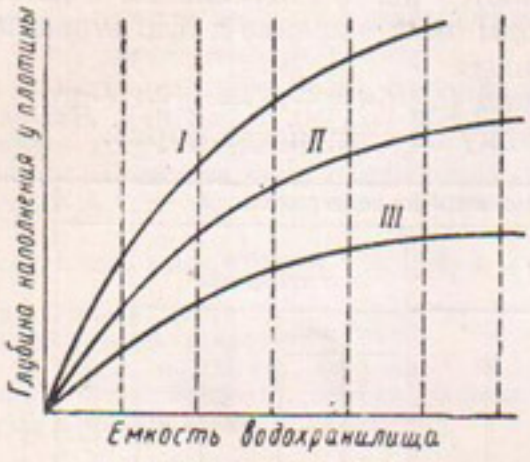


Рис. 186.

Имея кривую емкости (и зеркала воды) водохранилища в зависимости от глубины наполнения его, можно установить нормальный проектный горизонт наполнения водохранилища.

Этот горизонт должен быть назначен с таким расчетом, чтобы:

1) соответствующая ему емкость водохранилища была не меньше установленной необходимой;

2) не затоплялись ценные земельные площади;

3) водохранилище имело достаточный мертвый объем, служащий для отложения наносов;

4) горизонт воды был не выше залегания трещиноватых и водопроницаемых пород;

5) было удобное место для устройства водосброса.

Отметка горизонта наполнения водохранилища (рис. 187) равна $H+a+h=A+LI+h$, где H — отметка основания плотины; a — наибольшая высота мертвого объема; h — наибольшая полезная глубина наполнения в створе плотины; A — высшая отметка орошаемой площади самотеком; LI — падение холостой части магистрального канала.

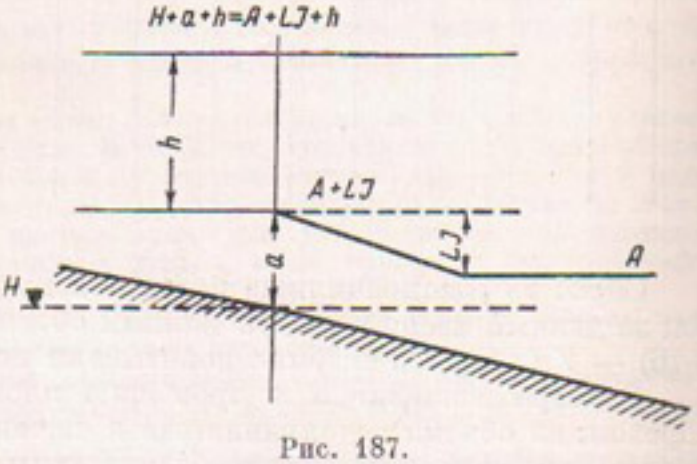


Рис. 187.

Чем ниже отметка H, тем больше может быть величина h, т. е. крупнее водохранилище, но тем меньше возможная площадь самотечного орошения, больше затопляемая площадь и больше площадь орошения с механическим водоподъемом.

Мертвый объем водохранилища определяется из следующих соображений: а) горизонт его должен лежать на уровне заложения водовыпускного сооружения из водохранилища и определяется поэтому условиями командования; б) емкость его должна быть достаточной для отложения наносов, поступающих в водохранилище за длительный период его работы, чтобы не было быстрого заиления; в) слой воды должен быть не менее 1,5—2 *м*, чтобы предохранить ложе водохранилища от промерзания грунта зимой и образования трещин.

Чем выше горизонт мертвого объема, тем больше командуемая площадь, но зато тем выше горизонт наполнения водохранилища и, следовательно,

---

[1] Приближенно определение объема и площади зеркала водохранилища может быть сделано на основе промеров только нескольких основных размеров (см. «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1952, статья П. П. Кочеткова). *Прим. автора.*

выше плотина и больше затопляемая площадь или же меньше полезная емкость водохранилища; все эти условия надо учитывать при назначении горизонта мертвого объема.

Размеры мертвого объема должны быть достаточны для предохранения водохранилища от быстрого заиления. Если средний ежегодный объем наносов, поступающих в данное водохранилище с его водосбора, составляет W *м*³, а приемлемый срок службы водохранилища T лет, то мертвый объем водохранилища V_0 должен быть равен $V_0 \geqslant WT$.

Отметка гребня плотины должна быть равна отметке нормального горизонта плюс наибольший сток воды, проходящий через водослив, плюс некоторый запас, превосходящий высоту образующихся на поверхности водохранилища волн. Высота волны $C = 0{,}0208\, v^{1{,}25}\, L^{0{,}33}$ *м*, где L — длина зеркала воды, *км*, v — скорость ветра, *м/сек* (формула В. Г. Андреянова) (ГОСТ 3255-46).

По исследованиям Б. В. Полякова (для водохранилищ Заволжья), годовой объем взвешенных наносов со всего водосбора равен:

$$W = \alpha I q \omega \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{\beta}{\gamma_2} \right) K \ м^3,$$

где I — уклон водосбора;
α — коэффициент, равный 2—4, в зависимости от размываемости почвы водосбора;
q — средний годовой модуль стока в *л/сек* с 1 *км*² водосбора;
ω — водосборная площадь, в *км*²;
γ_1 — объемный вес взвешенных наносов, отложившихся в воде; $\gamma_1 = 500$ *кг/м*³;
γ_2 — объемный вес донных наносов, отложившихся в воде; $\gamma_2 = 1300 - 1500$ *кг/м*³;
β — часть стока донных наносов от стока взвешенных; $\beta = 0{,}03 - 0{,}10$;
$K = 31{,}5 \cdot 10^6$ — число секунд в году.

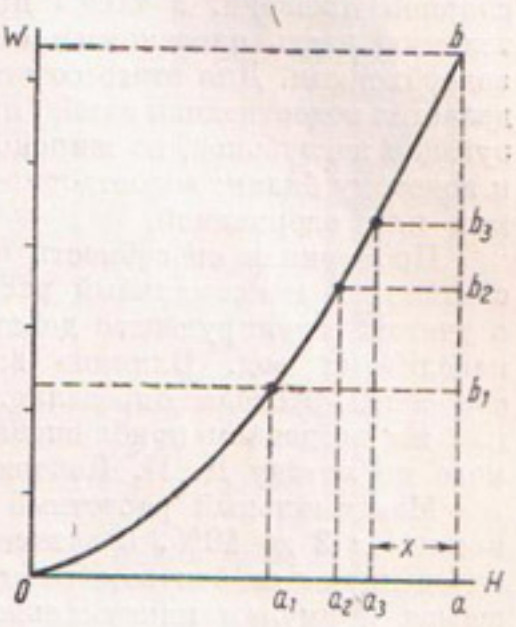


Рис. 188.

Интенсивность заиления прудов в Каменной степи (Воронежская область) составляет от 3 до 10 *см* в год, причем на прудах, окруженных лесными полосами, заиление составляет 3—4 *см*, а на необлесенных 5—10 *см* в год [1].

Для предохранения водохранилища от заиления и уменьшения мертвого объема его необходимы: задержание наносов на водосборе и недопущение их в водохранилище; правильные севообороты, создание лесных и кустарниковых насаждений на водосборе, устройство лесных полос шириной 15—30 *м* вокруг водоема в 15—20 *м* от уреза воды; укрепление оврагов и другие меры по борьбе с эрозией.

Динамика работы водохранилища, т. е. изменения объемов и горизонтов воды в нем, и возможного потребления воды изображается обычно графически. Строится график зависимости емкости пруда W от глубины воды в нем H (рис. 188); на этом графике емкость пруда при нормальном наполнении (абсцисса Oa) определяется ординатой ab; мертвый объем измеряется ординатой ab_1 и полезная емкость — bb_1. Если приток воды в пруд за летнее время дает объем воды bb_2, а потери воды на испарение и фильтрацию составляют за это время слой воды x и объем воды bb_3, то объем возможного потребления воды из пруда W_b будет измеряться суммой отрезков: $W_b = bb_1 + bb_2 - bb_3 = bb_1 + b_2b_3$.

Пользуясь этим графиком, можно установить изменения объемов и горизонтов воды в водохранилище во времени (время откладывается по оси абсцисс), по мере забора воды на орошение и потерь на испарение.

---

[1] Наиболее полные данные по стоку наносов для территории СССР можно найти в книге: Г. И. Шамов. Речные наносы. Гидрометеоиздат, Л., 1959.

Сбросные и водозаборные сооружения

Водохранилище имеет обычно два сооружения: *сбросное* — для отвода излишних паводковых вод, и *водозаборное* — для забора воды из водохранилища на орошение и водоснабжение.

Для сброса из водохранилища всех избыточных вод (главным образом весенних паводков и ливней), не вмещающихся в пределах нормальной емкости водохранилища (не выше нормального наполнения), устраиваются специальные сбросные сооружения — *водосливы и водоспуски*. Конструкции и условия применения тех и других рассматриваются в курсе гидротехнических сооружений.

При некрупных водохранилищах, имеющих небольшую величину водосборной площади, а также при водохранилищах, задерживающих значительную часть паводкового стока, водосливы иногда заменяют боковыми водообходами. Для этого со стороны более пологого берега водохранилища делается водоотводная дамба, представляющая продолжение плотины и образующая неглубокое, но широкое русло (10—40 *м*), отводящее лишние воды к водотоку балки; водоотводное русло крепится мостовой в плетневых клетках или одерновкой.

Пропускная способность водосливов и водоспусков должна быть рассчитана на максимальный расход проходящих через них паводковых вод с учетом регулирующего действия водохранилища, задерживающего часть паводковых вод. Влияние водохранилища на величину максимального сбросного расхода определяется аналитическим или графическим путем или же введением приближенного поправочного коэффициента, определяемого по методу Д. И. Кочерина[1].

Максимальный расчетный расход паводковых вод нужной обеспеченности (от 2 до 10%, в зависимости от размеров и значения сооружений) определяется на основе обработки имеющихся наблюдений или же по имеющимся формулам максимального стока (Б. Д. Зайкова, Д. Л. Соколовского и др.).

Водосбросы при водохранилищах являются очень ответственными сооружениями; неправильное устройство их может вызвать разрушение всего водохранилища; на надежность водосбросов должно быть обращено большое внимание.

Как известно, расходы ливневых паводков с небольших водосборов выше, чем весенних, но продолжительность их очень мала. Если расчет водосброса вести на зарегулированный расход ливневого паводка, то требуются бо́льшие размеры водосброса, чем при расчете на весенний паводок (так как $Q_{\text{лив}} > Q_{\text{вес}}$); стоимость сооружения при этом увеличивается. Если же расчет водосброса вести на зарегулированный расход весеннего паводка, то размеры водосброса могут быть меньше (так как $Q_{\text{вес}} < Q_{\text{лив}}$), но зато необходимо увеличение высоты и, следовательно, стоимости плотины для того, чтобы увеличить регулирующую емкость пруда и высоту сливной призмы. Для окончательного выбора расчетного паводкового расхода водосбросного сооружения (ливневого $Q_{\text{лив}}$ или весеннего $Q_{\text{вес}}$) необходимо сравнение обоих этих вариантов. Объем сливной призмы, при котором зарегулированные расходы ливневого и весеннего паводка становятся равными, по данным Ю. Э. Казарновского, равен $W \approx S_{\text{лив}} \left(1 - \frac{Q_{\text{вес}}}{Q_{\text{лив}}}\right)$, где $S_{\text{лив}}$ — объем ливневого стока; $Q_{\text{вес}}$ и $Q_{\text{лив}}$ — максимальные расходы весеннего и ливневого стока 10% обеспеченности.

В плотинах водохранилищ устраивают также *донные водоспуски*, используемые для спуска всего объема водохранилищ. Это необходимо для обмена воды и улучшения ее качества, а также для облова рыбы, если водохранилище используется для рыборазведения. Устройство донных водоспусков должно быть обосновано с точки зрения допустимости опоражнивания водохранилища при данных гидрологических условиях.

Для забора воды из водохранилища на орошение и водоснабжение устраиваются специальные *водозаборные* (*водовыпускные*) *сооружения*.

---

[1] М. В. Потапов. Сочинения, т. III. Сельхозгиз, М., 1951.

Если вода подается для орошения склонов балки ниже плотины самотечным каналом, водовыпускное сооружение делается в виде трубы (рис. 189), закладываемой в теле плотины или в склоне балки в материковом грунте.

Труба рассчитывается на пропуск тех наибольших расходов воды, какие нужно подавать в магистральный канал оросительной системы. С низовой стороны трубы делается успокоительный бассейн, из которого вода и поступает в канал.

В небольших прудах вместо трубы для выпуска воды применяют сифоны.

Для успешной работы сифона, кроме полной герметичности его, необходим напор не меньше 0,25 *м*.

Применение переносных сифонов позволяет также увеличивать подачу воды в канал, если пропускная способность постоянной трубы оказывается в некоторые моменты недостаточной, чтобы орошать более высокие площади, на которые вода не может быть подана через низкозаложенные водоспускные трубы.

Если вода подается на орошение земель, расположенных выше зеркала воды в водохранилище, водозабором является водоприемное сооружение насосной станции.

Насосная станция может располагаться и ниже плотины водохранилища и питаться попусками из водохранилища.

Капитальная стоимость водохранилища на единицу орошаемой площади составляет:

$$C = \frac{W_p a M}{V \eta},$$

где M — оросительная норма брутто;

a — стоимость тела плотины (со всеми устройствами в ней) на 1 $м^3$ рабочей (полезной) емкости водохранилища;

W_p — рабочая емкость водохранилища;

V — ежегодная отдача водохранилища;

η — коэффициент полезного использования воды из данного водохранилища; он тем больше, чем меньше потери воды и мертвый запас.

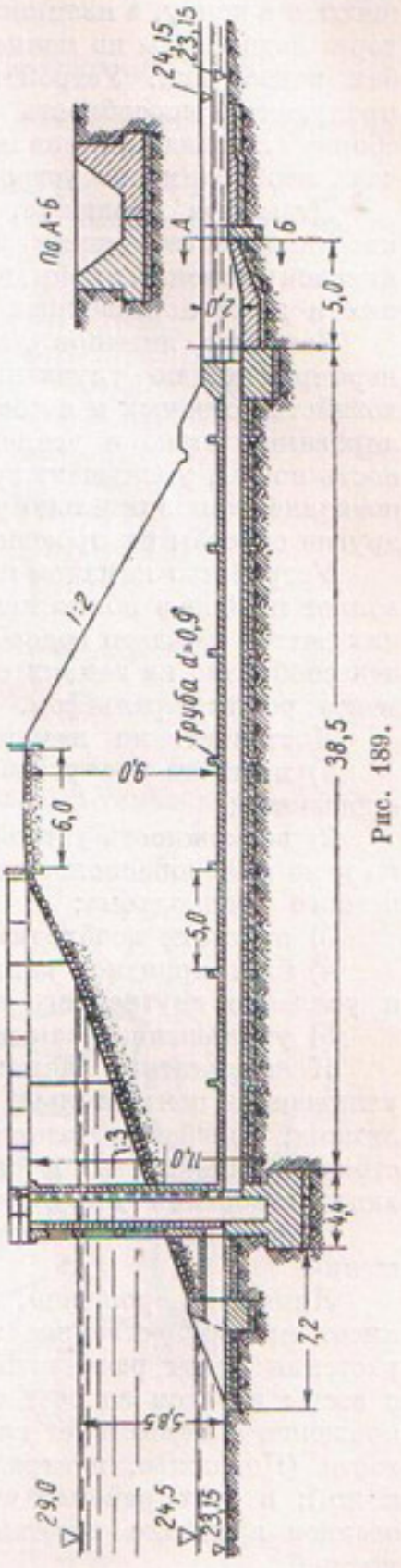


Рис. 189.

Стоимость водохранилища составляет от 30 до 70% стоимости орошения на местном стоке. Для снижения стоимости водохранилища большое значение имеет выбор места и типа плотины и сбросных сооружений и наиболее рациональный способ производства строительных работ.

Для снижения стоимости водохранилища на 1 *га* орошения необходимо уменьшать стоимость строительства его на единицу полезной емкости и увеличивать ежегодную отдачу водохранилища и коэффициент полезного использования воды.

При проектировании водохранилищ для орошения нужно учитывать и потребности водоснабжения, а также рыбохозяйственные, санитарные и противомалярийные мероприятия.

ЛИМАННОЕ ОРОШЕНИЕ

Второй вид использования вод местного стока на орошение представляет лиманное орошение. Оно основано на однократной (весенней) влагозарядке орошаемой почвы путем задержания весеннего стока — талых

вод[1]. На подлежащей орошению площади при помощи устройства валов или дамб задерживаются стекающие с водосбора (или сбрасываемые из водохранилища) весенние талые или паводковые речные воды, которые поглощаются в почву, а излишние воды, не вмещающиеся в лимане, сбрасываются через водообходы по концам боковых дамб и специально устроенные в дамбах водоспуски. Устройство боковых водообходов позволяет уменьшать пропускную способность водоспусков, а при небольших размерах водосборной площади лимана по сравнению с емкостью его в ряде случаев исключает необходимость устройства водоспусков.

Лиманное орошение, при котором почва увлажняется затоплением паводковыми (весенними) водами, можно в некоторой мере уподобить созданию искусственных пойм, но расположенных не только в нижних, но и в средних и даже повышенных частях рельефа.

Создание лиманов является важной составной частью в комплексе мероприятий по улучшению природных условий и поднятию сельского хозяйства степных и лесостепных районов, так как оно содействует зарегулированию стока и усилению внутреннего влагооборота, повышает влажность почвы, уменьшает эрозию ее. Лиманное орошение во многих случаях позволяет дополнительно увлажнять лесные посадки там, где не применимы другие способы их орошения.

Устройство лиманов на водоразделах и верхних частях склонов позволяет наиболее полно использовать воды местного стока, начиная с верхних частей каждого водосборного бассейна. Лиманное орошение наиболее целесообразно на землях с небольшим уклоном (0,001—0,002) и более или менее ровным рельефом.

Достоинствами лиманного орошения являются:

1) простота его устройства и дешевизна по сравнению с регулярным орошением;

2) возможность устройства лиманов не только в нижних частях долин, но и на высокорасположенных склонах и плато и орошения их без механического водоподъема;

3) простота необходимых сооружений и эксплуатации;

4) благоприятное влияние на весенний сток — уменьшение половодий и усиление внутреннего влагооборота;

5) уменьшение размывов почвы и роста оврагов.

К недостаткам лиманного орошения следует отнести: возможность увлажнения почвы только весной; неравномерность увлажнения по площади лимана; колебания затопляемой площади по годам вследствие колебаний стока; возможность, в определенных почвенно-гидрогеологических условиях, засоления окружающих лиманы площадей.

Однако эти недостатки не умаляют большого значения лиманного орошения.

Лиманное орошение, как однократная весенняя влагозарядка почвы, имеет преимущественное значение в таких климатических условиях, где растения могут развиваться за счет аккумуляции в почве запасов влаги с весны и затем за счет естественных летних осадков. Поэтому лиманное орошение соответствует главным образом районам периодической засушливости (Поволжье, центрально-черноземные области, Украина, Казахстан и др.); в этих районах очень часто наблюдаются дефициты естественных осадков в начале вегетационного периода, отрицательно влияющие на урожай.

Особенно большое значение лиманное орошение имеет для поднятия урожаев трав, зерновых культур, создания пастбищ и обеспечения устойчивой кормовой базы для развития животноводства.

---

[1] В южных районах Казахстана лиманное орошение делается два раза в году: ранней весной талыми водами и в периоды таяния ледников в горах — паводковыми речными водами. *Прим. автора.*

Урожаи естественных луговых трав (особенно корневищных злаков — пырея, костра, мятлика и др.) и сеяных многолетних злаковых и бобовых трав на лиманах повышаются в 4—7 раз по сравнению с урожаями на сухих лугах. Урожаи сена на лиманах достигают 50—60 *ц*, в благоприятных случаях 100 *ц* с гектара. Некоторые полевые культуры также отзывчивы к лиманному орошению.

Виды лиманов и условия их применения

Существующие разнообразные виды лиманов можно разделить на три основных типа.

I. Лиманы, наполняющиеся непосредственно талой снеговой водой, стекающей с вышележащего водосбора,— лиманы непосредственного наполнения. Этот тип лиманов, в свою очередь, можно разделить на два вида.

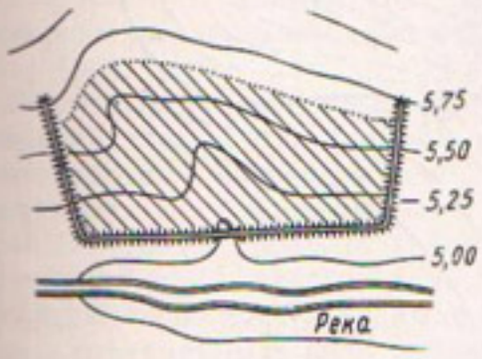


Рис. 190.

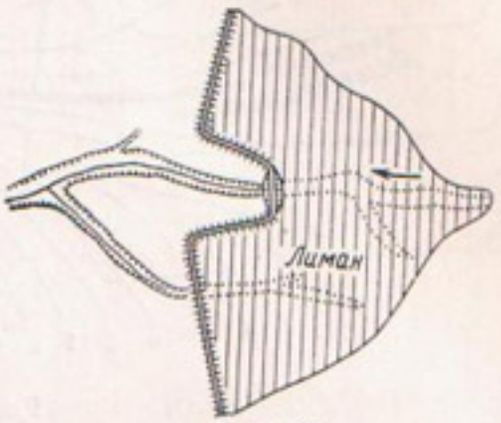


Рис. 191.

А. Лиманы, устраиваемые на пологих склонах долин и балок: а) продольные, у которых главная дамба расположена вдоль оси тальвега (рис. 190); б) поперечные, у которых главная дамба расположена перпендикулярно к оси тальвега, т. е. пересекает плоскую часть долины поперек, переходя тальвег более высокой насыпью (рис. 191); в) комбинированные, когда часть площади имеет поперечные дамбы, а часть — продольные.

Б. Лиманы, устраиваемые на плато, в естественных пологих понижениях рельефа и в западинах стока; такие лиманы могут иметь кольцеобразную форму. Система кольцеобразно расположенных дамб (рис. 192 — по Б. А. Шумакову) распределяет стекающие в западину весенние воды более или менее равномерно по пологим склонам, образуя обширные затопляемые площади, причем затопление идет сверху вниз; при малом стоке без воды остаются самые пониженные места.

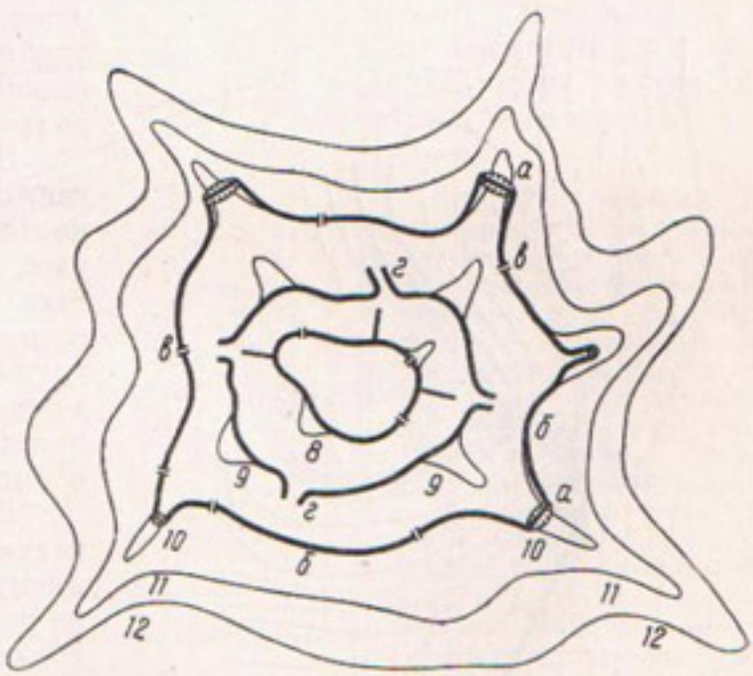


Рис. 192.

а—плотники; *б*—дамбы; *в*—водоспуски; *г*—водообходы; *8—12*—горизонтали.

Недостатком лиманов непосредственного наполнения снеговой водой является большая зависимость их площади от количества стока и колебания его по годам.

II. Лиманы, наполняющиеся водами из водохранилищ через особый водоспускной канал или через водообход (рис. 193 и 194) при плотине или из обводнительных каналов. Вода, после наполнения водохранилища, сбрасывается через водообход или водослив-

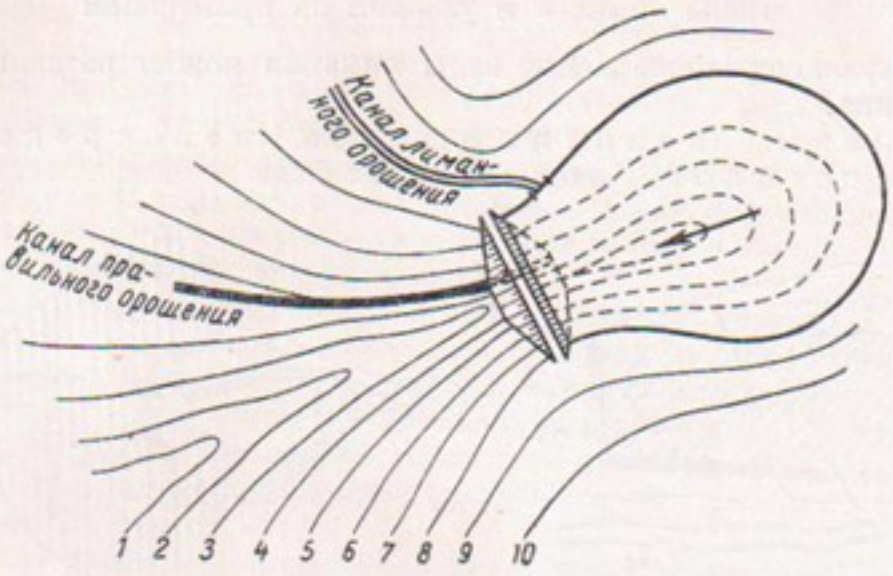


Рис. 193.

ный канал не в балку, а в лиман, и лишь вода, не вмещающаяся в лимане, сбрасывается ниже в балку. Таким путем можно использовать избыточную воду вместо сброса ее.

Устройство лиманов при водохранилищах целесообразно, когда объем водохранилища не может вместить всего количества стекающей в него воды, даже в маловодные годы, и когда удобная для устройства лимана площадь расположена вблизи водохранилища.

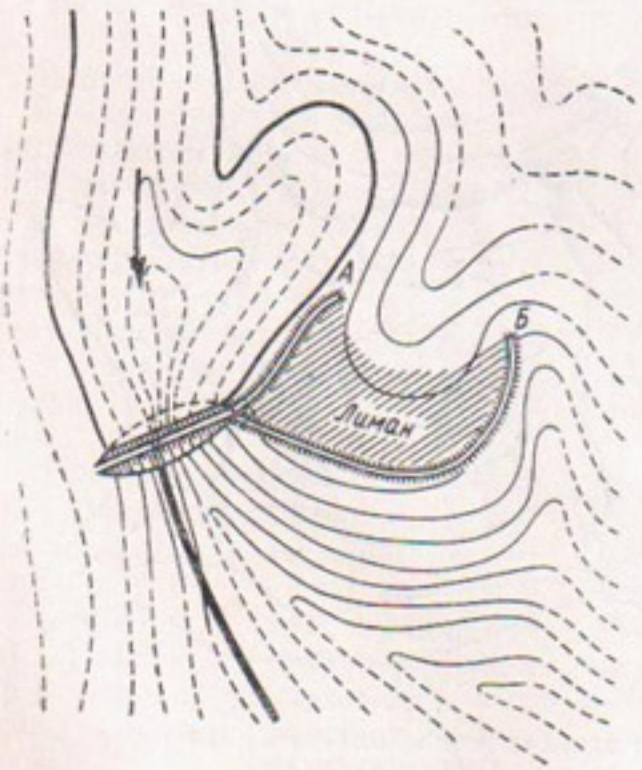


Рис. 194.

В некоторых случаях для питания лиманов может быть использована вода из обводнительных или оросительных каналов (рис. 195), выведенных из реки специально для этой цели или попутно и для других целей, причем должна быть учтена потребность в воде для заполнения лиманов в определенный срок.

Вода из канала через шлюзы-регуляторы поступает на затопляемую площадь и распределяется по ней при помощи системы валов, образующих лиманы глубокого или мелкого затопления (рис. 194). При крупных площадях лиманного орошения от главного канала отводятся боковые распределительные каналы, из которых вода и поступает в лиманы. Лиманы, получающие воду из каналов, допускают раздельное наполнение их, что позволяет лучше увязывать сроки затопления со сроками обработки и посева различных культур.

III. Пойменные лиманы, устраиваемые в естественных незатопляемых или малозатопляемых поймах.

Пойменные лиманы можно разделить на две главные группы: 1) без регулирования затопления пойменных земель и 2) с регулированием этого затопления в определенных пределах. В первом случае для затопления пойм устраивают водоподпорную плотину на реке и боковые дамбы, направляющие воду из верхнего бьефа плотины на пойму; при этом имеющиеся в пойме низины и водотоки также перекрываются дамбами. В зависимости от уклона и рельефа реки и поймы наибольшие площади затопляемых земель в пойме образуются вверх от плотины или же вниз по течению реки (по одну или обе стороны ее) (рис. 196).

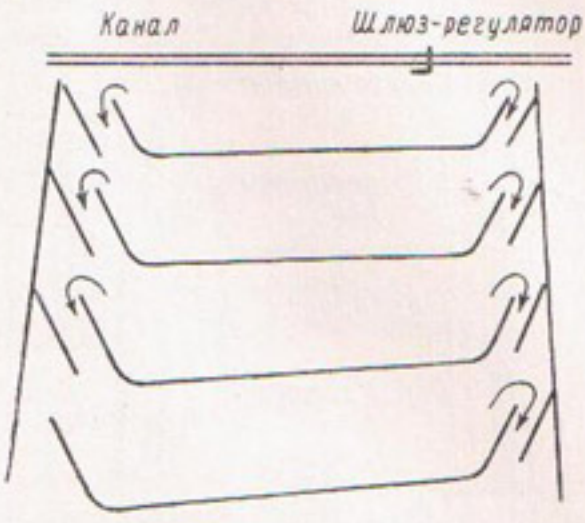


Рис. 195.

Во втором случае поймы затопляются не только при помощи подпорной плотины на реке и дамб, направляющих воду в пойму, но и системой береговых продольных (по течению реки) и поперечных дамб, образующих несколько ярусных лиманов, соединенных водоспусками, позволяющими регулировать высоту и продолжительность затопления лиманов и сбрасывать излишние воды из лиманов (рис. 197). Для устройства береговых дамб во многих случаях можно использовать естественный прируслового вал, с соответствующим повышением и креплением его.

В плотинах или дамбах пойменных лиманов делаются водоспуски, рассчитанные на пропуск наводкового расхода маловодных годов. В поймах могут устраиваться также лиманы, затопляемые не только речными, но и талыми весенними водами, поступающими в пойму с водосбора.

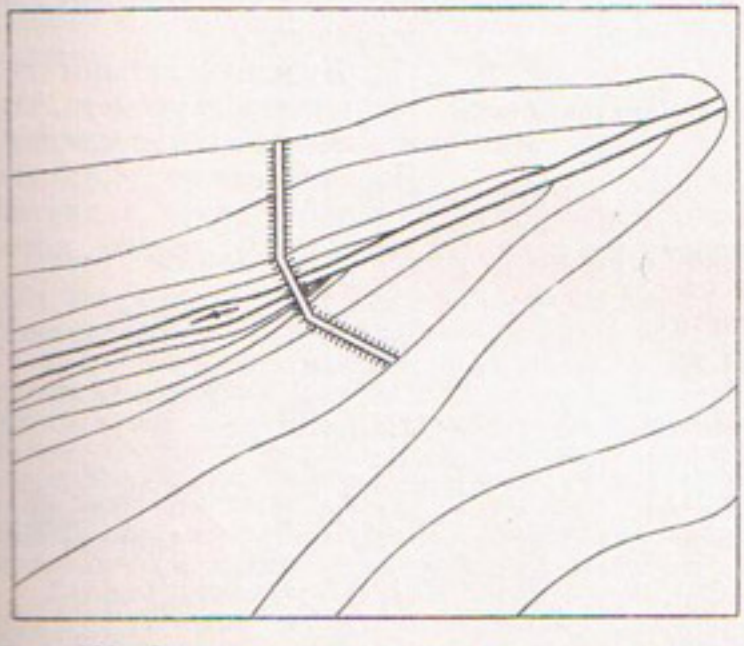


Рис. 196. Схема залиманивания участка со спокойным рельефом по обе стороны лощины.

Пойменные лиманы, позволяющие регулировать высоту, продолжительность и площадь затопления, являются более сложными по устройству и требуют бóльших объемов работ и затрат средств на 1 *га* по сравнению с нерегулируемыми лиманами, но они лучше регулируют водный режим поймы, количество и скорость поступления полой воды и наносов в пойму и способствуют созданию более плодородных зерновых пойм. Достоинством пойменных лиманов является простота их устройства и возможность весьма значительного весеннего лиманного орошения больших площадей. Например, весной 1952 г. в Казахстане при помощи устройства подпорных плотин на степных реках (Нура, Ишим и др.) было затоплено около 1300 тыс. *га* лугов на срок от 5 до 20 дней, что позволило получить дополнительно около 20 млн. *ц* хороших кормов. Подобным образом устройством простой земляной плотины с водоотводными дамбами на р. М. Узень было орошено лиманным способом степных площадей около 70 тыс. *га*.

Лиманы могут быть глубокого или мелкого наполнения; в первых средняя глубина затопления составляет 0,50—0,80 *м*, а во вторых — 0,15—0,25 *м*. Различают также простые или ярусные лиманы.

Простые лиманы представляют площадь, огражденную только одним рядом дамб. *Ярусные лиманы* образуются несколькими рядами дамб, расположенными один выше другого, причем вода последовательно переходит из вышележащего в нижерасположенный ярус. В ярусных лиманах вода, распределяясь на большей площади, лучше используется; уклоны местности могут быть более значительными — до 0,005.



Рис. 197. Схема устройства ярусных лиманов в пойме реки.

Простые лиманы делаются главным образом глубокого наполнения и на землях, имеющих очень малый уклон; глубокими делаются также пойменные лиманы первой группы. Как показывают наблюдения, все эти лиманы отличаются очень невысоким коэффициентом полезного использования воды (20—25%), так как остальная вода сбрасывается, испаряется или уходит на питание грунтовых вод.

Ярусные лиманы делаются как глубокого, так и мелкого наполнения. Первые имеют среднюю глубину затопления (0,5—0,8 *м*), причем вода из одного яруса в другой пропускается через особые водоспуски в дамбах (рис. 198), высота которых делается 1—2 *м*; ширина отдельных ярусов, в зависимости от уклона, составляет от 200 до 1500 *м*.

Ярусные лиманы глубокого наполнения имеют более высокий коэффициент использования воды, так как сбросные воды используются в нижележащих ярусах.

Ярусные лиманы мелкого наполнения (рис. 195) имеют среднюю глубину затопления 0,15—0,25 *м* и дамбы высотой 0,25—0,40 *м*. Основные дамбы идут по направлению горизонталей, а распределительные дамбы — по уклону; вода переливается из одного яруса в другой с помощью струенаправляющих валиков (иногда без них), обходя концы основных дамб. Длина лиманов и ширина их должны быть возможно бо́льшими, чтобы не стеснять механизацию сельскохозяйственных работ.

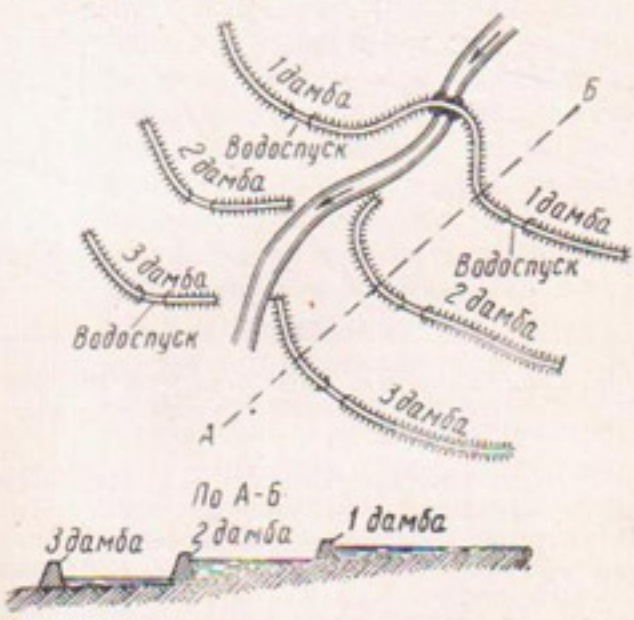


Рис. 198.

Разница отметок гребней дамб делается обычно равной средней глубине затопления — 0,15—0,25 *м*.

В лиманах мелкого наполнения по сравнению с глубокими лучше и эффективнее используются местные водные ресурсы, равномернее увлажняется почва — в этом большое преимущество таких лиманов. Однако в мелких лиманах разбивка валов сложнее; при значительных уклонах местности размеры отдельных лиманов могут получаться небольшими. Поэтому ярусные лиманы мелкого наполнения нужно устраивать на местности с малыми уклонами и валики для них применять с пологими откосами (до 1 : 6), проходимыми для машин, или же делать временные валики, ежегодно нарезаемые, что значительно облегчит устройство лиманного орошения малым слоем воды.

В местностях с достаточным снежным покровом заслуживает внимания способ устройства утрамбованных снежных валов, задерживающих весенние талые воды.

Расчет лиманного орошения

Для расчета лиманного орошения надо установить: норму лиманного орошения, глубину затопления лиманов, продолжительность стояния воды в них, высоту дамб, размер площадей отдельных лиманов, количество поступающих в них весенних вод, условия затопления и опоражнивания лиманов в разные годы.

К определению необходимой нормы лиманного орошения можно подойти на основе следующих соображений.

Нужная глубина увлажняемого слоя почвы H *м* зависит от условий сельскохозяйственного использования лимана; обозначим полную влагоемкость почвы A%; процент потенциальной влагоемкости почвы лимана β, а процент наличной к началу затопления влажности β_0 (причем β и β_0 выражены в долях от полной скважности почвы); тогда объем воды на 1 *га*, поглощаемый в почву лимана, равен:

$$100\,(\beta - \beta_0)\,H^n A.$$

Этот объем эквивалентен слою воды:

$$M = 0{,}01\,(\beta - \beta_0)\,H^n \cdot A\ м, \text{ где } n = 1{,}0 - 1{,}2.$$

Этот средний слой M можно принять как норму лиманного орошения. Если затопление превышает указанную норму, то весной на площади лимана происходит быстрый подъем грунтовых вод, достигающий 40—50 *см* в год.

Для большинства районов норма лиманного орошения принимается равной от 2500 до 4000 $м^3/га$ или от $M = 0{,}25$ до $M = 0{,}40$ *м*. По исследованиям В. А. Соловьева[1], превышение вышеуказанных норм на естественных лугах вызывает развитие осоковой и тростниковой растительности. По его данным, в условиях Прикаспийской низменности различные растительные сообщества связаны со следующими нормами затопления (в $м^3/га$): злаковые—2500—3500; осоковые—4000—5200, тростниковые—7500—9000. Величина потенциальной влагоемкости почвы в слое H составляет $\beta = 0{,}80—0{,}85$. Величина β_0 при расчете лиманов принимается отвечающей наибольшей сухости почв перед затоплением.

Глубина увлажняемого слоя почвы H при лиманном орошении зависит от почвы и культур в лимане, глубины их корневой системы и допустимой длительности затопления. При лиманном орошении, которое производится один раз за вегетационный период, величина H принимается 1—1,5 *м*; на легких почвах больше, чем на тяжелых. Средняя глубина затопления лимана должна возможно ближе совпадать с требуемой нормой увлажнения почвы M. Однако, из-за неровностей поверхности лимана, фактическая средняя глубина затопления лимана h оказывается часто больше нормы M. Средняя фактическая глубина затопления лимана составляет:

$$h = \frac{Il}{2a} + \frac{\gamma}{100}\,\Delta h,$$

где l — ширина лимана по уклону;

I — средний уклон поверхности;

Δh — средняя глубина понижений лимана против его нормальной поверхности;

---

[1] «Гидротехника и мелиорация» № 3, 1953, стр. 26—33. *Прим. автора.*

γ — процент этих понижений ко всей площади лимана;

α — степень отклонения (в долях) слоя воды вверху и внизу лимана от среднего слоя h; в простых лиманах $\alpha = 1$; в ярусных $\alpha \leq 0{,}5$.

Чтобы не было бесполезного сброса воды из лимана и средняя глубина затопления соответствовала норме увлажнения, нужно соблюдение условия $h = M - W$, где W — количество воды, поглощаемое почвой за время заполнения лимана водой, выраженное в метрах.

Ширина лимана по наибольшему уклону местности l должна быть равна $l = \frac{2a}{I}\left(h - \frac{\gamma}{100}\Delta h\right)$, т. е. она тем больше, чем меньше уклон местности (I) и меньше глубина затопления (h). Для неглубоких ярусных лиманов ($h = 0{,}20$ *м*) величина l колеблется от 100 до 500 *м*, в зависимости от уклона I. Длина лиманов по направлению горизонталей (L) должна быть не меньше 600—700 *м*.

Если глубина затопления лимана h значительно больше нормы M, необходимо, во избежание заболачивания лимана, делать сброс части слоя воды h из лимана, что снижает коэффициент полезного использования воды, или устраивать ярусные лиманы.

Продолжительность нахождения воды в лимане зависит от свойств почвы и характера сельскохозяйственного использования площади лимана. Если средняя скорость поглощения воды данной почвой равна $\frac{k_0}{t^a}$, то время, нужное для увлажнения почвы нормой M *м*, определится из зависимости $M = k_0 t^{1-a}$.

В соответствии с этим и агротехническими сроками возделывания и развития культур должны устанавливаться сроки и продолжительность затопления лиманов. На полях, подлежащих весеннему посеву, продолжительность стояния воды составляет около 5—10 суток, причем вода должна быть сброшена из лимана заблаговременно до начала весенних полевых работ, чтобы можно было вести механизированную обработку. На полях, занятых озимыми культурами, продолжительность затопления в лимане должна быть не более 2 суток (при слое не более 20 *см*), а на полях под злаково-бобовыми травосмесями — около 5—7 суток. На естественных лугах продолжительность затопления допускается до 8—15 суток. Чем позднее тает снег и заканчивается весеннее затопление лиманов, тем короче допустимый срок стояния воды, чтобы не задержать сроки посева и вегетации. В соответствии с этим определяется и срок опоражнивания лимана от воды, если она не вся поглощается почвой.

Так как сток с водосбора по годам колеблется, то и площадь лиманного орошения по годам изменяется. В качестве расчетного стока для установления площади лиманного орошения должен быть принят сток такой обеспеченности $p\%$, при которой получается наибольшая народнохозяйственная эффективность этого орошения. Установление стока делается по тем же принципам, что и при расчете водохранилищ, причем регулирование стока здесь только однолетнее.

Зная этот сток и норму лиманного орошения, нетрудно установить и расчетную площадь лиманов, орошение которой будет обеспечено в течение $p\%$ лет. Определив по вышеизложенному суммарный весенний сток расчетного года S_p и длину периода таяния T для этого года (на основании анализа температур), можно построить график стока талых вод — приближенно в виде треугольника или трапеции. Положим, что график стока талых вод (рис. 199) с водосборной площади данного лимана в течение периода таяния $T = \tau$ выражается трапецией с наибольшей ординатой Q. Суммарная кривая, отвечающая этому графику притока, выражается кривой OAB, дающей объемы талых вод, стекающих с водосбора в лиман. Предположим далее, что нормальный объем наполнения лимана, отвечающий установленной норме и глубине затопления, равен V *м*^{3}; он определяется по кривой зависимости объемов лимана от глубин его наполнения.

Прямая линия, отвечающая этому объему V, пересечет суммарную кривую OAB в точке A, что определит таким образом на оси времени OF отрезок t_1, отвечающий продолжительности наполнения данного лимана водой до его нормальной емкости.

За время наполнения лимана t_1 часть воды пойдет на поглощение в почву лимана, на испарение с водной поверхности и, наконец, на потери воды через дамбы лимана. Объем воды, пошедший на это, будет эквивалентен среднему слою $a = t_1(k+e+\delta)$, где k — поглощение воды почвой лимана, e — испарение и δ — потери через дамбы, выраженные в виде слоя, в единицу времени.

Общий слой воды, расходующийся за сутки в период наполнения и стояния воды в лиманах (на поглощение в почву и потери), составляет от 0,01 до 0,10 *м*, в зависимости от свойств почвы, степени промерзания, сухости ее к моменту затопления. В лимане в момент t_1 будет находиться средний слой воды h.

Последующий приток талых вод с водосбора не будет вмещаться в пределах нормальной емкости лимана, поэтому необходимо его сбрасывать. Сброс будет продолжаться в течение времени $t_2 = \tau - t_1$ и может происходить двояко: или через водоспуски в дамбах в нижних частях его, и, следовательно, проходя через лиман, или же через водообходы, устроенные у верхних концов лимана, не проходя через лиман.

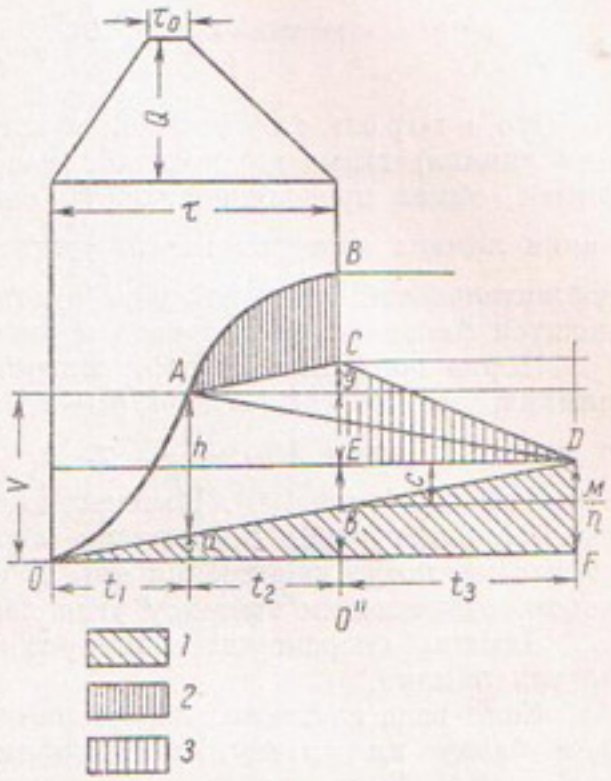


Рис. 199.

1 — поглощение в почву плюс потери; *2* — сброс избыточных вод; *3* — опоражнивание лимана.

В первом случае лиман в течение времени t_2 будет оставаться наполненным слоем воды h, причем часть стекающих вод с водосбора в количестве, эквивалентном среднему слою $t_2(k+e+\delta)$, пойдет на поглощение в почву и другие потери. В этом случае водный баланс лимана к моменту окончания стока талых вод сложится таким образом: объем воды $b = (t_1+t_2)(k+e+\delta)$ составит поглощение воды почвой лимана и потери; объем воды, эквивалентный среднему слою затопления h, будет находиться на поверхности лимана, и, наконец, объем BC будет сброшен через водоспуск в балку или нижележащие лиманы. Далее, необходимо будет сбросить часть остающейся в лимане воды (средний слой h), причем этот сброс должен продолжаться в течение такого времени t_3, чтобы продолжительность стояния воды в лимане не превышала допустимого срока и чтобы в почву лимана успело поступить все недостающее до требуемой нормы количество воды, т. е.

$$t_3 = \frac{M}{k} - (t_1 + t_2),$$

где M — норма лиманного орошения нетто.

Продолжительность опоражнивания лимана t_3 на графике определяется таким приемом: если прямая OD[1] выражает объемы воды, израсходованные в разные моменты времени на поглощение в почву и потери, то ордината $DF = \frac{M}{\eta} = (k+e+\delta)(t_1+t_2+t_3)$ равна фактической норме лиманного орошения, причем $\eta = \frac{k}{k+e+\delta}$ есть коэффициент полезного использования воды в самом лимане, не учитывая сброса.

[1] Строго говоря, это не есть прямая линия, так как интенсивность потерь во времени меняется. *Прим. автора.*

Норма лиманного орошения брутто, включающая и сброс при опоражнивании лимана (если h велико), равна $M_{бр}=h+(t_1+t_2)(k+e+\delta)$, а количество сбрасываемой воды из лимана (в балку или нижележащий ярус) равно $M_{бр}-\frac{M}{\eta}$, т. е. $h-(k+e+\delta)t_3=$ $=h-\frac{kt_3}{\eta}$ и определяется отрезком CE (рис. 199). Если продолжительность опоражнивания лимана t_3 задана, то может быть установлена фактическая норма лиманного орошения $\frac{M}{\eta}$ и средний расход воды, каким должны работать водоспуски лимана при опоражнивании его, равным отношению

$$\frac{CE}{DE}=\frac{h}{t_3}-\frac{k}{\eta}.$$

Во втором случае, т. е. когда сброс избыточных (после наполнения лимана) талых вод происходит через водообходы без протекания через лиман, общая продолжительность наполнения, стояния воды и опоражнивания лимана определяется из условия $t_1+t_2+t_3=\frac{M}{k}$. При заданной продолжительности стояния воды в лимане t_3 по этому же уравнению определится фактическая величина нормы орошения M.

Норма орошения брутто, включающая и сброс при опоражнивании лимана, равна $M_{бр}=h+t_1(k+e+\delta)$, количество сбрасываемой воды в период t_3 равно $M_{бр}-\frac{M}{\eta}$, т. е. $h-(k+e+\delta)(t_2+t_3)$, и определяется отрезком GE (рис. 199). Количество избыточных вод, сбрасываемых в период t_2, будет равно BG, причем опоражнивание лимана может начаться сейчас же после наполнения его, т. е. с момента t_1, и идти средним расходом, отвечающим тангенсу угла наклона линии AD.

Лиманы опоражниваются через водоспуски в дамбах в пониженных частях лимана.

Если вода из лимана сбрасывается не в нижележащий ярусный лиман, а в балку или речку, то коэффициент полезного действия лиманного орошения с учетом сброса будет равен $\eta_0=\frac{M}{S+\frac{M}{\eta}}$, где S — сброс из лимана, выраженный в виде среднего слоя воды, M — норма лиманного орошения нетто, а $\eta=\frac{k}{k+e+\delta}$ — коэффициент использования воды в самом лимане. Если лиманное орошение производится без сброса, т. е. $S=0$, то $\eta_0=\eta$.

В этом случае средний слой затопления h должен быть увязан с нормой увлажнения почвы M, т. е. в первом случае $h=\frac{M-k(t_1+t_2)}{\eta}$, а во втором $h=\frac{M-kt_1}{\eta}$.

Если суммарный весенний сток какого-либо года с водосборной площади лимана меньше нормальной емкости его V, то площадь затопления лимана будет меньше нормальной. Делая анализ стока с водосбора лимана по годам, можно получить размеры площадей затопления каждого года.

Соотношение между площадью водосбора и возможной при этом площадью лиманного орошения зависит от ряда факторов: свойств и структуры почв водосбора, количества зимних осадков, уклона и характера бассейна, интенсивности таяния, принятой нормы затопления, характера лимана (одноярусный или многоярусный) и др.

Водосборная площадь, сток с которой достаточен для орошения 1 *га* лиманов, уменьшается с уменьшением нормы лиманного орошения, с увеличением весеннего стока с 1 *га* водосбора и с увеличением ярусности лиманов. При ярусных лиманах возможно использовать одно и то же количество стока на большей площади лиманов. Число гектаров водосбора, приходя-

щееся на 1 *га* лиманного орошения, при одних и тех же норме и ярусности лиманов, уменьшается с увеличением уклона водосбора, количества зимних осадков, но повышается с улучшением структуры почв и развитием агротехники и защитных лесонасаждений, способствующих задержанию весенних вод на водосборе.

Площадь одного лимана, в зависимости от условий рельефа, колеблется от нескольких гектаров (ярусные лиманы мелкого наполнения) до 1000 *га* и более (простые и ярусные лиманы глубокого наполнения).

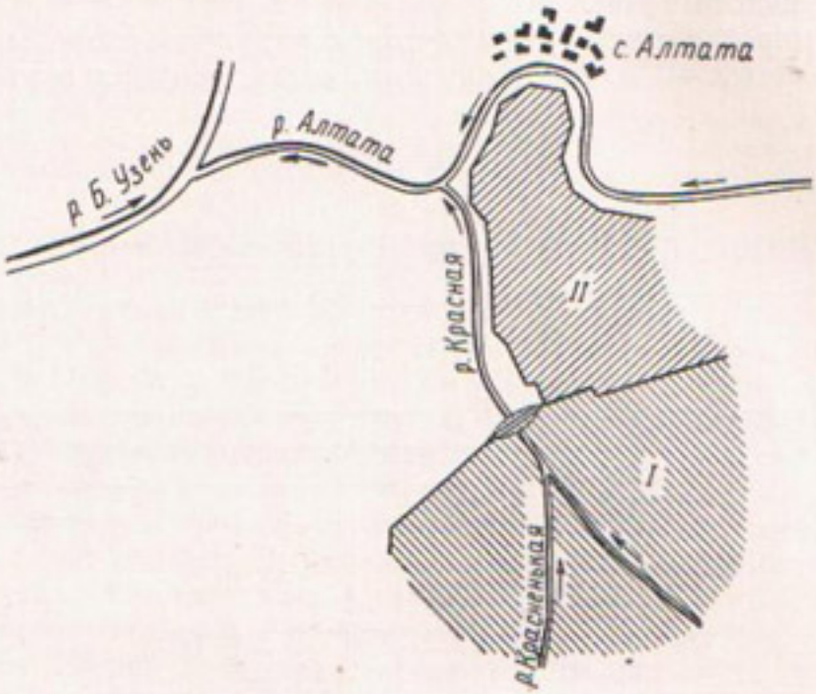


Рис. 200.

В качестве примера крупных лиманов можно привести Алтатинские лиманы в Саратовской области (рис. 200). Лиманы состоят из двух больших ярусов, из которых верхний *I*—поперечного, а нижний *II*—продольного типа. Площадь верхнего яруса 1232 *га*, а нижнего яруса — 1315 *га*. Оба яруса пользуются водой с водосбора р. Красной площадью 1232 *км*². Для нормального наполнения обоих лиманов необходим сток воды с 1 *га* за весенний период в 145 *м*³. Такой сток наблюдается приблизительно два раза в три года. Водоспуски лиманов рассчитаны: верхний — на 150, а нижний — на 55 *м*³/*сек*. Кроме водоспусков, имеются еще естественные водообходы.

Устройство лиманного орошения

Для устройства лиманного орошения необходимы следующие сооружения: 1) водоудерживающие и направляющие дамбы и валы; 2) подпорные плотины и перемычки; 3) водоспускные сооружения в дамбах и плотинах; 4) водосбросные и осушительные каналы для опораживания и недопущения заболачивания лиманов. Дамбы, плотины и перемычки делаются обычно земляными, в пойменных же лиманах смешанными — из камня, дерева, хвороста с земляной отсыпью и креплением откосов и гребня (дерном, плетнями, мощением) против размыва текущей водой (рис. 201).

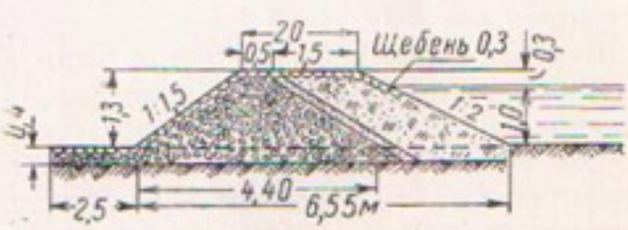


Рис. 201. Устройство перемычки из камня с земляной отсыпью.

Дамбы глубоких лиманов делаются обычно следующих размеров: высота $t=1{,}10\ (H+\Delta)$ *м*, где H — наибольшая глубина воды в лимане у дамбы; Δ — превышение дамбы над горизонтом воды в лимане, принимаемое для небольших лиманов равным 0,20 *м*, для больших лиманов 0,4—0,5 *м*; величина Δ должна учитывать высоту волны.

Ширина дамб поверху делается равной от $^2/_3H$ до $^1/_2H$; для больших дамб H не более 1 *м*, а для малых дамб — около 0,50 *м*. Замки в дамбах лиманов обычно не устраиваются, только верхний слой почвы снимается на 0,4 *м* (рис. 201), лишь в больших поперечных дамбах-плотинах делаются ядро и замок. Лучший грунт для насыпки дамб — суглинок с содержанием 50—70% песка, так как такой грунт не пучится, не дает трещин и достаточно непроницаем для воды. Крутизну откосов дамб принимают в зависимости от свойств грунта; откосы дамб укрепляются растительным слоем (дернование, подсев трав).

Резервы для насыпки дамб делаются с наружной стороны лимана, глубиной не больше 0,6—1 *м*. В тех случаях, когда требуется осушение лимана,

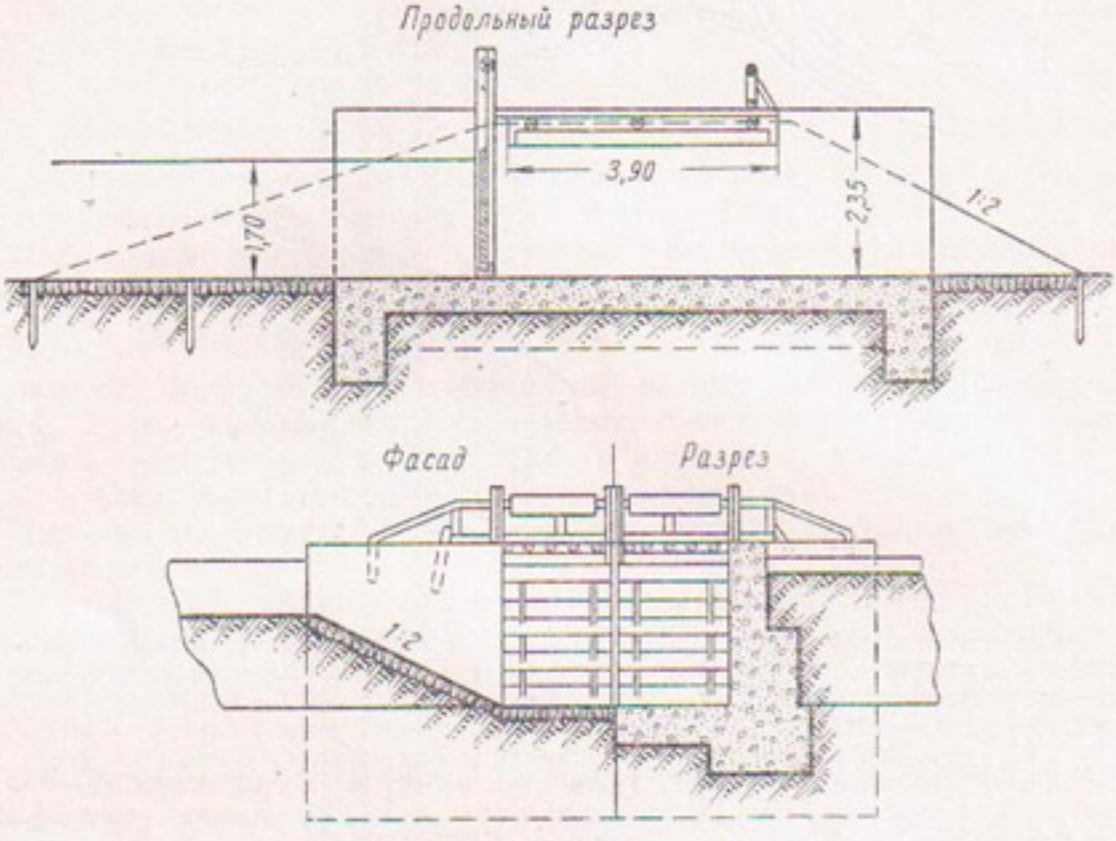


Рис. 202.

резервы могут быть заложены внутри лимана и служить в качестве осушительного канала. Резервы должны отстоять от края дамб на 1—3 *м*, в зависимости от размеров валов.

Дамбы глубоких лиманов нужно своевременно ремонтировать до начала паводка.

В лиманах мелкого наполнения вместо дамб делаются валики высотой 0,30—0,40 *м* с пологими откосами (1 : 4), проходимые сельскохозяйственными машинами, или же временные валики по горизонталям высотой 0,20—0,25 *м*, ежегодно нарезаемые с осени и заравниваемые по окончании весеннего стока. Временные валики не стесняют механизации сельскохозяйственных работ, могут быть хорошо приспособлены к условиям рельефа, расположены чаще.

Для сброса излишних вод из лиманов и для перепускания воды из одного яруса в другой служат водоспуски, устраиваемые в дамбах, или же водообходы по концам валов. Водоспуски делаются в виде труб или шлюзов. Трубы применяют на лиманах с малым отношением площади водосбора к площади лимана, а шлюзы — на лиманах с большим отношением между этими площадями. Шлюзовые водоспуски в больших лиманах делаются деревянными или бетонными (рис. 202).

Водоспуски рассчитываются на расход воды, соответствующий максимальному весеннему стоку с водосбора данного лимана, с учетом регулирующего действия самого лимана. Однако (рис. 199) заполнение лимана может наступить раньше, чем начнется спад паводка, и тогда лиман не может оказать снижающего влияния на сток Q_{max}. Максимальный расход паводка Q_{max} определяется по указанным выше методам.

Ширина отверстий водоспуска должна быть определена с таким расчетом, чтобы сбрасываемый через него наибольший паводковый расход Q_{max} не создавал подпора воды в лимане и чтобы опоражнивать лиман от воды можно было в нужное время t_2 или $t_2 + t_3$, согласно анализу баланса воды в лимане.

Поверхность лиманов, если она неровная, планируется. Из замкнутых котловин без стока, в которых может застаиваться вода и вызывать заболачивание лиманов, застойная вода должна удаляться путем устройства сбросных каналов, позволяющих сбрасывать воду за пределы лимана, в речку или балку.

Пересечение сбросных каналов дамбами лимана делается посредством водоспусков (или труб), заложенных на нужных отметках. Пропускная способность водоспуска рассчитывается на возможность опоражнивания объема низин в течение 3—5 суток.

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОРОШЕНИЕ

Кроме поверхностных вод, на орошение могут использоваться подземные воды. В СССР орошение подземными водами применяется во многих районах: в Крыму, в Молдавии, на Украине, по левобережью Днепра, в Поволжье, по правобережью Волги; орошение подземными водами в Средней Азии развито главным образом в Казахстане, в Киргизии, в Туркмении, на северных склонах Копет-Дага; в Закавказье подземные воды используются на орошение в Азербайджане, Грузии, Армении и других районах. Общая площадь земель, орошаемых подземными водами в СССР, по данным Главводхоза, составляет свыше 1,1 млн. *га* (1956 г.)[1].

Использование подземных вод на орошение находит применение главным образом в следующих геоморфологических условиях расположения орошаемых площадей.

1) В аллювиальных равнинах (дельты, поймы, надпойменные террасы); подземные воды здесь залегают главным образом в галечниковых, песчаных и суглинистых отложениях; в большинстве случаев воды здесь безнапорны или слабо напорны, но обильны и отличаются слабой минерализацией (до 1—2 *г/л*); обильность аллювиальных водоносных горизонтов обычно высокая; в некоторых долинах аллювиальные подземные воды выходят на поверхность в виде ключей (родников) со значительными суммарными расходами.

2) В предгорных равнинах конусов выноса (занимающих обширные пространства в Средней Азии и в Закавказье). Пролювиальные отложения конусов выноса представляют благоприятные условия для образования водоносных горизонтов, которые отличаются здесь значительной водообильностью, получая питание за счет атмосферных осадков и ледников в прилежащих горах. На периферии конусов выноса встречаются напорные воды, в головных же участках конусов выноса подземные воды — безнапорные. Пролювиально-галечниковые отложения имеют обычно значительную мощность, и буровые скважины водоносного горизонта конусов выноса дают, как правило, довольно обильные расходы воды (до 40—100 *л/сек*) и на периферии конусов выноса часто являются самоизливающимися на поверхность. Подземные воды конусов выноса слабо минерализованы (сухой остаток их не выше 1 *г/л*); минерализация подземных вод на конусах выноса повышается, если они питаются минерализованными возвратными (фильтрационными) водами с орошаемых выше площадей.

3) На равнинных впадинах — Причерноморская, Днепровско-Донецкая Прикаспийской русской платформы и др. Равнины впадин сложены свитой осадочных слоев (известняки, пески, глины, мергели и др.), имеющих большую суммарную мощность. В коренных отложениях залегают на-

[1] И. А. Глухов. Орошение подземными водами. «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1956. *Прим. автора.*

порные водоносные горизонты пластового типа, различающиеся как своей мощностью, так и водообильностью и минерализацией. Эти водоносные горизонты используются на орошение и обводнение. Удельный дебит скважин составляет от 1 до 25 *л/сек*.

Скважина на юге Украины глубиной 100 *м*, оборудованная мощными глубинными насосами (АТН-16 и др.), даже при удельном дебите 2 *л/сек* и глубине откачки 50—60 *м*, может дать расход воды около 100 *л/сек*, что при гидромодуле 0,25 *л/сек* на 1 *га* дает возможность орошать из одной скважины площадь около 400 *га*.

Достоинствами использования подземных вод на орошение являются:

1) возможность получения воды на месте, вблизи орошаемой площади, и отсутствие необходимости иметь длинную холостую часть магистрального канала, что особенно важно при орошении небольших площадей;

2) содействие общему понижению грунтовых вод на орошаемой площади, благодаря изъятию их на орошение; поэтому для понижения грунтовых вод на орошаемых площадях с близкими грунтовыми водами нередко применяют откачку их из колодцев с использованием воды на орошение. Использование подземных вод на орошение широко применяется в США, в Индии, а также в Алжире, в Италии и в других странах;

3) небольшие потери воды и высокий к. п. д. оросительной сети вследствие небольшой длины каналов, приходящихся на один колодец;

4) незаиляемость каналов, так как вода не содержит наносов.

Особенно ценно использование на орошение артезианских самоизливающихся подземных вод, так как не требует расходов энергии на механический подъем воды.

Практика использования подземных вод на орошение показывает, что капиталовложения на 1 *га* орошения при достаточной водообильности скважины и современном техническом оборудовании ее не выше (а часто ниже) капиталовложений на орошение 1 *га* поверхностными водами. Что же касается эксплуатационных расходов, то они при орошении подземными водами из скважин, оборудованных насосами, выше эксплуатационных расходов при орошении поверхностными водами, вследствие необходимости затрат энергии на механический подъем воды. На 1 *га* затрачивается 400—500 *квт* электроэнергии при подъеме воды из колодцев с глубины 30 *м*, до 1500—1600 *квт* — при глубине подъема воды 100 *м*.

Забор подземных вод на орошение из колодцев на землях с близким залеганием минерализованных подземных вод, содействуя понижению уровня их, способствует рассолению орошаемых почв и потому применяется в этих целях, если степень минерализации грунтовой воды допустима для орошения сельскохозяйственных культур и почв.

Однако орошение подземными водами имеет и слабые стороны. Прежде всего оно не всегда возможно. Ограничения применения подземных вод на орошение могут обусловливаться: 1) глубиной залегания их и размерами дебита — большая глубина или недостаточный дебит часто делают использование подземных вод неэффективным, и 2) качеством этих вод — во многих случаях большая их минерализация может быть недопустимой, вследствие вредного действия растворенных солей на растения; особенно вредными оказываются щелочные соли и соли закиси железа. Поэтому использованию подземных вод на орошение должны предшествовать самые тщательные гидрогеологические исследования и химические анализы воды.

Если минерализованные грунтовые воды применяются на орошение, *нормы и режим орошения должны быть определены, исходя из условий незасоления почвы*.

К недостаткам орошения подземными водами относится также необходимость, в большинстве случаев, механического подъема воды и более высокой стоимости эксплуатации, а также отсутствие в подземных водах взвешенных илистых частиц и низкая температура воды. Отсутствие в подземных водах плодородных илистых частиц вынуждает применять на орошаемых ими зем-

лях удобрения. Однако отсутствие наносов выгодно в отношении предохранения каналов и труб от заиления и засорения.

Слабой стороной использования подземных вод на орошение является также то обстоятельство, что при интенсивной откачке, превышающей естественное питание их, наступает постепенное истощение запасов подземных вод и понижение их уровня.

Например, за десятилетие 1940—1950 гг. площадь орошения подземными водами в США увеличилась почти на 2 млн. гектаров, вследствие чего наблюдалось постепенное снижение их уровня; на некоторых орошаемых участках в Калифорнии это понижение уровня грунтовых вод составляло около 1 *м* в год.

Для недопущения истощения запасов подземных вод при орошении ими необходимо, чтобы забор этих вод на орошение не превышал размеров их питания, т. е. количество воды, ежегодно поступающей на питание подземных вод[1].

При орошении подземными водами более или менее значительных площадей необходимо устройство большого числа колодцев или других водозахватных сооружений, так как площади, орошаемые из одного колодца, невелики.

Подземные воды добываются для орошения устройством: 1) каптажа ключей, или родников, 2) шахтных и артезианских колодцев, 3) водосборных галерей (кяризов).

К а п т а ж к л ю ч е й, или родников, представляет большие удобства для орошения склонов, расположенных ниже выхода ключей. Например, в с. Золотом (Саратовская область) на правом берегу р. Волги родниковыми водами из опок орошается свыше 2000 *га* садов.

Обычно дебит ключей, или родников, невелик и бывает достаточен для орошения только небольших участков (хотя в сумме использование нескольких ключей может дать и довольно значительную орошаемую площадь).

Существует много способов каптажа ключей, рассматриваемых в курсах водоснабжения; для иллюстрации один из них представлен на рисунке 203.

Вода из каптированных ключей подается на орошаемую площадь, обычно самотеком, и в этом заключается достоинство орошения ключевыми водами.

К о л о д ц ы для целей орошения применяются как шахтные, так и трубчатые или буровые, а иногда — сочетание обоих этих типов: вверху устраивается шахта, на дне которой трубчатый колодец. Диаметр трубчатых колодцев в настоящее время, благодаря совершенству современной буровой техники, доходит до 75—100 *см*, но чаще они делаются диаметром[2] от 30 до 50 *см*.

Для увеличения дебита колодцев и усиления их действия в некоторых странах (США, Италия и др.) при орошении подземными водами применяется усиление вертикальных колодцев горизонтальными фильтрами, т. е. скважинами, оборудованными фильтрами. Из колодца откачивают воду с таким расчетом, чтобы уровень воды в колодце находился ниже устьев фильтров, а вода из фильтров могла поступать в колодец, благодаря чему дебит колодца с горизонтальными фильтрами значительно повышается. Горизонтальные фильтры должны иметь достаточную длину.

Вертикальные колодцы для откачки грунтовых вод должны быть оборудованы глубинными современными высокопроизводительными насосами (АТН-14, АТН-16 и др.), могущими подавать воду с глубины 100 *м* и с расходом не менее 50—100 *л/сек*.

---

[1] В ряде случаев целесообразно искусственное питание подземных вод, их «магазинирование» (см. В. Н. К у н и н. Местные воды пустыни и вопросы их использования. АН СССР, М., 1959).

[2] О дебите колодцев, не доходящих до водоупора, с открытым дном, а также о взаимном влиянии близко расположенных колодцев см. в курсах водоснабжения и гидравлики *Прим. автора.*

Выбор диаметра колодца и размеров горизонтальных фильтров должен быть обоснован экономически, так как увеличение их повышает стоимость колодца, но может недостаточно увеличивать расход воды.

Величину радиуса действия колодца следует определять путем откачек в данных условиях работы колодца. Для супесчаных и песчаных грунтов она составляет от 250 до 500 *м* и для крупнозернистых — до 900 *м*.

Значение коэффициента водопроницаемости грунта определяется опытными откачками.

Глубина воды в колодцах изменяется в широких пределах: от самоизливающихся артезианских скважин до колодцев с глубиной воды в несколько десятков метров и более.

Удельный дебит скважин в засушливых районах СССР колеблется от 20 до 300 $м^3/сут$ на 1 пог. *м* и выше, так что один колодец может давать от 100 до 2500 $м^3$ и более воды в сутки, в зависимости от обильности водоносного слоя и глубины откачки.

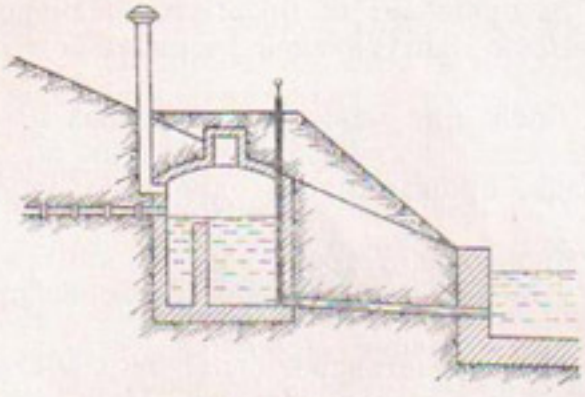


Рис. 203.

По величине дебита для орошения наиболее пригодны артезианские воды, грунтовые же воды используются главным образом для обводнения и сельскохозяйственного водоснабжения.

Особенно важно использование для орошения самоизливающих артезианских скважин, из которых не требуется механического подъема воды.

Возможность получения самоизливающихся подземных вод имеется во многих засушливых районах СССР (в Азербайджане, Фергане, Голодной степи, Южной Украине и др.). В Азербайджанской ССР группой работников водного хозяйства под руководством И. С. Кулошвили осуществлено устройство свыше 400 артезианских скважин, орошающих большую площадь земель в Кура-Араксинской низменности. Приемные оголовки самоизливающих скважин делают в виде небольших каменных резервуаров, из которых вода самотеком поступает в оросительные каналы.

При отсутствии самоизливающих скважин подземные воды на орошение используются путем откачки их из колодцев.

Глубина скважины или колодца должна быть такова, чтобы можно было извлекать воду для орошения при наиболее низком стоянии уровня подземных вод, наблюдаемом в годы засух (на 5—6 *м* ниже среднего уровня). Кроме того, допустимая глубина колодцев зависит и от экономических условий: характера и значения орошаемых культур, необходимой величины оросительных норм, стоимости поднятия воды на 1 *м* глубины колодца.

Если наибольшая глубина горизонта подземных вод не превышает возможную высоту всасывания, насос и двигатель помещаются на поверхности земли, а всасывающая труба опускается в колодец. При глубине подземных вод больше высоты всасывания могут быть следующие виды установок.

Шахтные колодцы: а) насос помещается в колодце, а двигатель на поверхности земли, причем удобным оказывается применение вертикального центробежного насоса, погруженного в воду колодца; б) насос и двигатель помещаются в шахте колодца.

Трубчатые колодцы: а) поршневые насосы, опущенные в трубу колодцев; б) глубинные вертикальные (турбинные) центробежные насосы, опускаемые в трубу колодца (при диаметре труб от 30 до 75 *см*) и имеющие производительность от 40 до 400 $м^3/час$ при напоре до 120 *м* (типа АТН-8, 10, 14, 16) (рис. 204).

Благодаря развитию современной буровой техники и гидромашиностроения, устройство трубчатых колодцев с глубинными насосами является в настоящее время главным средством использования подземных вод для

орошения. При самоизливающих скважинах стоимость орошения на 1 *га* и стоимость 1 *м*³ воды возрастает с увеличением глубины скважины и с уменьшением дебита ее; при производительности скважины меньше 30—40 *л/сек* орошение из глубоких самоизливающих скважин по стоимости на единицу площади утрачивает свои преимущества перед скважинами с откачкой.

Стоимость 1 *м*³ воды, добываемой из скважин с откачкой, снижается: 1) с уменьшением глубины залегания уровня грунтовых вод (при одной и той же удельной водоотдаче); 2) с увеличением глубины откачки (при одинаковой удельной водоотдаче); 3) с повышением удельной водоотдачи при одинаковых глубине залегания и глубине откачки подземных вод. Стоимость орошения на 1 *га* уменьшается с уменьшением глубины залегания подземных вод и с увеличением их удельной водоотдачи (на 1 *м* глубины откачки ;

в) в ряде случаев для подъема воды из глубоких скважин применяются также эрлифты.

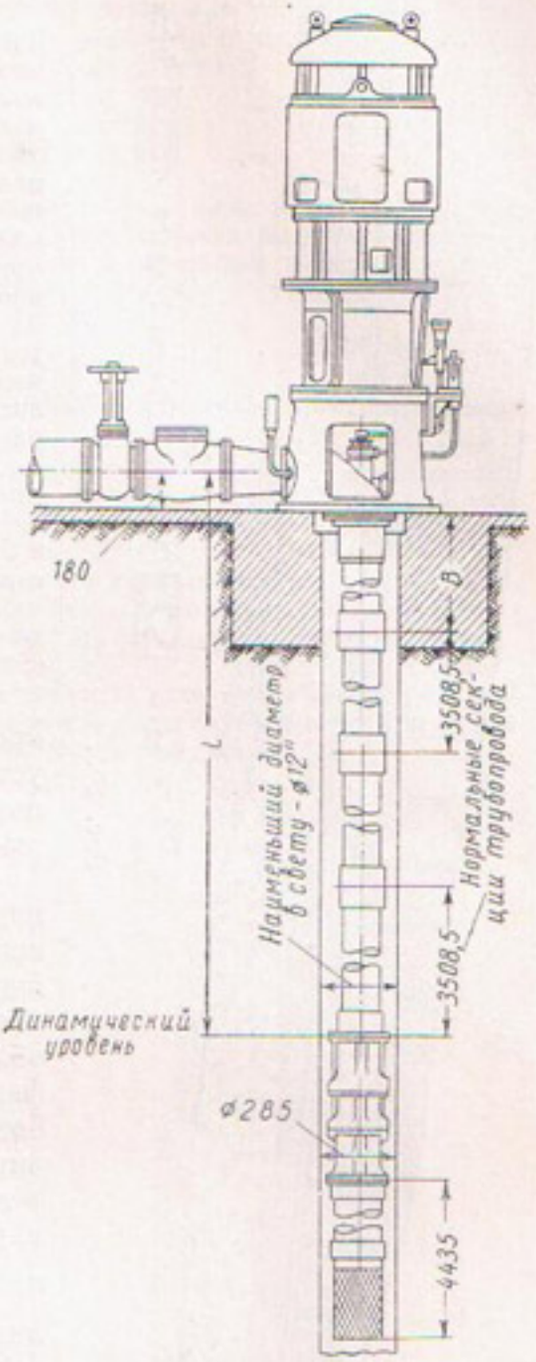


Рис. 204. Погружной насос 12-НА производительностью 42 *л/сек*, напор до 88 *м*.

Водосборные галереи и штольни (кяризы). Горизонтальные водосборные галереи, выполняемые открытым способом, устраиваются при неглубоком залегании водоносного пласта (обычно не глубже 5—8 *м*) и небольшой мощности его (2—5 *м*), особенно если он состоит из трещиноватых пород, в которых вода движется отдельными потоками; в оросительной практике они применяются сравнительно редко. Галереи располагаются нормально к направлению грунтового потока и делаются высотой 1,5—1,8 *м* и шириной 0,7—1 *м*. Смотровые колодцы с углублениями для осадков устраиваются по длине галерей через 25—50 *м*. При орошении подземными водами в горных и предгорных районах Средней Азии и Закавказья широко применялись штольни, или кяризы, выполняемые туннельным способом (а прежде ручными местными способами). Кяризы позволяли использовать подземные воды, залегающие в галечниковых и песчаных отложениях (на глубине 10—80 *м* и более), подстилающих горные и предгорные долины, и покрытые более или менее мощными слоями делювия; кяризы располагаются вдоль по уклону водоносного слоя и имеют уклон от 0,01 и более. Длина кяриза может доходить до нескольких километров, а дебит его до 250 *л/сек* (преобладающий дебит 25—50 *л/сек*).

В Азербайджане имеется больше 900 действующих кяризов с суммарным дебитом воды около 25 *м*³/*сек* и общей орошаемой площадью до 50 тыс. гектаров. Максимальный дебит кяризы имеют летом, а минимальный — зимой, что благоприятно для орошения.

Кяризы (рис. 205) состоят из следующих составных частей: 1) водосборных штолен *вб*, водопроводной галереи *аб*; 2) вертикальных колодцев по длине галерей; 3) водосборного колодца; 4) водоотводного канала *ад*.

Сечение кяризных галерей делается чаще всего прямоугольное, со стенками, крепленными деревом или камнем. Обычные размеры штолен: ширина 0,5—0,6 *м*, высота 1—1,4 *м*. Уклон дна водопроводной галереи (идущей не в водоносном грунте) обычно 0,003—0,005 (чтобы вода не размывала почву галереи); уклон же водосборных штолен, идущих в водоносном слое, должен соответствовать уклону этого слоя; водосборные штольни нередко состоят из нескольких ветвей, сообщающихся с основной. Глубина заложения водосборных штолен делается на 3—4 *м* ниже поверхности водоносного пласта.

Вспомогательные колодцы, сообщающие подземную галерею с поверхностью земли, располагаются через 5—40 *м*, в зависимости от прочности породы (в среднем через каждые 20 *м*), по длине галереи; они служат для спуска рабочих, выемки земли при рытье штольни и для вентиляции кяриза. Размеры колодцев в поперечнике делаются обычно около 1 *м*, глубина их колеблется, смотря по рельефу местности, от 2 до 50 *м*.

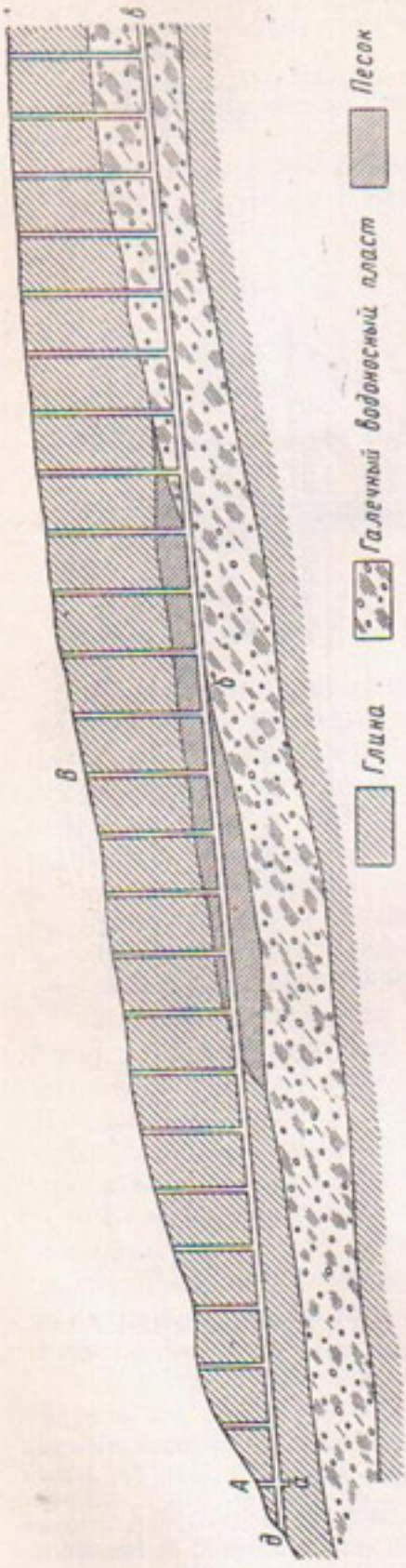


Рис. 205.

Водопроводные галереи кяриза или выходят на дневную поверхность и доставляют воду на орошение самотеком, или же заканчиваются водосборным колодцем, откуда вода поднимается на поверхность механическим путем и по водоотводному каналу доставляется на орошаемую площадь. Длина этого канала иногда достигает нескольких километров; во избежание потерь воды, добываемой кяризным способом, нужно применять противофильтрационные мероприятия на этих каналах, особенно в сильно проницаемых грунтах.

Количество воды, даваемое водосборной галереей, зависит от ее длины, водопроницаемости и мощности водоносного пласта и от других гидрогеологических условий (см. расчеты притока воды к горизонтальным дренам ниже в гл. XI).

В среднем 1 пог. *м* водосборной галереи кяриза дает от 0,3 до 0,6 *л/сек* воды.

Кяризы позволяли использовать на орошение в безводных предгорных местностях глубоко залегающие подземные воды, часто хорошего качества.

Слабыми сторонами орошения из кяризов являются небольшие размеры орошаемых площадей и сравнительно высокая стоимость на 1 *га* орошения.

При использовании подземных вод на орошение во многих случаях необходимо устройство *регулирующих резервуаров*. Они позволяют увеличить размеры площади, орошаемой из данного источника подземных вод.

Дебиты каждого отдельного источника подземных вод (и размеры орошаемой им площади) в большинстве случаев невелики, между тем время полива не может быть растянуто на длительный срок, вследствие необходимости увязки его со сроками посева и фазами развития культур, с темпами обработки почвы. Положим, что по этим условиям продолжительность полива площади ω должна составлять t суток; при поливной норме m *м*^{3}/*га* для этого необходим расход канала, равный $Q = \frac{\omega m}{86{,}4t}$ *л/сек*. Если в поливной период t дебит источника грунтовых вод, равный Q_0 *л/сек*, меньше расхода Q, в этом случае в период t будем иметь дефицит воды $t(Q-Q_0)$.

Суммарный дефицит воды за весь оросительный период равен сумме дефицитов за отдельные поливные периоды, т. е. $\Sigma t(Q-Q_0)$. Эти дефициты должны покрываться из резервуара, наполняемого в межполивные периоды, емкость которого поэтому должна быть не меньше $W = t(Q-Q_0)\eta$ или, иначе, $W = (m\omega - tQ_0)\eta$, где $\eta > 1$ — поправочный коэффициент на потери воды из резервуара.

Время наполнения резервуара t_0 определится из условия, что

$$t_0 = \frac{W}{Q_0} = t\,\frac{W}{m\omega - \frac{W}{\eta}}.$$

Если продолжительность предшествующего межполивного периода равна или больше t_0, то наполнение резервуара может быть сделано в течение этого периода; в противном случае наполнение должно быть начато раньше.

При отсутствии резервуара за время t непосредственным расходом водоисточника можно полить площадь $\omega_1 = \frac{Q_0 86{,}4t}{m}$, которая меньше ω, так как $Q_0 < Q$. Полное использование дебита источника на орошение без резервуара возможно при условии, что в течение периода t_0 последовательно поливаются культуры, занимающие α, β и γ% площади и имеющие поливные периоды t_1, t_2 и t_3, причем $\alpha+\beta+\gamma=100\%$, а $t_1+t_2+t_3=t_0$, так что

$$Q_0 t_0 = \frac{\omega m}{86{,}4}(\alpha+\beta+\gamma).$$

При очень малом дебите Q_0 грунтовых вод он может быть ниже минимально допустимого поливного расхода $p=5-6$ *л/сек*, и в этих случаях нужен резервуар суточного регулирования, наполнение которого водой должно идти в перерывах между поливами, т. е. в течение $(24-t)$ часов, где t — продолжительность поливов в сутки (в часах).

Емкость резервуара должна быть не меньше

$$3{,}6\,(24-t)\,Q_0 = (p-Q_0)\,t\eta\,3{,}6 \text{ м}^3.$$

Отсюда следует, что продолжительность полива расходом p должна быть не больше $t < \frac{24Q_0}{p\eta - Q_0(\eta-1)}$ часов в сутки.

Коэффициент η равен 1,1—1,4, так как полезная емкость резервуара должна быть увеличена на потери воды испарением и фильтрацией, составляющие от 10 до 40% емкости.

Наличие резервуара позволяет также аэрировать и согревать грунтовые воды перед употреблением их на полив, что может иметь значение при содержании в грунтовых водах вредных для растений закисных соединений или при низкой температуре добываемой воды.

Резервуары делаются с таким расчетом, чтобы горизонт воды в них командовал над поверхностью для самотечной подачи воды на поля из резервуара; глубина воды в резервуаре от 1,2 до 2 м. Устройство резервуаров рассмотрено в главе седьмой.

Глава седьмая

ОРОШЕНИЕ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОДЪЕМОМ ВОДЫ

1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

К механическому подъему воды на орошение приходится прибегать в тех случаях, когда горизонт воды в источнике орошения ниже необходимого (по условиям командования) горизонта воды в оросительном канале в месте забора воды и не может быть повышен экономически приемлемыми способами.

Вода механическим путем поднимается из источника орошения до высших отметок всей орошаемой площади или отдельных ее зон и отсюда распределяется самотечными каналами или напорными трубопроводами. Головным сооружением системы в этом случае служит водоподъемная станция, рассчитанная на необходимое наиболее целесообразное питание данной системы водой. Некоторые особенности имеет и устройство оросительной сети.

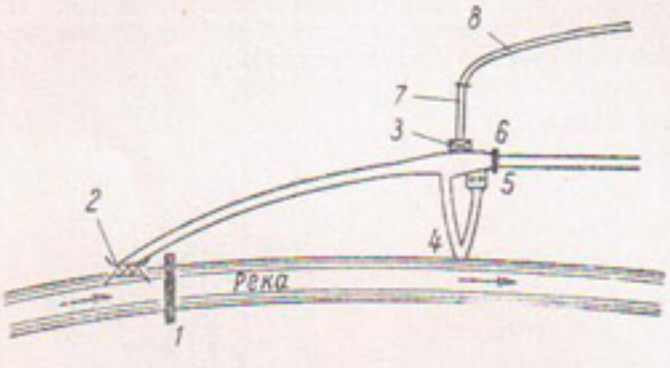


Рис. 206.

1 — водоподъемная плотина; *2* — головной регулятор; *3* — насосная станция; *4* — сброс; *5* — гидростанция; *6* — перегораживающее сооружение; *7* — напорный трубопровод; *8* — канал механического орошения.

Механический подъем воды необходим в большинстве случаев при орошении из колодцев, часто при орошении из прудов, когда нужно орошать вышележащие земли, и, наконец, при орошении из рек в тех случаях, когда отнесение головного сооружения вверх по реке или устройство высокой водоподъемной плотины оказывается нецелесообразным. Кроме того, механический подъем воды позволяет орошать высокорасположенные земли, часто лучшие по своим почвенным условиям.

Однако слабой стороной орошения с механическим водоподъемом является большая величина эксплуатационных расходов (стоимость энергии, особенно в случае тепловых двигателей, и ухода), в силу чего к этому виду орошения приходится прибегать в тех случаях, когда самотечное орошение невозможно или неприемлемо по техническим или по экономическим условиям и когда для подъема воды может быть подана достаточно дешевая энергия.

Орошение с механическим водоподъемом развито во всех странах, применяющих орошение; в СССР этим способом орошается свыше 550 тыс. гектаров.

Механический водоподъем применяется как для орошения всей данной площади целиком, так и для орошения отдельных, повышенных участков в пределах площади самотечного орошения (причем вода поднимается из реки или из оросительных каналов). Такое сочетание самотечного ороше-

ния и орошения с механическим подъемом воды во многих случаях вполне целесообразно; энергия для дополнительного подъема воды в самотечной системе нередко может добываться за счет использования гидравлической энергии, получаемой внутри самой системы в голове ее, или на перепадах оросительных каналов.

При получении гидроэнергии в головной части системы и устройстве насосной станции здесь же может применяться схема узла сооружений, показанная на рисунке 206. Получаемая в голове системы энергия может передаваться и на значительные расстояния в нужные пункты системы, где и располагаются насосные станции.

Гидроэнергия, получаемая внутри системы на перепадах, иногда может использоваться непосредственно, путем соединения насоса с водяной турбиной.

По роду получения воды механические установки в орошении можно разделить на две основные группы: 1) установки, берущие воду из открытых водоемов — рек, каналов, водохранилищ, озер, и 2) установки, поднимающие воду из колодцев; первые обычно крупнее по своим размерам, чем вторые.

2. РАЗМЕРЫ И РАСПОЛОЖЕНИЕ КАНАЛОВ

Пропускная способность каналов при орошении с механическим подъемом воды устанавливается на основе общих изложенных выше принципов (см. главу третью); однако при этом необходимо учитывать некоторые особенности. Вследствие более высокой стоимости воды должны быть: а) приняты меры к максимальному снижению расходов воды на орошение полей и потерь в каналах, а также к повышению к. п. д. системы; б) снижены коэффициенты форсировки каналов; в) просмотрен и укомплектован график режима орошения с точки зрения допустимого по сельскохозяйственным условиям согласования требований на воду с горизонтами воды в источнике орошения в целях уменьшения высот подъема воды и снижения мощности водоподъемной станции.

Режим орошения должен обеспечивать возможно меньшее значение мощности γQH и наибольшее ее постоянство.

Трассирование главных оросительных каналов при механическом водоподъеме, связанное с расположением насосных станций, может быть сделано по следующим четырем основным схемам.

Первая схема (рис. 207, *а*) — вся орошаемая площадь обслуживается одним главным «машинным» каналом CD, трассируемым по командным отметкам и получающим воду по напорному трубопроводу B от насосной станции A.

Вторая схема (рис. 207, *б*) — орошаемая площадь разделена на несколько (на рисунке — 3) зон подъема воды; каждая зона обслуживается своим главным оросительным каналом D_1, D_2 и D_3; каждый из этих каналов трассируется по высшим отметкам соответствующей зоны и получает воду по отдельному самостоятельному напорному трубопроводу B_1, B_2 и B_3, но от общей береговой насосной станции A.

Третья схема (рис. 207, *в*) — орошаемая площадь также разделяется на зоны, но питание каждого зонального канала водой производится не одной общей, а несколькими зональными насосными станциями, последовательно подающими воду от нижележащих к вышележащим зонам. При трех зонах имеются три насосные станции — A_1, A_2 и A_3. Первая береговая станция A_1 по напорному трубопроводу B_1 подает на высоту первой зоны расход воды, потребный на орошение всех трех зон. Вторая зональная насосная станция A_2 в голове канала D_1 по напорному трубопроводу B_2 подает на высоту второй зоны расход воды, необходимый на орошение второй и третьей зон. Третья зональная станция A_3 в голове канала D_2 по напорному трубопроводу B_3 подает на высшие отметки третьей зоны расход воды, потребный на орошение этой зоны.

Четвертая схема (рис. 207, *г*) — орошаемая площадь разделяется на зоны, причем каждая зона имеет вполне самостоятельное, независимое от других зон питание водой.

Эта схема обычно применяется при работе подвижных насосных станций.

При трех зонах, например, устраиваются три оросительных зональных канала, три отдельные береговые насосные станции, получающие воду каждая непосредственно из источника орошения, и три отдельных напорных трубопровода, подающих воду на каждую зону.

Вопрос о разделении площади орошения на отдельные зоны очень важен. Нужно установить, целесообразнее ли оросить данную площадь при помощи одной крупной водоподъемной установки, подающей воду на ороше-

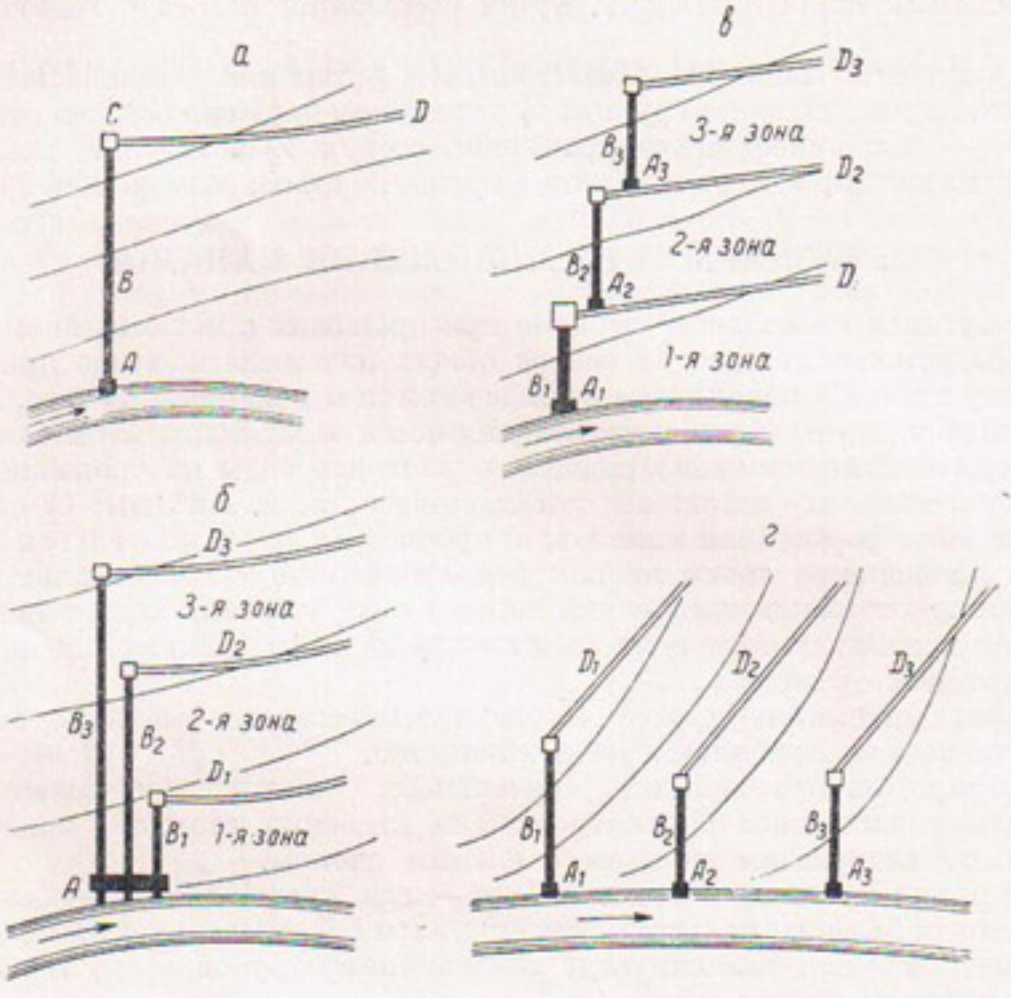


Рис. 207.

ние всей площади целиком, т. е. по первой схеме, или же при помощи нескольких установок меньшей мощности, подающих воду на орошение отдельных зон, расположенных на разных высотах, т. е. по схемам второй — четвертой. Оба эти решения задачи имеют свои достоинства и недостатки.

При одной зоне подъема мощность станции будет больше, чем сумма мощностей нескольких станций, орошающих отдельные зоны:

$$\frac{QγH}{75η} > \sum \frac{Q'H'γ}{75η_1},$$

так как в этом случае приходится всю воду, независимо от высоты ее потребления, поднимать на самую большую высоту, но зато имеется только одна станция и один магистральный канал, проходящий по высшим отметкам орошаемой площади.

При нескольких зонах разной высоты подъема суммарная мощность всех станций и мощность каждой отдельной станции будут меньше, но зато нужно несколько отдельных главных каналов; относительно дороже стоимость единицы поднятой воды, что повышает эксплуатационные расходы

и капитальные затраты. Насосные станции при нескольких зонах качания располагаются раздельно внизу каждой зоны (схемы третья и четвертая) или же соединяются в одно общее здание на берегу источника воды (схема вторая). Каждая из этих схем имеет свои достоинства и недостатки. Поэтому должно быть сделано экономическое и техническое сопоставление различных вариантов решения задачи в данных конкретных условиях и на основании этого выбран наивыгоднейший вариант числа зон качания и расположения насосных станций в отношении капитальных затрат и ежегодных расходов.

Выбор наивыгоднейшего варианта числа и расположения зон качания зависит от местных хозяйственных, топографических и других условий, которые и являются решающими; однако при решении этой задачи могут быть полезными некоторые предварительные общие соображения. Они основаны на установлении расположения зон качания или зональных станций, исходя из минимальной общей суммарной мощности их, так как мощность насосных станций в первую очередь определяет величину ежегодных эксплуатационных расходов и сильно влияет на капитальную стоимость станций.

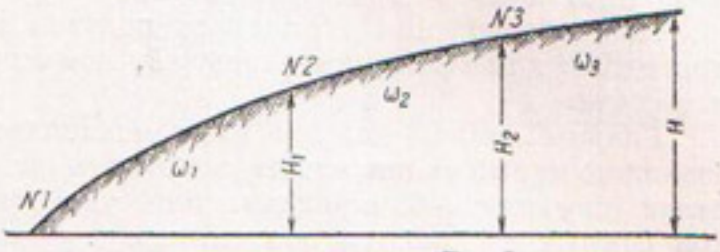


Рис. 208.

Предположим, например, что орошаемый склон разделен на три зоны (рис. 208) и что нижняя станция № 1 подает расход $Q=Q_1+Q_2+Q_3$ на высоту H_1; станция № 2 — расход Q_2+Q_3 на высоту H_2-H_1; наконец, станция № 3 подает расход Q_3 на высоту $H-H_2$.

Наименьшая общая мощность всех трех насосных станций будет при следующем высотном расположении их.

1. Склон имеет однообразный уклон; $H_1=0{,}5H_2=0{,}33H$, общая мощность трех станций в этом случае будет равна $\frac{2QH}{3\ 75\eta}$, т. е. на 33% меньше, чем при одной станции с высотой подъема H[1].

2. Склон имеет сильно выпуклую форму: $H_1=0{,}75H_2=0{,}63H$.

3. Склон имеет сильно вогнутую форму: $H_1=0{,}33H_2=0{,}18H$.

Из полученных соотношений видим, что с переходом от вогнутых склонов к выпуклым наивыгоднейшие отметки расположения первой и второй зон качания (H_1 и H_2) — при постоянной конечной высоте подъема воды H — постепенно повышаются.

Для орошаемых склонов, имеющих сложную форму, при предварительном выборе зон качания (установлении вариантов) может быть применен следующий метод, предложенный Г. П. Войнич-Сяноженцким.

Для трех станций общая мощность их при более или менее сходных условиях орошения каждой зоны равна:

$$N=k\left[\omega H_1+(\omega_2+\omega_3)(H_2-H_1)+\omega_3(H-H_2)\right]=k(\omega_1H_1+\omega_2H_2+\omega_3H),$$

где $k=\frac{q\gamma}{75\eta}$, причем q — расчетное значение гидромодуля орошения площади.

Это выражение можно преобразовать так:

$$N=k\left\{\omega H-\left[(\omega_1+\omega_2)(H-H_2)+\omega_1(H_2-H_1)\right]\right\}.$$

Мощность всех станций будет минимальной в том случае, когда выражение, стоящее в квадратных скобках, будет иметь максимальное значение, так как ωH — величина заданная.

В выражении $[(\omega_1+\omega_2)(H-H_2)+\omega_1(H_2-H_1)]$ площадь $(\omega_1+\omega_2)$ — орошаемая площадь, командуемая горизонталью H_2; площадь ω_1 — орошаемая площадь, командуемая горизонталью H_1.

Максимальное значение указанного выражения находят следующим образом.

1. Определяют размеры возможных и пригодных к орошению площадей, командуемых горизонталями с отметками, начиная от H и ниже, т. е. площади орошения, командуемые горизонталями H, $(H-1)$, $(H-2)$, $(H-3)$ и т. д. метров.

---

[1] При равенстве $Q_1=Q_2=Q_3$.

2. Зная эти площади командования и задаваясь различными отметками H_2 и H_1 (при заданной высшей отметке орошения H), получают величины произведений $(\omega_1+\omega_2)(H-H_2)$ и $\omega_1(H_2-H_1)$ и суммируют их.

3. Наибольшее значение полученной суммы определит отметки H_1 и H_2, дающие минимум суммарной мощности зональных станций[1].

Полученные указанным путем отметки являются предварительными; окончательное место расположения каждой водоподъемной станции должно быть выбрано таким образом, чтобы, кроме наивыгоднейшей мощности, оно соответствовало бы расположению хозяйственных площадей и обеспечивало: а) наименьшую длину и стоимость нагнетательного и всасывающего трубопроводов; б) нужные условия постройки станции, установки двигателей и насосов; в) надлежащее расположение водозаборных сооружений.

Наиболее выгодные трассы зональных каналов должны проходить на таких отметках, при которых получаются наибольшие величины командуемых, пригодных к орошению площадей на единицу высоты подъема.

Для определения этих трасс полезно построить график зависимости пригодных для орошения площадей, командуемых разными горизонталями местности.

Главный канал каждой зоны механического орошения должен иметь возможно малый уклон, чтобы уменьшить высоту подъема воды — при сохранении командуемой площади, или увеличить площадь командования — при сохранении высоты подъема воды. Однако при малом уклоне уменьшается скорость воды, увеличивается живое сечение и стоимость канала и возникает опасность заиления; все это нужно учесть при назначении уклона каналов.

При механическом водоподъеме из рек или прудов, когда насосная станция удалена от командных отметок орошаемой площади и магистральный канал приходится вести в трудных условиях, может быть целесообразной замена канала напорным трубопроводом.

При орошении некрупных площадей, сложном рельефе и непостоянной периодической работе насосных станций (особенно в районах неустойчивого увлажнения) весьма целесообразным является *применение подвижных насосных станций*, работающих в сочетании с закрытыми трубопроводами. Это весьма облегчает и удешевляет устройство оросительных систем и снижает затраты на единицу орошаемой площади по сравнению с применением постоянных станций в вышеуказанных условиях.

Расположение хозяйственных и других каналов при орошении с механическим водоподъемом должно быть увязано с соответствующим расположением главных каналов на основе тех же принципов, что были рассмотрены для самотечного орошения.

3. РЕЖИМ РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Для расчета режима работы оросительной водоподъемной станции необходимо: 1) установить режим орошения обслуживаемой данной станцией площади, т. е. изменения во времени необходимых для орошения расходов воды (брутто), в соответствии с размерами и условиями орошаемой площади; 2) определить режим источника орошения, т. е. колебания его расходов и горизонтов воды во времени в течение оросительного периода; 3) сообразно колебаниям горизонтов воды в источнике орошения и необходимой отметке поднятия воды определить высоты подъема воды и их изменения во времени.

Колебания расходов и высот подъема перекачиваемой воды изображаются на графиках, по которым строится общий график нужной мощности станции и ее изменений во времени (рис. 209).

На графике мощности по ординатам откладываются значения $N=\frac{\gamma QH}{102\eta}$ *квт*, где Q и H — значения поднимаемого расхода в *м*³/*сек* и необходимого полного напора воды в данный момент времени, в *м*; γ — вес единицы объема воды; η — коэффициент полезного действия станции.

[1] Примеры установления зон качания даются в «Пособии для упражнений по мелиорации», под редакцией А. Н. Костякова. Сельхозгиз, М., 1940. *Прим. автора.*

Для постоянных насосных станций нужно после построения графика мощности станции решить вопрос о типе и числе машин (насосов и двигателей), так как от удачного выбора числа насосных агрегатов в значительной степени зависит к. п. д. станции и эффективность орошения.

Для решения означенной задачи полезно перестроить график режима канала так, чтобы потребные расходы воды расположились в убывающем по величине порядке (рис. 210).

Из этого графика видно, что при установке с одним насосом последний будет работать с полной производительностью Q_1 только в течение време-

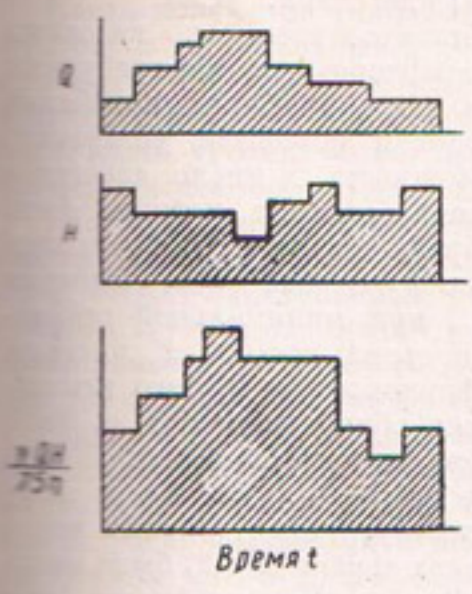


Рис. 209.

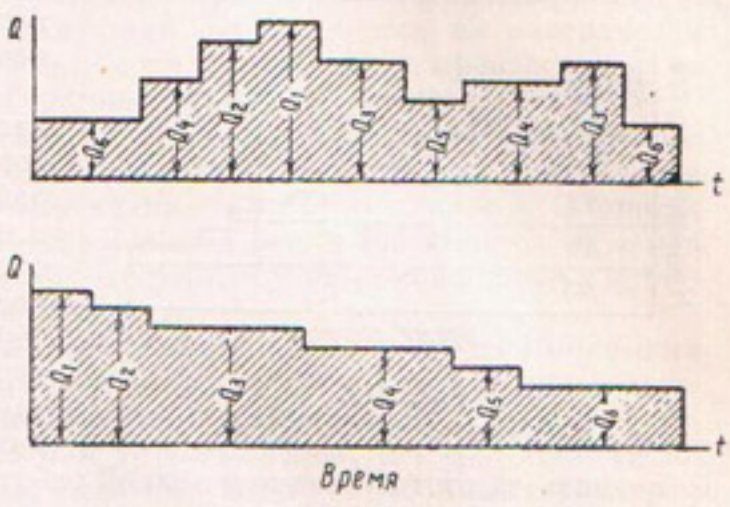


Рис. 210.

ни t_1. В остальное же время придется регулировать работу насоса в пределах от Q_{min} до Q_{max}, изменяя число оборотов или прикрывая задвижку на трубе. Однако подобное регулирование без заметного понижения к. п. д. возможно только в ограниченных пределах. Поэтому, если требуемые расходы подачи воды велики и колебания значений Q_1 и Q_6 больше допустимого предела регулировки насоса, нужно ставить вместо одного большого насоса несколько насосов меньшей производительности; это облегчает и установку запасных агрегатов на случай ремонтов и аварий. Одним агрегатом обходятся при небольшой мощности станции, когда изменения подачи воды могут регулироваться за счет продолжительности работы насоса; в этом случае в периоды меньшей потребности в воде подают нормальный расход, но соответственно сокращают время подачи. Работа с нормальным расходом увеличивает к.п.д.



Рис. 211.

При выборе мощности постоянной станции и числа насосных агрегатов могут быть следующие варианты.

1. Диаграмма подачи воды делится в вертикальном направлении (рис. 211); ставится несколько насосных агрегатов различной мощности, причем одновременно будет работать один агрегат соответствующей мощности. Это решение ведет к усложнению станции и повышению ее стоимости.

2. Диаграмма подачи воды делится в горизонтальном направлении (рис. 212); ставится несколько агрегатов одинаковой мощности (пунктирные

горизонтальные линии показывают среднюю нормальную мощность каждого агрегата), причем одновременно работает несколько агрегатов, сообразно потребному расходу воды на орошение в данный период (с необходимой регулировкой подачи каждого агрегата по мере надобности).

В этом случае легче ремонтировать и заменять машины, нужно меньшее число запасных машин на случай аварий, и они стóят дешевле. Резерв производительности насосных станций обычно составляет 15—20%. Однако работа малых насосов в совокупности дает при подаче одного и того же общего количества воды меньший коэффициент полезного действия.

3. Возможно и третье решение задачи. Ставится несколько насосных агрегатов разной мощности, в соответствии с характером режима требуемых подач воды, графиком колебаний расходов и мощности установки.

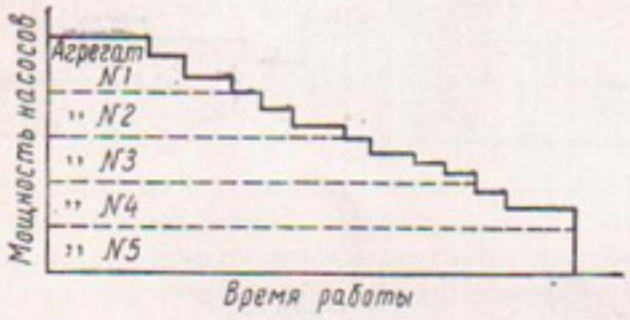


Рис. 212.

Мощность и число агрегатов насосной станции должны быть подобраны так, чтобы: 1) станция работала с наиболее высоким к.п.д., при минимальной стоимости подъема воды и с высоким коэффициентом полезного использования оборудования (т. е. отношением фактически поднятой воды за оросительный период к тому количеству, какое станция могла бы поднять за этот период при полной работе всех агрегатов); 2) была минимальной потребность в регулировке насосов; 3) в случае надобности была обеспечена круглосуточная подача воды; 4) легче обеспечивалась установка резервных агрегатов.

Мощность и число насосов выбирают по графику режима подачи воды на орошение, при этом должна учитываться возможная и целесообразная емкость регулирующего резервуара. Работа насосной станции с постоянным расходом воды и, следовательно, малое число агрегатов на станции (например, один основной и один запасный) требует большей емкости резервуара (для согласования подачи с графиком потребления воды) и потому возможна только при небольших станциях, обслуживающих небольшие орошаемые площади, или же при станциях первого подъема, перекачивающих воду в запасный резервуар. Для более или менее крупных станций согласование режима подачи станции с графиком водопотребления делается за счет работы станции с переменными расходами (разным числом насосов), с дополнительным подпитыванием из резервуара, что требует значительного числа агрегатов на станции, но уменьшает нужную емкость резервуара.

Производительность насосов, работающих на общий трубопровод, меньше суммы производительностей каждого насоса в отдельности, и потому при параллельной работе нескольких насосов нужен анализ совместной работы их и определение эксплуатационных расходов при каждом варианте числа и мощности агрегатов. Регулирование подачи воды насосной станцией достигается соответствующим подбором числа и периода одновременно работающих агрегатов (или подвижных станций).

Подача одним насосом регулируется: 1) изменением числа оборотов насоса (что зависит от типа двигателя) или 2) изменением величины выходного отверстия посредством задвижек на нагнетательных трубах (не больше 15—20%, так как иначе сильно снижается к.п.д.).

Типы насосных станций для подъема воды на орошение обусловливаются следующими основными факторами:

1) характером источника орошения, причем здесь в первую очередь приходится выделить открытые водоисточники (реки, каналы, водохранилища) и колодцы;

2) режимом источника орошения, колебаниями горизонтов и положением минимального горизонта воды по отношению к поверхности земли;

3) режимом подачи воды на орошение — нужной величиной подаваемого расхода, высотой подъема его и колебаниями их в течение оросительного сезона; в особенности важное значение имеет периодичность работы насосной станции;

4) характером берегов источника орошения;

5) экономическими, хозяйственными и техническими условиями орошения (наличие оборудования, энергии).

Когда колебания горизонтов воды в источнике орошения сравнительно невелики и минимальный горизонт воды в нем в оросительный период не опускается ниже 5—6 *м* от поверхности, применяют открытые насосные станции, у которых и насосы и двигатели располагаются на поверхности земли выше уровня воды. При этом, если подъем воды производится из открытых водоемов, устраивают береговые насосные станции.

Если колебания горизонтов воды в источнике орошения значительны и минимальный горизонт воды в нем опускается ниже 5—6 *м* от поверхности земли, строят заглубленные насосные станции, у которых насосы (а иногда и двигатели) устанавливают ниже поверхности земли (не выше 5—6 *м* над минимальным горизонтом воды в источнике) и в периоды высоких вод в источнике могут оказаться ниже горизонта воды в нем.

При заборе воды из открытых водоисточников с большими колебаниями горизонтов применяют заглубленные и плавучие или передвижные насосные станции; при подъеме же воды из колодцев используют установки с насосами, расположенными в шахте или трубе колодца, и с двигателями на поверхности или в шахте колодца. При сравнительно небольших размерах орошаемых площадей и, главное, при прерывистом во времени режиме работы их применяются не стационарные, а передвижные насосные станции, перемещаемые в течение оросительного сезона от одного орошаемого участка к другому (и обратно) и обслуживающие таким образом несколько отдельных участков. Передвижные станции в некоторых случаях могут играть роль отдельных дополнительных агрегатов постоянных насосных станций или зональных станций.

Типы насосных станций различаются, далее, в зависимости от размеров обслуживаемой ими орошаемой площади, поднимаемого расхода воды и высоты напора. Если орошаемая площадь и расходы поднимаемой воды значительны, лучшими являются станции с центробежными насосами — при больших и средних напорах воды, и станции с пропеллерными насосами — при малых напорах (хотя они и требуют быстроходных двигателей). Если орошаемая площадь и количество поднимаемой воды невелики, то делаются станции с центробежными горизонтальными и вертикальными насосами, а при очень больших высотах подъема воды (например, из колодцев) и чистой воде — с поршневыми насосами.

При малых расходах и напорах воды в простейших случаях применяются нории, чигири, водоподъемные колеса и др.

Главнейшие (главным образом стационарные) типы насосных станций для подъема воды при орошении схематически показаны вт аблице 42 (стр. 329).

Выбор подъемного механизма, как видно из данных таблицы 42, зависит от следующих причин: 1) размеров орошаемой площади и количества поднимаемой воды; 2) высоты подъема и нужного напора воды; 3) характера источника воды (например, для колодцев не все типы подходящи; вода с большим содержанием наносов не допускает некоторых водоподъемников); 4) местных условий (наличия падения воды для работы гидравлических таранов или колес); 5) характера орошаемой площади и экономических условий (стоимости энергии, ухода, продолжительности работы).

Применение центробежных и пропеллерных насосов для подъема воды в орошении наиболее целесообразно, так как эти насосы допускают подъем воды, содержащей наносы, дешевы, компактны, имеют мало частей, подверженных порче, обслуживание их простое, поднимают значительные количества воды, имеют высокий к. п. д. Высота, на которую в большинстве случаев приходится поднимать воду при орошении, составляет от 5 до 20 *м*.

На насосных станциях устанавливают как горизонтальные, так и вертикальные центробежные насосы. Первые применяются в том случае, когда насос стоит выше того горизонта воды, с которого он берет воду. В этом случае при пуске в ход необходимо предварительное заполнение водой всасывающей трубы и камеры насоса. Вертикальные насосы часто ставятся затопленными, отчего к. п. д. повышается. Однако они имеют длинный вал, поддерживаемый особыми направляющими, и сложной конструкции подшипники и подпятник, в которых вращается вал.

При установках с центробежными насосами очень важно выбирать двигатели с регулировкой числа оборотов; изменяя число оборотов насоса, можно поддерживать нормальный режим его работы. Кроме того, двигатели (особенно электромоторы и внутреннего сгорания) надо выбирать с некоторым запасом (10—15%) мощности, чтобы, по мере старения и загрязнения труб и насоса и увеличения сопротивлений, можно было обходиться тем же двигателем.

Пропеллерные и винтовые насосы применяются главным образом в тех случаях, когда насосная станция должна поднимать большие расходы воды на небольшую высоту (не более 6—10 *м*). Эти насосы требуют быстроходных двигателей (электромоторы, паровые турбины), и в этом случае дают высокий к. п. д.

Поршневые насосы в орошении применяются редко и главным образом для подъема воды из колодцев, так как они не могут работать при загрязненной воде и лучше отвечают условиям подъема небольших количеств воды на большую высоту. Имея небольшой диаметр, они могут быть опущены в трубчатые колодцы и поднимать воду со значительной глубины и включаются в работу без предварительного заполнения водой.

Поршневые насосы, сохраняя одну и ту же высоту подъема воды H, позволяют поднимать различные количества воды Q, изменяя лишь число оборотов; кроме того, эти насосы работают при меньшем числе оборотов двигателя [1].

В самых небольших и простейших оросительных установках иногда применяются нории и чигири.

Эти механизмы, приводимые в движение чаще всего животными (лошадьми, верблюдами), представляют колесо, на окружности которого помещается бесконечная цепь с рядом черпаков или ковшей, опущенная в водоем, откуда берут воду.

Производительность нории или чигиря составляет:

$$Q = 0{,}8mq\frac{v}{S}\ м^3/сек,$$

где S — длина цепи;

m — число черпаков;

q — объем одного черпака, в $м^3$;

v — скорость цепи, в $м/сек$ (обычно $v = 0{,}15\ м/сек$);

0,8 — коэффициент поправки на утечку воды в черпаках.

Величина Q колеблется от 2 до 15 $л/сек$, а высота подъема воды не более 10 *м*.

Кроме больших затрат труда, при чигирном орошении требуется густая мелкая сеть, большая продолжительность полива, невозможна механизация сельскохозяйственных работ. Этот вид орошения находит иногда применение при поливе небольших подсобных участков, но он совершенно не соответствует требованиям орошения более или менее крупных участков.

Береговые станции располагаются на берегу водоисточника (в некотором удалении от уреза воды) или же на эстакаде. Положение станции должно быть выбрано с таким расчетом, чтобы она не затоплялась высокими водами.

Береговая насосная станция показана на рисунке 213 (при средних высотах подъема около 6—8 *м*). Одна из электрифицированных насосных станций на р. Куре в Азербайджане, размещенная на эстакаде, показана на рисунке 214.

Заглубленная насосная станция (рис. 215) представляет более или менее глубокую шахту, на дне или в нижнем этаже которой располагаются насосы; всасывающая труба насоса проходит через боковую стенку или дно шахты к приемной камере открытого водоема. Насосная станция располагается на берегу или выдвигается в самый водоем; выбор того или другого типа зависит от мощности станции, характера берега, колебаний горизонтов и зимнего режима водоема.

Чтобы можно было вынести моторы на поверхность земли, необходимо применение вертикальных центробежных насосов. Насосная станция с такими насосами показана на рисунке 216.

Заглубленные насосные станции имеют один этаж, где размещаются и насосы и двигатели, или же два этажа: в верхнем устанавливаются двигатели, а в нижнем — насосы, трубы, их соединения, задвижки и пр. Ниже пола насосного этажа обычно делается помещение (галерея, подвал), где заложены трубы.

---

[1] См. более подробно М. М. Флоринский. Насосы и насосные станции, изд. 2-е СХГ, М., 1959.

Таблица 42

Источник орошения	Колебания горизонтов воды небольшие Минимальный горизонт <5—6 м		Колебания горизонтов воды большие Минимальный горизонт >5—6 м		Колебания горизонтов очень большие
Открытые водоисточники	Береговые станции		Заглубленные (затопленные) станции		Плавучие насосные станции на понтоне с оборудованием сообразно отношению Q и H
	высота подъема		высота подъема		
	большая	малая	большая	малая	
ω и Q большие	Станции с центробежными насосами	Станции с пропеллерными насосами	Станции с вертикальными центробежными насосами	Станции с центробежными насосами	
ω и Q небольшие	Станции с центробежными или с поршневыми насосами	Станции с центробежными насосами, нории или чигири	Станции с вертикальными центробежными или с поршневыми насосами	Станции с центробежными насосами	Передвижные, перемещаемые по берегу насосные станции, или плавучие
Колодцы	Насосы и двигатели на поверхности		Насосы в шахте или в колодце; двигатель на поверхности или в шахте		Установки с насосами в шахте или колодце и с двигателем на поверхности или в шахте
	высота подъема		высота подъема		
	большая	малая	большая	малая	
ω и Q значительные	Установки с центробежными насосами	Установки с центробежными насосами	Установки с вертикальными центробежными или с турбинными насосами	Установки с центробежными насосами	Насосы поршневые, турбинные, вертикальные, центробежные. Эрлифты, компрессоры
ω и Q небольшие	Установки с центробежными или с поршневыми насосами	Установки с центробежными или с поршневыми насосами	Установки с поршневыми или с турбинными насосами	Установки с центробежными или с поршневыми насосами	

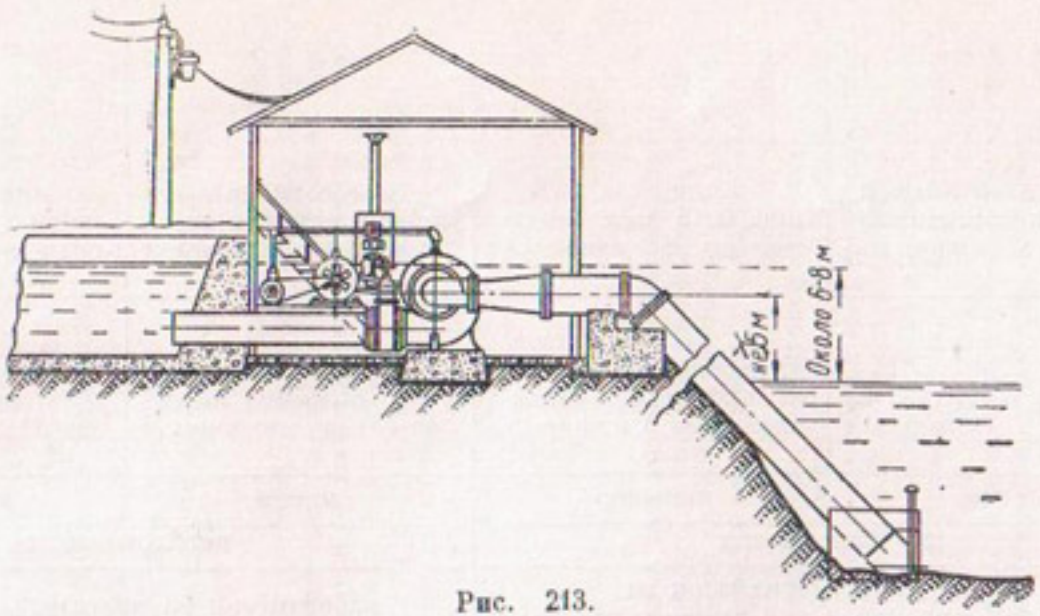


Рис. 213.

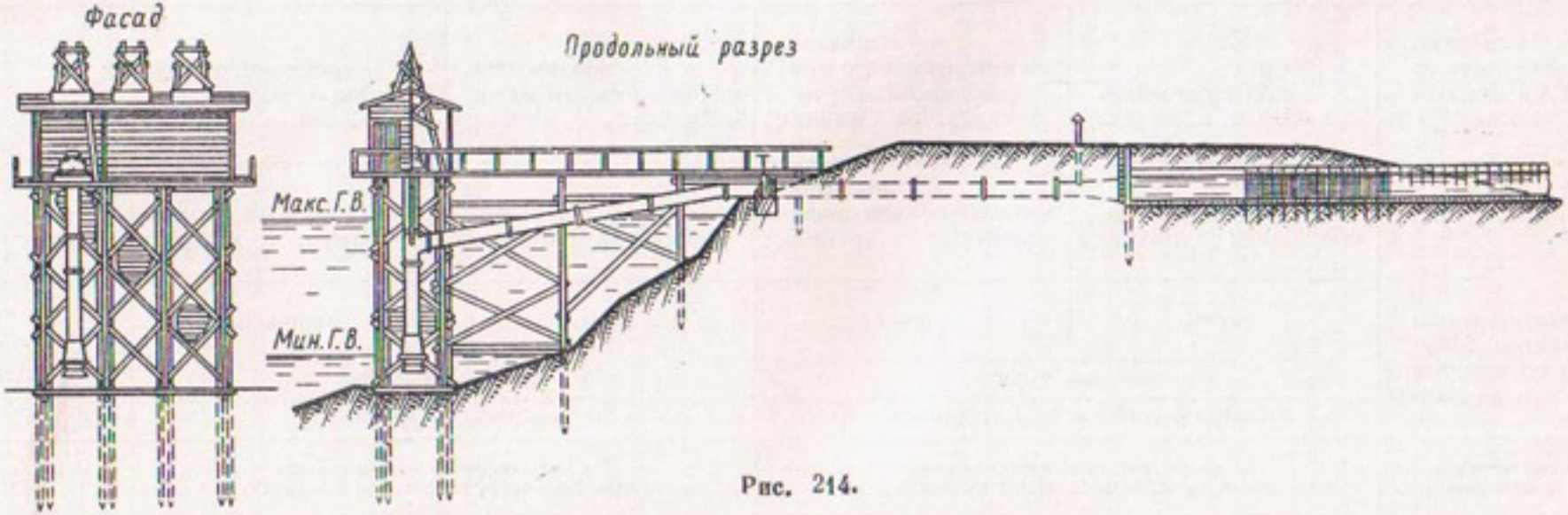


Рис. 214.

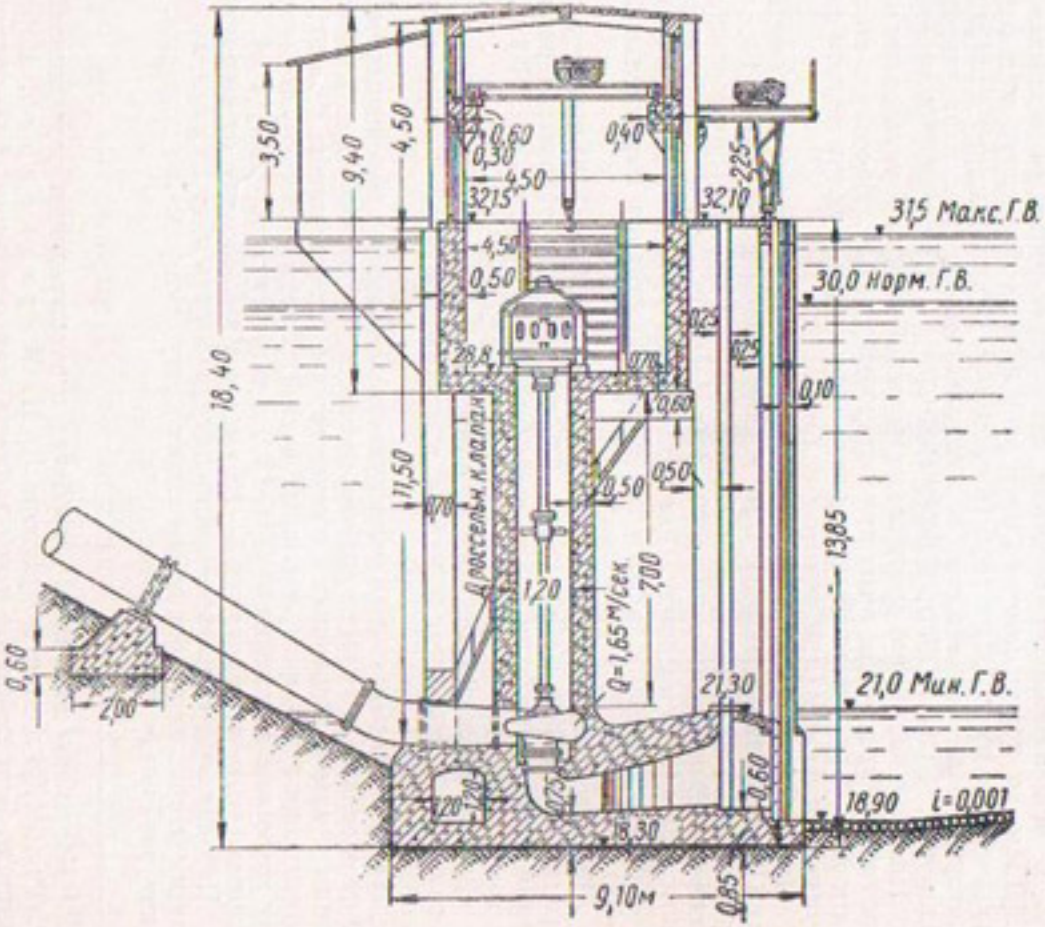


Рис. 215.

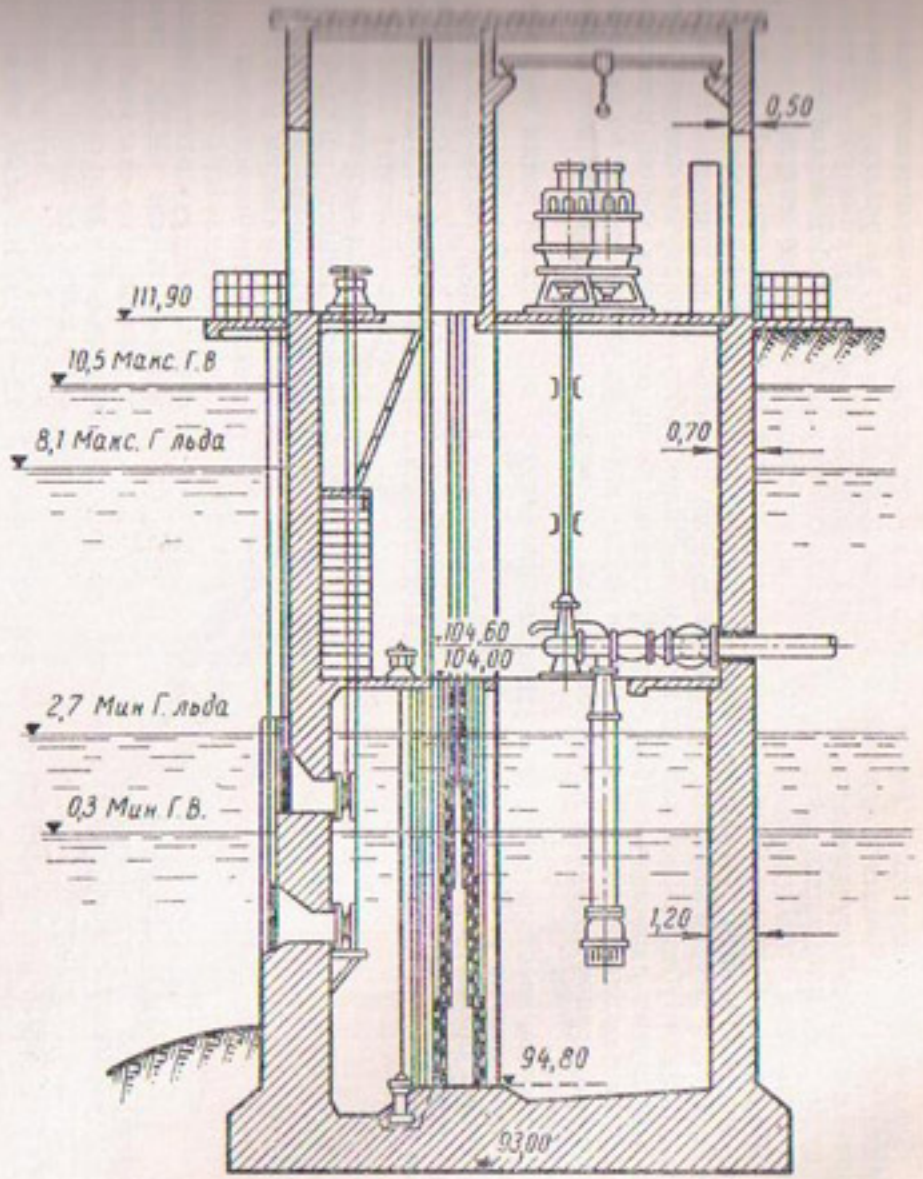


Рис. 216.

Здание заглубленной станции должно быть защищено от проникновения поверхностных, фильтрационных и грунтовых вод изоляцией стен и пола, устройством дренажа, а иногда и откачкой грунтовых вод. Кроме того, оно должно быть предохранено от всплывания путем придания шахте достаточно солидной конструкции. Эти обстоятельства и глубокое заложение труб удорожают стоимость заглубленных насосных станций.

При очень больших колебаниях горизонтов воды в водоеме (свыше 8—10 *м*) может быть целесообразным устройство вместо заглубленной — плавучей насосной станции (рис. 217), все механическое оборудование которой помещается на понтоне или барже. С постоянным трубопроводом или с напорным бассейном на берегу плавучая станция соединяется плавучим напорным трубопроводом, состоящим из отдельных секций и расположенным на металлических понтонах, или же гибким шлангом, укладываемым по дну реки. На зимний период плавучая насосная станция буксиром уводится в затон для защиты от ледохода.

Плавучие насосные станции с успехом применяются при реконструкции механического орошения на р. Куре в Азербайджанской ССР.

Очень удобны для орошения относительно некрупных земельных участков, и особенно не требующих регулярных поливов, передвижные насосные станции. В настоящее время имеются два типа передвижных насосных станций, смонтированных или на швеллерной раме—салазках ПНС-Т2××6НДВ или на тракторном колесном прицепе ПНС-130/63. Каждая насосная станция снабжена всасывающим и нагнетательным трубопроводами.

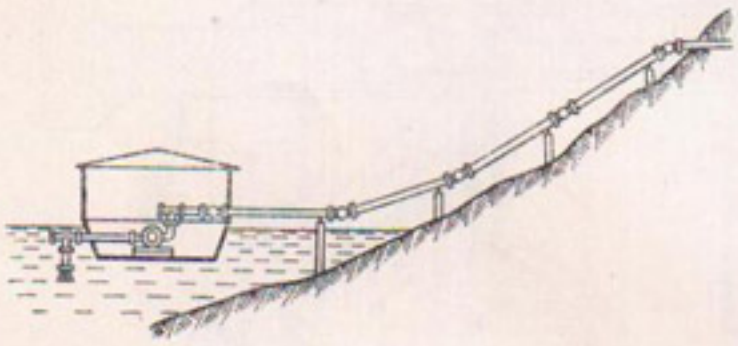


Рис. 217.

Станция ПНС-Т2×6НДВ состоит из двух центробежных насосов марки 6НДВ, смонтированных на стальной раме, сделанной в виде салазок. Насосы имеют диапазон расходов воды 32—180 *л/сек* и напоров 12—76 *м*. На раме, кроме насосов, установлен редуктор для увеличения числа оборотов вала насосов с 545 до 815 в минуту. С водоисточником насосная станция соединяется всасывающим трубопроводом d=250 *мм*, на конце которого поставлен приемный раструб с сеткой. Напорный трубопровод сделан из сборных труб (d=350 *мм*). Станция приводится в действие трактором, с которым она соединяется с помощью карданного вала; используются тракторы «Беларусь», КДП-35, ХТЗ, ДТ-54, С-80[1].

На напорной линии сразу же за насосной станцией установлен обратный клапан для недопущения вытекания воды при остановке насосов. Насосную станцию и трактор располагают на берегу водоисточника параллельно берегу (при крутом склоне) или перпендикулярно к берегу (при пологом склоне).

При небольшой высоте подачи воды (менее 17 *м*) насосы могут подавать воду самостоятельно (параллельная работа). При высоте подачи воды больше 17 *м* насосы работают последовательно, т. е. один насос подает воду во второй. Производительность насосов при параллельной работе составляет 80—120 *л/сек* (290—400 *м*³/*час*), а напор 22—38 *м*. Число оборотов 800—1200 в минуту. При подаче воды на высоту 50 *м* и более используется трактор С-80 и производительность насосной станции при параллельной работе составляет 90—180 *л/сек*.

Передвижная насосная станция ПНС-130/63 (рис. 218) имеет при оптимальном режиме расход воды 130 *л/сек* и напор 63 *м* при числе оборотов агрегата 1325 *об/мин*. Эта станция смонтирована на раме автомобильного прицепа У2-АП-3 к грузовику ЗИС-150 или трактору С-80.

Станция оборудована дизель-мотором Д-6 мощностью 150 *л. с.* и центробежным насосом 8НДВ. Она имеет подвесной всасывающий (d=250 *мм*) разборный напорный трубопровод (d=350 *мм*).

На близкие расстояния насосную станцию можно перевозить на прицепе к трактору С-80 на салазках (по слегка спланированной борозде; скорость 7 *км/час*). На далекие расстояния станцию перевозят в кузове грузовой автомашины ГАЗ-51, ЗИС-150 и др. с соответствующим разбором отдельных частей. Трубы, арматуру и насосную станцию перевозят грузовым автомобилем ЗИС-150, а также тракторами ДТ-54, СТЗ, С-80 и др. Допустимые скорости перевозки 8—15 *км/час*, в зависимости от состояния дороги.

Передвижные насосные станции могут забирать воду из реки, водохранилища, канала и других открытых водоемов, имеющих доступные условия подъезда. Для доставки воды служат разборные трубопроводы.

---

[1] Подробное описание устройства и эксплуатации передвижной насосной станции ПНС-Т2×6НДВ дается в брошюре З. И. Мотельского. Передвижные насосные станции и быстросборные трубопроводы для орошения. Сельхозгиз, М., 1956. *Прим. автора.*

При заборе воды из колодцев и при глубине залегания минимального горизонта грунтовых вод не более 5—6 м насос и двигатель могут быть расположены на поверхности земли; при большей глубине залегания минималь-

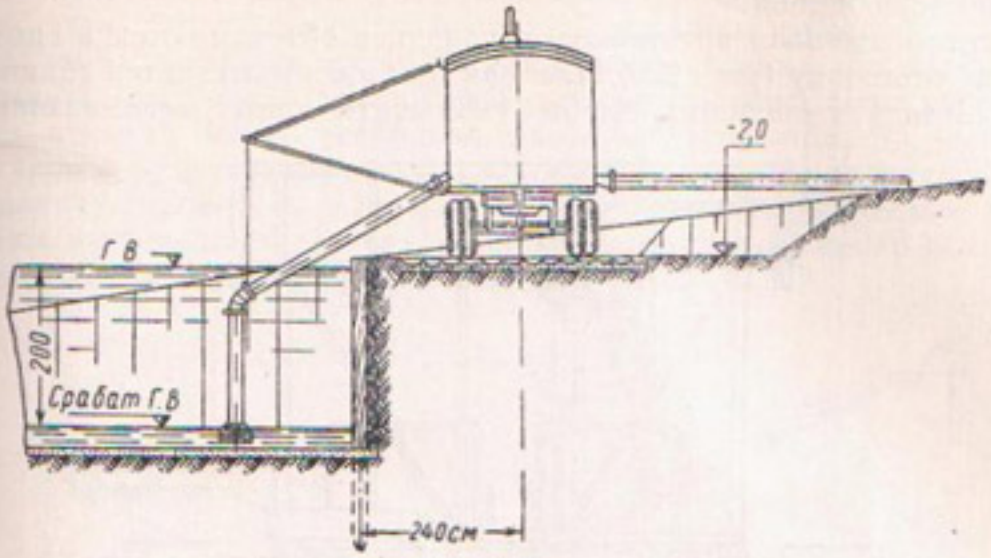


Рис. 218.

ного горизонта грунтовых вод насос помещается на дне шахты, а двигатель — на поверхности земли.

При значительной глубине грунтовых вод и шахты колодца применяются вертикальные центробежные насосы — простые или ступенчатые (рис. 219).

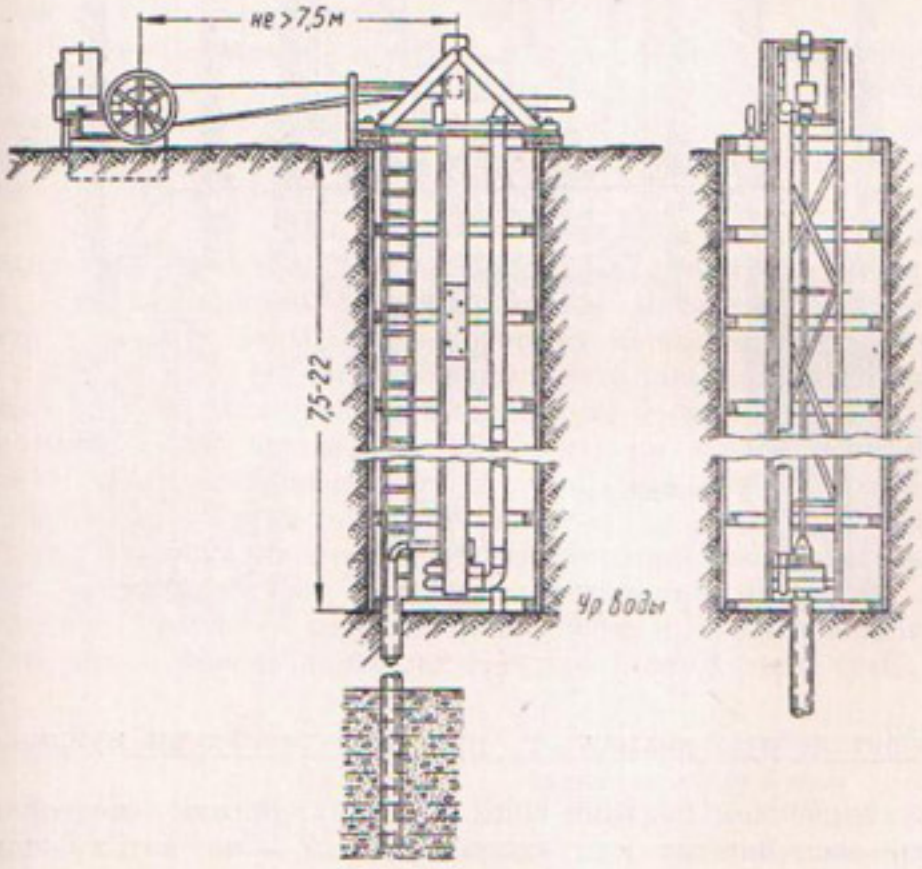


Рис. 219.

Вертикальные насосы особенно целесообразны в тех случаях, когда уровень воды в колодце сильно колеблется и возможно затопление шахты водой.

При орошении из глубоких трубчатых колодцев применяют вертикальные турбинные центробежные насосы, опускаемые в трубу колодца и позво-

ляющие поднимать воду на высоту до 100 *м*. Эти насосы имеют производительность от 30 до 220 *л/сек* при диаметре колодцев 30—75 *см*. Они приводятся в движение электромоторами с вертикальной осью, устанавливаемыми над скважиной.

Иногда несколько артезианских колодцев объединяются в одну общую насосную установку (рис. 220). Так как при этом приходится сближать расстояние между колодцами, чтобы уменьшить длину всасывающих труб,

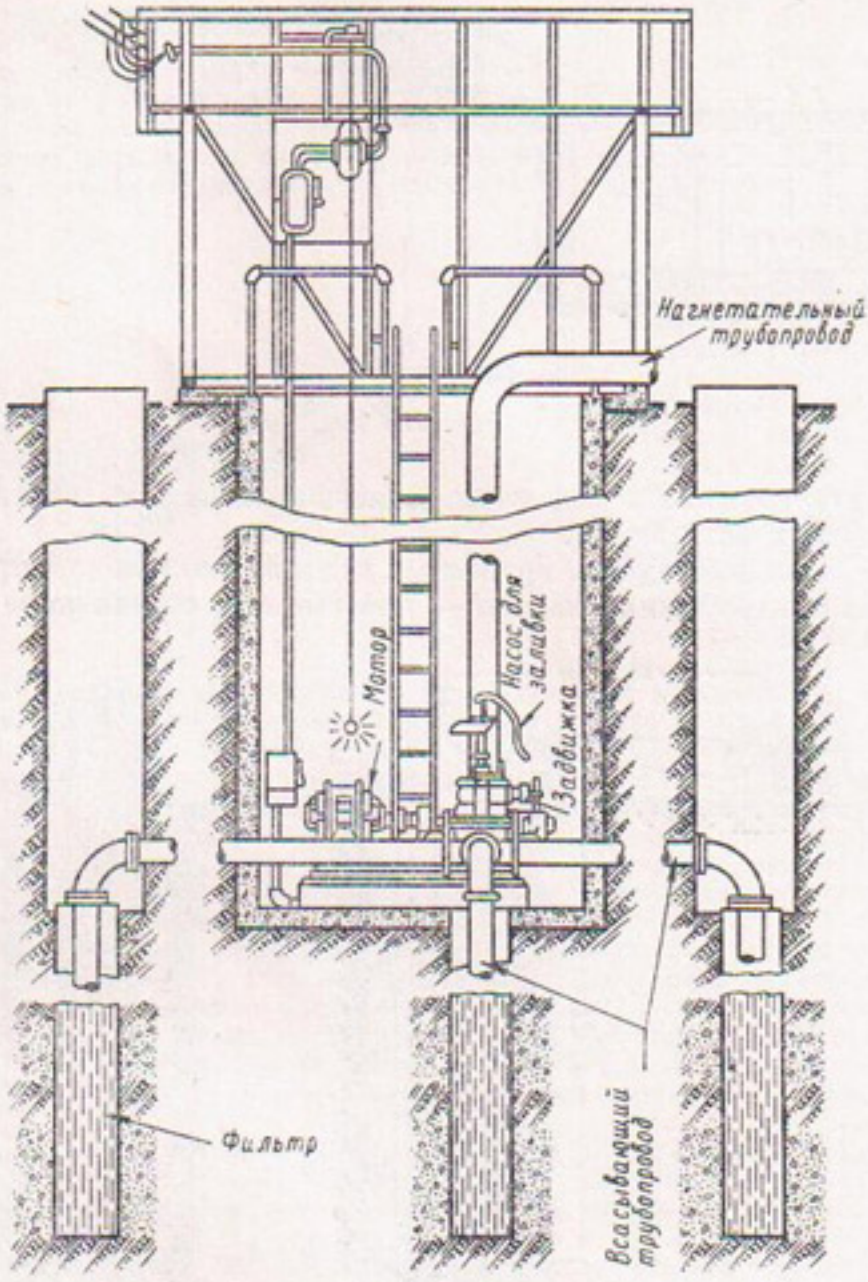


Рис. 220.

а это снижает дебит колодцев, то при проектировании нужно сравнение вариантов.

При механическом подъеме воды из водохранилища насосная станция может быть расположена как выше плотины — на водохранилище, так и ниже плотины — в нижнем бьефе реки с попуском в нее необходимых расходов воды из водохранилища. Исходя из этого, определяют, будет ли насосная станция заглубленной или открытой.

При заборе воды из рек насосные станции, во избежание занесения наносами водоподводящих сооружений, располагают на прямом или вогнутом участке реки или канала так, чтобы подход воды к водозаборным устройствам происходил наиболее плавно, т. е. под острым углом (порядка 25—35°) к направлению течения воды в реке или канале; в голове подводящих

сооружений желательно устройство шандорной стенки. Входные скорости воды в водозаборном сооружении не должны превышать скоростей в реке или канале, во избежание подсасывания донных наносов.

При заборе воды из рек с меняющимся руслом (во избежание подмыва станции) вода подводится особым водоподводящим рукавом; для предохранения этого рукава от занесения наносами поперечное сечение его нужно рассчитывать на пропуск только необходимого расхода воды насоса. Если насосная станция имеет несколько насосных агрегатов, то желательно, чтобы каждый агрегат имел возможность изолированного питания водой, т. е. отдельную камеру и раздельное водоподводящее устройство. При вертикальных затопленных насосах устройство отдельных камер обязательно, чтобы можно было ремонтировать каждый насос.

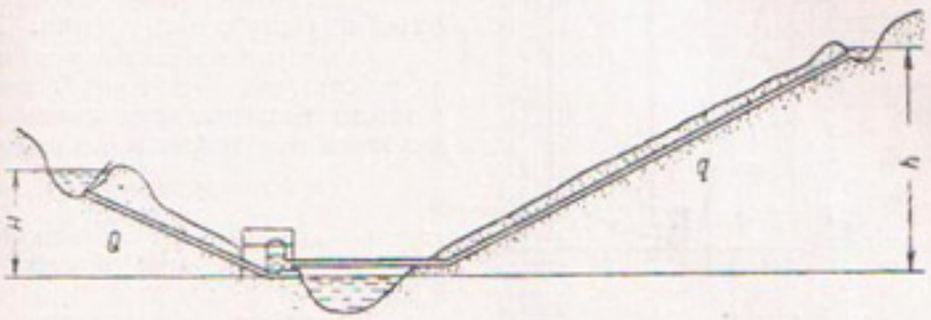


Рис. 221.

Входные отверстия водоприемных сооружений должны быть закрыты решетками, а на концах всасывающих труб поставлены сетки для предохранения от крупных наносов.

Входной конец водоприемника и клапан всасывающих труб должны быть ниже уровня стояния самых низких вод в водоеме не меньше чем на 0,5 м. Насосная станция должна быть расположена возможно ближе к месту забора воды, чтобы длина всасывающего трубопровода была небольшой.

Особую группу водоподъемных установок составляют *установки, основанные на использовании энергии воды* и представляющие сочетание водоподъемного механизма и гидравлического двигателя. Для применения таких установок источник орошения должен располагать падением воды, силу которого можно использовать. В этих установках расход воды Q, поступающий в установку, делится на две части: рабочий расход Q_0 и расход поднимаемой воды q, так что $Q=Q_0+q$, причем расход Q_0 значительно превышает q, так что на орошение можно использовать только часть расхода источника. Особенно пригодны эти установки при использовании внутрисистемной энергии оросительных каналов для подъема части их воды на орошение высокорасположенных земель.

К этой группе относятся следующие установки.

А. Источник орошения имеет падение воды, сосредоточенное на коротком протяжении, и обеспеченный сток отработавшей воды (табл. 43).

Таблица 43

Используемое падение воды в источнике	Расход поднимаемой воды	
	небольшой	значительный
Небольшое	Гидравлический таран	Гидропульсор
Значительное	—	Гидротурбонасос

Б. Источник орошения имеет падение воды, распределенное на более или менее значительной длине, и достаточные скорость и количество проте-

кающей воды, чтобы поднимать требуемые (небольшие) количества воды на нужную (небольшую) высоту. Сюда относятся водоподъемные колеса.

Установки с гидравлическими таранами (рис. 221, 222) поднимают небольшие количества воды на значительную высоту и потому пригодны для орошения небольших более или менее высокорасположенных участков (обычно менее 80—100 *га*).

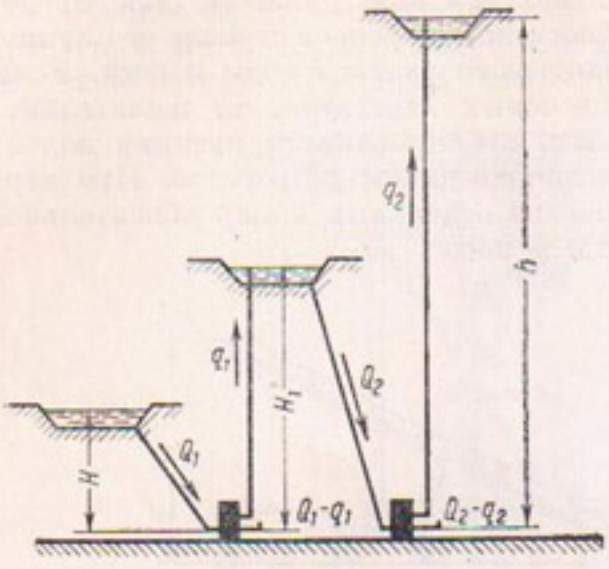


Рис. 222.

Таран должен быть установлен ниже горизонта источника на высоту, достаточную для создания в клапане B гидравлического удара, и выше сброса, куда можно удалять отработавшую воду (рис. 223).

Существует обратная зависимость между рабочим расходом воды Q, поступающим в таран, расходом поднимаемой воды q и высотами падения воды H и подъема воды h:

$$\eta QH = qh,$$

где η — коэффициент полезного действия тарана, равный при средних условиях 0,6—0,7.

Количество сбрасываемой воды при работе тарана равно $Q-q$.

Высота подъема воды таранами может быть более 75 *м*, высота падения воды должна быть не меньше 80 *см*; отношение $\frac{h}{H}$ обычно не более 20—25, так как иначе снижается к. п. д.

Длина напорной трубы и ее диаметр должны быть так подобраны, чтобы сила удара воды была достаточна для открытия клапана. Желательно делать эту длину не меньше 10—12 *м*. Нагнетательная труба тарана должна иметь длину l, сообразно высоте подъема воды h. При большой длине нагнетательной трубы полезно делать ее большего сечения, чтобы уменьшить сопротивление.

При необходимости увеличения подачи воды соединяют несколько таранов, причем все их нагнетательные трубы объединяют в одну общую трубу, а ударные трубы остаются отдельными.

Тараны могут поднимать лишь чистую воду, а поэтому, если в питающем источнике вода содержит наносы, то перед приемной камерой должен быть устроен осадочный бассейн.

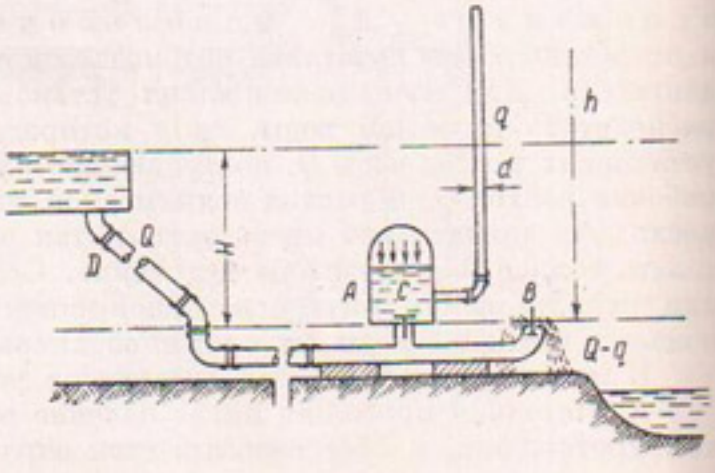


Рис. 223.

Если высота падения H недостаточна по сравнению с требуемой высотой подъема воды h, ставят два тарана (рис. 222), из которых один поднимает воду на некоторую соответствующую ему высоту H_1, а другой питается водой, падающей с этой промежуточной высоты $H_1 > H$, и поднимает воду уже на нужную высоту h.

Высоты H, H_1 и h и количества воды Q_1, q_1, Q_2 и q_2 должны быть соответственно рассчитаны.

Эксплуатационные расходы при автоматической работе таранов невелики.

Недостатки таранов — малая полезная подача воды по сравнению со сбрасываемой рабочей водой.

Гидротурбонасосные установки могут найти в орошении широкое применение, так как позволяют использовать внутрисистемную гидроэнергию на перепадах для подъема значительных количеств воды. Условие их применения — наличие сосредоточенного падения воды, достаточного для работы турбины, т. е. не менее 2,5—3 *м*. Гидротурбонасос представляет собой соединение на одном валу гидравлической турбины и центробежного насоса.

Основное уравнение работы гидротурбонасосной установки следующее:

$$QH\eta_т = qh\eta_н,$$

где Q — расход воды, сбрасываемой через турбину;
H — напор воды на турбине;
$\eta_т$ — к. п. д. турбины, равный около 0,85;
q — расход поднимаемой насосом воды;
h — напор насоса;
$\eta_н$ — к. п. д. насоса.

Гидротурбонасосные установки имеют следующие достоинства: высокий к.п.д. всей установки, так как она не имеет передач; простота устройства и обслуживания; невысокая стоимость, как строительная, так и эксплуатационная; компактность всей установки и небольшие размеры станции. Слабые стороны этих установок заключаются в необходимости сосредоточенных в одном месте достаточного напора и расхода воды для работы турбины и малое число оборотов, требующее специальных насосов. В оросительных системах гидротурбонасосные установки особенно целесообразны на перепадах и сбросах и получили более или менее значительное применение в США. Пример такой установки показан на рисунке 224; четыре агрегата этой установки имеют общий расход 6 *м*³/*сек*; нагнетательные трубы имеют диаметры 105 и 130 *см*.

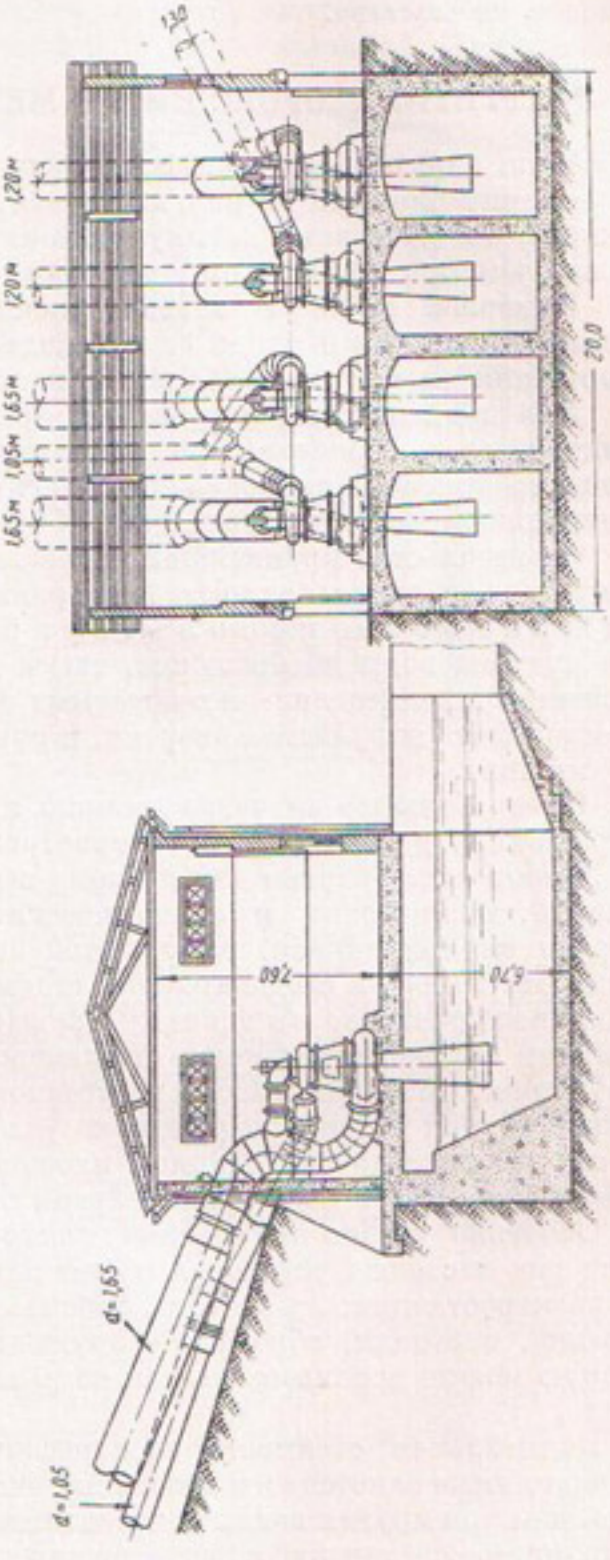


Рис. 224.

Установки с водоподъемными колесами применяются в тех случаях, когда источник воды — река или канал — имеет уклон не меньше 0,0005 и скорость течения не менее 1 *м/сек*, причем нужно поднимать небольшие количества воды на небольшую высоту. Водоподъемные колеса приводятся в движение силой течения воды.

Для установки подшипников вала колеса на реке ставятся две стенки, образующие водвор от 0,25 до 0,50 *м*.

На больших реках колеса помещаются на двух плавучих понтонах.

Диаметр колеса с лопатками делается до 10 *м*, ширина колеса — не меньше 0,9 *м*.

Расход поднимаемой колесом воды равен $Q=Nmq$, где N — число оборотов колеса в минуту (обычно от 2 до 5); m — число черпаков на колесе; q — объем одного черпака.

Число оборотов колеса в минуту $N=\frac{60v}{\pi D}$, где v — окружная скорость колеса, равная $v=0{,}4\sqrt{2gH}$; H — разность уровней верхнего и нижнего бьефов колеса; D — диаметр колеса, равный обычно от 2 до $5H$.

Водоподъемные колеса применяются для полива небольших участков, распространенность их невелика.

4. ЭНЕРГЕТИКА ОРОШЕНИЯ С МЕХАНИЧЕСКИМ ВОДОПОДЪЕМОМ

Если капитальная стоимость орошения с механическим подъемом воды на единицу площади во многих случаях может быть ниже стоимости самотечного, то ежегодные эксплуатационные расходы в большинстве случаев выше, чем при самотечном орошении.

Наиболее крупную статью эксплуатационных расходов составляет стоимость энергии и ухода за водоподъемной установкой; поэтому вопросы энергетики имеют здесь большое значение.

Для подъема воды в орошении применяются различные виды энергии: электрическая, тепловая, гидравлическая, ветровая. Особенно большое значение имеет применение гидроэлектрической энергии, получаемой от центральных ГЭС, и энергии ветра.

Строительство крупнейших гидроэлектростанций на рр. Волге, Днепре, Дону и ряде других открывает широкие возможности развития орошения на базе использования электроэнергии как для подъема воды на орошение, так и для механизации многих процессов орошения и земледелия на орошаемых землях. ГЭС дают наиболее дешевую себестоимость получаемой энергии, и при этом не расходуется ценных запасов топлива.

Очень большое значение должно иметь также использование энергии ветра в силу доступности и распространенности ее.

Выбор вида энергии для подъема воды на орошение зависит от местных условий, технических и экономических возможностей. Но какой бы вид энергии ни применялся, расход этой энергии на единицу мощности установки (на 1 *квт*), а следовательно, стоимость энергии и ежегодных эксплуатационных расходов на единицу орошаемой площади уменьшаются с увеличением мощности установки и размеров орошаемой ею площади; поэтому укрупнение размеров насосных установок и орошаемых каждой из них площадей, при прочих одинаковых условиях, очень важно для снижения ежегодных расходов на единицу площади. В этом отношении особо много преимуществ имеет получение энергии от крупных ГЭС.

Особенно удобно применение электромоторов при массовом орошении, когда ряд насосных установок может получать энергию от одной центральной электростанции; кроме того, оросительная система в ряде своих пунктов (плотина, перепады, сбросные сооружения) имеет источники гидроэнергии, которую можно использовать для подъема воды на орошение вышележащих земель.

Капитальная стоимость электрифицированных оросительных установок часто ниже самотечного орошения, эксплуатационные же расходы обычно ниже, чем при других видах водоподъемных установок. Электромотор может иметь прямое соединение с центробежным насосом на одном валу (при одинаковом числе оборотов), в силу чего к.п.д. электронасосных установок может быть высоким.

Хорошими в оросительных установках считаются моторы с вертикальным валом, непосредственно соединенные с насосом. Такая установка представлена на рисунке 225.

Гидравлическая энергия может использоваться для подъема воды в орошении и непосредственно путем применения отмеченных выше гидротурбонасосов и таранов.

Применение тепловой энергии для подъема воды в орошении имеет пока значительное распространение, особенно при небольшой величине орошаемых участков, в неэлектрифицированных районах. Однако использование этого вида энергии в орошении экономически нерационально, так как он более дорогой по сравнению с гидроэлектрической и, кроме того, при нем расходуется очень ценное топливо (нефть, уголь), незаменимое в других отраслях народного хозяйства. Поэтому скорейшая электрификация районов орошения имеет чрезвычайно большое значение. Из теплосиловых установок наибольшее применение в орошении имеют двигатели внутреннего сгорания.

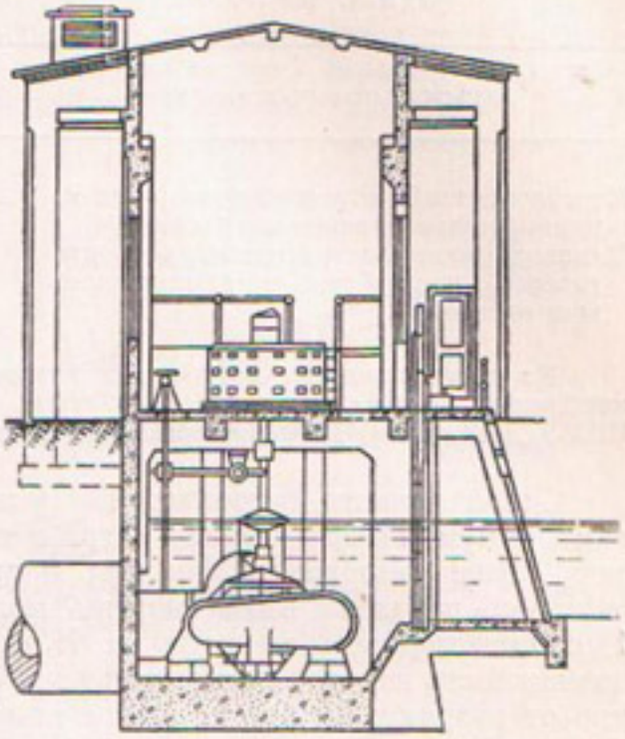


Рис. 225.

Тепловые насосные оросительные станции на жидком топливе могут работать только в течение оросительного сезона, т. е. около 3 месяцев в году; в остальное же время года их механическое оборудование не используется, так как дорогое жидкое топливо нецелесообразно расходовать на электрификацию сельского хозяйства; вследствие этого получается недостаточно эффективное использование затрат на создание насосных станций. Отсюда вытекает необходимость наряду с широкой электрификацией района на базе получения энергии от крупных ГЭС: а) всемерного изыскания и использования местных источников энергии (сланцы, газ, вода, ветер); б) создания в районах массового развития орошения единой комплексной энергетической системы, включающей использование различных видов энергии (ГЭС, ветровые и тепловые электростанции), работающих на общую энергетическую сеть, планово снабжающую энергией всех потребителей ее в данном районе и в том числе насосные оросительные станции. При таких условиях будет покрываться потребность в энергоснабжении орошения и затраты на создание насосных станций станут более эффективными.

В общей энергосистеме использование ветровой энергии имеет очень большое значение и существенно повышает эффективность как ГЭС, так и тепловых станций.

Использование энергии ветра для орошения очень важно, так как ветер является весьма распространенным источником энергии.

Количество энергии, даваемой ветром, зависит от скорости его, и при более или менее значительных скоростях ветра весьма велико, что видно из таблицы 44 (по данным Н. В. Красовского).

таблица 44

Скорость ветра в *м/сек*)	3	4	5	6
Установленная мощность, в *квт* на ветродвигателях, с 1 *км*²	140	339	650	1040
Годовая выработка энергии, в тыс. *квт·ч* с 1 *км*²	260	469	820	1250

Особого внимания заслуживает применение ветровых двигателей для орошения колхозных участков в Поволжье, в центрально-черноземных обла-

стях, в Украинской ССР, в Казахстане, обладающих значительной ветровой энергией. Использование энергии ветра очень важно также при создании орошаемых участков овощных культур вблизи городов и промышленных центров. Использование энергии ветра требует аккумулирования ее (на периоды безветрия) или работы на общую сеть.

Ветронасосные установки, применяемые для орошения, могут быть следующих основных типов в зависимости от источника воды и размеров установки (табл. 45).

Таблица 45

Подъем из открытых водоемов	Подъем из буровых скважин
Многолопастной ветродвигатель (с многоцилиндровым поршневым насосом) Малолопастной быстроходный ветродвигатель (с центробежным или пропеллерным насосом)	Многолопастной ветродвигатель (с поршневым насосом) Малолопастной быстроходный ветродвигатель (с центробежным насосом)

Из многолопастных крыльчатых ветродвигателей отметим двигатели ТВ-5 и ТВ-8 мощностью до 10 *л. с.*; из малолопастных быстроходных ветродвигателей — двигатели ВИМЭ Д-12, Д-18, Д-30 мощностью до 100 *л. с.*

Силовая часть ветронасосной установки состоит из ветрового двигателя, аккумулятора энергии ветра и иногда добавочного резервного двигателя (чаще теплового). Так как энергия ветра переменная, то непосредственная передача этой энергии машинам обладает рядом недостатков: 1) неравномерность вращения и большие колебания числа оборотов; 2) невозможность передачи силы ветра на более или менее значительное расстояние от ветряка; 3) потеря значительной скорости ветровой энергии, когда ветер дует с малыми скоростями ($v < 3$ *м/сек*) и двигатель развивает недостаточную мощность для непосредственного приведения машин в действие.

Поэтому в современных конструкциях производимую ветродвигателем энергию превращают в электрическую при помощи соединенным с ветряком динамо и электрическую энергию передают электронасосам, которые могут быть установлены у источника воды на известном расстоянии от двигателя. Энергия ветра, получаемая в те периоды, когда нет потребления ее, или избытки этой энергии (сверх потребления по графику нагрузки), передаются в аккумулятор, каковым может быть электрическая батарея или же запасный водный резервуар. В последнем случае в те дни, когда нет потребления воды, динамо ветряка дает энергию электронасосу, который качает воду на пополнение запасного резервуара. Водяное аккумулирование удобно тем, что при нем отпадает необходимость в довольно непрочной батарее, и очень удобно, когда ветряк работает для целей орошения или водоснабжения. Схема такой установки показана на рисунке 226.

Превращение ветровой энергии в электрическую и аккумулирование ее дает следующие преимущества (по сравнению с непосредственной передачей): 1) возможность установить ветряк отдельно от насосов на возвышенных местах, где дуют более сильные ветры, а не в пониженных местах, где обычно находятся источники воды; 2) более или менее равномерная подача энергии, независимо от переменных скоростей ветра; 3) большее использование рабочих часов ветродвигателя. Преобразование энергии ветра в электрическую и аккумулирование ее позволяют повысить годовую производительность ветровой силовой установки в 2—$2^1/_2$ раза по сравнению с установкой, имеющей простую механическую передачу и без аккумулирования.

Общий коэффициент полезного действия ветровой электрической установки составляет около 0,45—0,50, а установки с непосредственной передачей — около 0,23.

Стоимость получения ветровой энергии на 1 *квт·ч* с аккумулятором выше, чем без него, причем эта стоимость повышается с увеличением емкости аккумулятора. Поэтому в местности, где периоды безветрия продолжительны и нужна большая емкость аккумулятора, может оказаться более выгодным, для уменьшения его емкости, применение резервного двигателя. Расчет в этом случае ведется таким путем: энергия ветра за каждый день (в *л. с. ч.*, сообразно продолжительности ветра с разными скоростями) суммируется с оставшейся от предыдущего дня емкостью аккумулятора; из этой суммы вычитается полезное потребление энергии за этот день (по графику нагрузки станции); разница со знаком плюс дает зарядку аккумулятора, а со знаком минус — нужную работу резервного двигателя. Такой анализ должен быть сделан за ряд лет; он покажет продолжительность

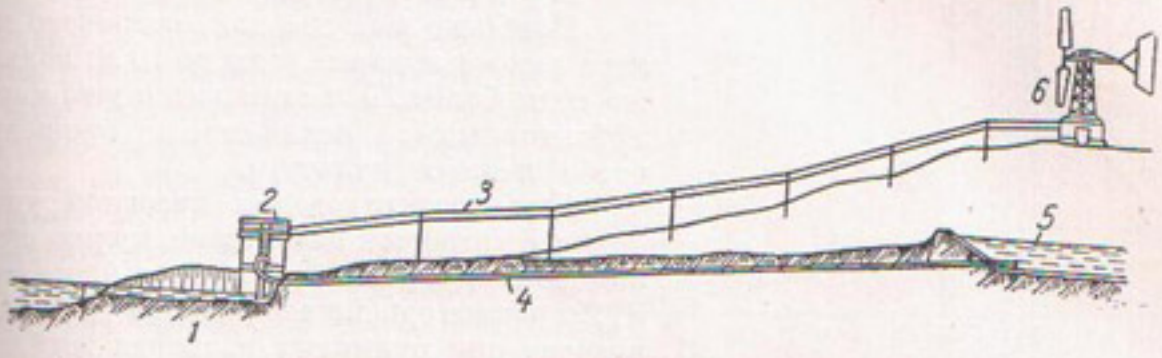


Рис. 226:

1 — водоприемный канал; *2* — насосная станция гидравлического аккумулирования; *3* — линия передачи энергии от ветрового двигателя к мотору насосной станции; *4* — напорный трубопровод для подачи воды в бассейн гидравлического аккумулирования; *5* — водоем; *6* — ветродвигатель.

работы ветрового двигателя, резерва и стоимость 1 *квт* ветроустановки; последняя уменьшается с увеличением мощности установки. В некоторых случаях может быть допущено изменение режима орошения путем исключения отдельных поливов менее ответственных культур и сокращения в силу этого емкости резервуара или мощности резервного двигателя.

Емкость аккумулирующего резервуара должна быть так рассчитана, чтобы он мог снабжать водой орошаемую площадь в периоды затишья. Днями затишья на практике считают дни, в продолжение которых скорость ветра менее 3 *м/сек*.

Расчет емкости резервуара ведется следующим образом: 1) находят среднее максимальное число a следующих друг за другом дней затишья (в разные периоды); 2) определяют число дней с полезным ветром ($v > 3$ *м/сек*) между двумя такими затишьями b. Емкость резервуара должна быть равна $(a+1)m$, причем она должна быть заполнена в течение b дней. Суточная производительность насоса должна составлять $\left(1+\frac{a+1}{b}\right)m$, где m — суточная потребность в воде.

Обычно применяемый диаметр крыльев ветровых двигателей колеблется от 6 до 30 *м*. Ветровые двигатели по прочности рассчитываются на скорости ветра 8, 10 и 14 *м/сек*, в зависимости от среднегодовой скорости ветра в данной местности (< 5; 5—7 и > 7 *м/сек*). При скоростях ветра, превышающих расчетные, двигатели автоматически изменяют положение колеса или его лопастей по отношению к ветру, чтобы получить более или менее постоянное число оборотов и мощность (независимо от скорости ветра).

Желательно также иметь регуляторы, автоматически регулирующие нагрузку двигателя сообразно скорости ветра.

Ветровые двигатели для подъема воды при непосредственном соединении чаще работают с центробежными насосами. Главное преимущество центробежных насосов при этом, кроме меньшей стоимости их, состоит в том, что с уменьшением скорости ветра двигатель не так сильно снижает свою скорость вращения, как при поршневых насосах. Слабая сторона соединения ветряка с центробежным насосом та, что центробежный насос имеет максимальный к.п.д. при определенном числе оборотов; ветродвига-

тель же работает с переменным числом оборотов. В силу этого общая выработка ветряка с центробежным насосом может быть меньше и требуется очень тщательный подбор насосов к ветряку. Вид ветровой установки для подъема воды показан на рисунке 227.

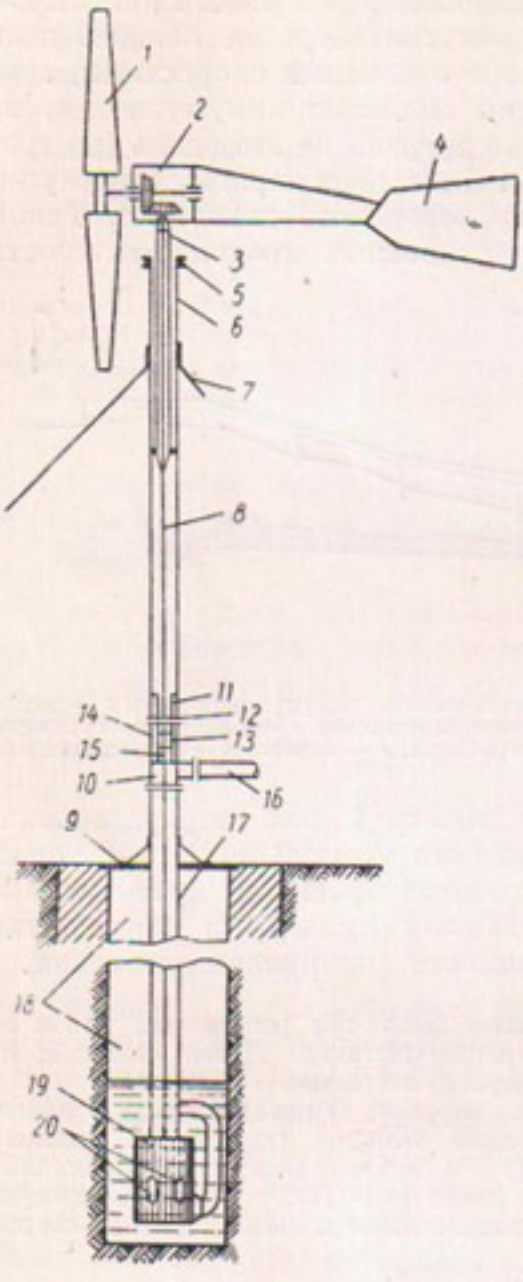


Рис. 227. Схема ветронасосной установки с автоматическим регулированием режима работы:

1 — ветроколесо; *2* — головка ветродвигателя; *3* — станован труба; *4* — хвостовое оперение; *5* — шариковая опора; *6* — опорная труба; *7* — оттяжка; *8* — вертикальный вал; *9* — фундаментная плита; *10—15* — отвод перекачиваемой жидкости; *16, 17* — нагнетательная линия; *18* — шахта-колодец; *19* — бескривошипный погружной насос с автоматическим регулированием режима работы; *20* — отверстие для приема жидкости.

Высота башни h делается равной:

$$h = H + 2 + \frac{D}{2} \text{ м},$$

где H — наибольшая высота препятствий для движения ветра, например деревьев, зданий;

D — диаметр ветрового колеса.

Наиболее выгодна для ветрового колеса высота подъема воды до 10 *м*; подъем же воды более 20 *м* становится уже малоэффективным (за исключением орошения особо ценных культур).

При проектировании насосной установки с ветровым двигателем нужно правильно подобрать: 1) размеры двигателя и 2) наивыгоднейшие размеры и число насосов при принятых размерах ветряка, при которых выработка двигателя за сезон, т. е. общее количество воды, подаваемой установкой, будет максимальным.

Наивыгоднейшие размеры ветрового двигателя зависят от распределения скоростей ветра в данной местности, высоты установки двигателя и стоимости двигателей разных размеров.

Площадь, которую может орошать ветровая установка, определяется следующим выражением:

$$\omega = \frac{CD^2 \Sigma v_1^3 \xi t_1 75 \eta}{H 1000\ M} \text{ га},$$

где D — диаметр ветрового колеса, в *м*;

C — коэффициент, равный 0,00065;

ξ — коэффициент использования энергии ветра, определяемый по характеристике данного ветряка (в зависимости от его быстроходности);

$\eta = 0{,}35 - 0{,}50$ — к. п. д. установки;

H — высота подъема воды, в *м*;

M — оросительная норма за сезон, в $м^3/га$;

v_1 — рабочие скорости ветра, в *м/сек*, в отдельные периоды t_1 в течение рассматриваемого сезона;

$CD^2 \Sigma v_1^3 \xi t_1$ — суммарная выработка мощности данного ветрового двигателя за сезон;

Σt_1 — суммарная продолжительность работы двигателя за сезон.

В соответствии с этими факторами орошаемые площади, приходящиеся на один ветродвигатель, составляют от 1—2 *га* до нескольких десятков (а иногда и до сотен гектаров — при мощных ветродвигателях).

Например, ветросиловая установка ЦВЭИ с диаметром крыльев 30 *м*, с резервуаром емкостью около 25 тыс. $м^3$ и с двумя центробежными насосами (мощностью на шкиве 36,6 и 13,7 *л. с.*) при средней скорости ветра 5 *м/сек* может давать за месяц свыше 800 тыс. $м^3$ воды при напоре $H = 4$ *м*.

Площадь обслуживания ветряка ω зависит не только от его размеров D и распределения ветров, но и от мощности, характера и числа тех насосов, которыми нагружен двигатель. Это обусловливается тем, что разные насосы неодинаково используют переменные скорости ветра, развивают разную мощность и имеют изменяющуюся продолжительность работы.

Для насоса большой производительности Q требуется большая мощность двигателя; соединенный с ветряком насос будет работать только при больших скоростях ветра в течение меньшего времени, поскольку продолжительность ветра с большими скоростями меньше, и может дать в итоге меньшее количество воды, несмотря на большой расход Q. Поэтому нужно так подобрать мощность и число насосов, соединенных с данным ветряком, чтобы они работали достаточно продолжительное время и давали наибольшую выработку двигателя за оросительный сезон, возможно близкую к максимальной (теоретической) выработке данного двигателя.



Рис. 228.

Каждой скорости ветра отвечает (при данном двигателе) определенная наибольшая мощность двигателя. Если построить график (рис. 228), где по оси абсцисс отложены повторяемости или продолжительности (в процентах от всего оросительного периода) различных скоростей ветра (не выше определенной), а по оси ординат — отвечающие этим скоростям наибольшие мощности данного ветряка ($L = CD^2 \xi v^3$), то площадь, ограниченная линиями ABC, дает максимальную возможную выработку данного ветрового двигателя за оросительный сезон[1].

Фактическая работа насосов определенной мощности, соединенных с двигателем, при данном распределении скоростей ветра дает вполне определенное использование мощности ветряка: надо так подобрать мощность и число насосов, чтобы они дали выработку, наиболее полно отвечающую максимальной производительности двигателя.

На рисунке 228 сплошной линией показана выработка одного насоса, а пунктирной линией — выработка двух насосов, из которых мощность одного в два раза больше другого, причем включается в работу один или оба насоса, смотря по скорости ветра.

Стоимость энергии будет тем меньше, чем больше выработка, т. е. чем выше средние скорости ветра в месте установки двигателя. Поэтому для удешевления получаемой энергии ветра и единицы поднимаемой воды необходимо увеличение мощности двигателя (до определенных размеров) и установка его в местах с более высокими средними скоростями ветра. Максимум подачи воды за сезон будет при определенном сочетании размеров, числа насосов и размеров двигателя[2].

5. РЕГУЛИРУЮЩИЕ РЕЗЕРВУАРЫ И ВОДОХРАНИЛИЩА

При водоподъемных установках для орошения желательно, а во многих случаях необходимо устройство регулирующих резервуаров или

[1] Кривая AB строится так, что если, например, скорость ветра 5 *м/сек* имеет повторяемость 70% времени оросительного периода, то на абсциссе 70% откладывается $CD^2 \xi 5^3$ *л. с. Прим. автора.*

[2] О методах расчета ветросиловых установок см. работы: Н. В. Красовский, «Использование энергии ветра», М., 1936; Е. М. Фатеев, «Ветродвигатели и ветроустановки», Сельхозгиз, М., 1948. *Прим. автора.*

так называемых наливных водохранилищ, при наличии которых возможно:

1) уменьшить мощность установки или увеличить орошаемую площадь;

2) получить требуемый поливной расход, если источник орошения или насосная станция его не могут дать: увязать работу насосной станции с требуемым режимом орошения;

3) обеспечить поливы в случаях порчи или ремонта водоподъемной установки;

4) аэрировать и согревать воду при орошении подземными водами.

Если длина оросительного периода равна T суткам и средний за этот период расход на орошение равен Q $м^3/сек$, насосная же станция может качать воду из реки в течение T_0 суток, причем $T_0 > T$, то мощность насосной станции должна быть рассчитана на расход $Q_0 = Q\frac{T}{T_0}$, а полезная емкость резервуара должна быть не меньше $Q_0(T_0 - T)\,86\,400\,м^3$. Если же резервуар наполняется только в течение межполивного периода



Рис. 229.

в τ суток, подача установки составляет Q_0 $м^3/сек$, длина поливного периода равна t суткам и поливной расход равен Q $м^3/сек$, причем $Q > Q_0$, то емкость резервуара должна быть не меньше $86\,400t(Q - Q_0) = 86\,400\tau Q_0\,м^3$ плюс потери воды в резервуаре за время $(t + \tau)$. Расход установки $Q_0 = \frac{Qt}{t+\tau}$. Точнее, емкость резервуара может быть определена по общему методу построения суммарных кривых подачи насосной станции и потребления воды на орошение.

Вопрос о целесообразности устройства резервуара должен решаться на основе экономического сравнения вариантов работы насосной станции без резервуара и с таковым; стоимость резервуара противопоставляется увеличенной мощности станции и другим связанным с этим затратам.

Характер и конструкция резервуара или водохранилища при механическом водоподъеме зависят прежде всего от его емкости. При большой емкости (например, при заборе воды из рек в течение всего года и использовании ее на орошение летом) резервуар обращается уже в крупное водохранилище, которое может быть устроено при подходящих топографических и геологических условиях. Резервуары малой емкости делаются в виде наливных водоемов в земляных дамбах или копаней.

При крупных размерах орошаемой площади насосная станция может работать круглый год, качая воду в водохранилище, а из этого последнего вода может подаваться на орошение двояко: а) на земли, расположенные ниже водохранилища, самотеком и б) на земли, расположенные выше водохранилища, механическим путем: сезонными насосными станциями.

Наивыгоднейшая высота, на которой должно быть расположено водохранилище при круглогодовой работе насосной станции, может быть определена на основе следующих соображений (рис. 229) (A — насосная станция круглогодового действия, B — насосная станция сезонного действия).

Предположим, что оросительная норма системы равна M $м^3/га$; вся орошаемая площадь (самотеком и механически) выше отметки H_0 равна ω. Суммарный годовой объем воды, какой станция A должна поднять из реки в водохранилище, равен $M\omega$. Если годовая стоимость подъема 1 $м^3$ воды на высоту 1 $м$ постоянной станцией A составляет C_1 руб., то стоимость подъема всего объема воды $M\omega$ на высоту $H - H_0$ будет равна

$M\omega\,(H-H_0)\,C_1$. При определении величины C_1 надо учитывать борьбу со льдом при зимней работе станций, что иногда может сильно повышать C_1. Положим далее, что из водохранилища механически орошаются площади: ω_1 — с высотой качания до H_1; ω_2 — с высотой качания до H_2 и ω_3 — с высотой качания до H_3. Стоимость (годовая) подъема воды для орошения этих площадей (если нормы орошения остаются одинаковыми) будет равна:

$$C_2M\omega_1(H_1-H)+C_2M\omega_2(H_2-H)+C_2M\omega_3(H_3-H),$$

где C_2 — стоимость подъема 1 $м^3$ воды на высоту 1 $м$ сезонными станциями, включая и годовую стоимость водохранилища. Обычно $C_2>C_1$.

Общая годовая стоимость подъема воды будет равна:

$$U=M\omega(H-H_0)C_1+MC_2[\omega_1(H_1-H)+\omega_2(H_2-H)+\omega_3(H_3-H)].$$

Если отметка расположения водохранилища H не определяется местными топографическими и геологическими условиями, то она может быть найдена из выражения общей стоимости подъема воды U путем определения некоторого наивыгоднейшего значения H, при котором величина U будет минимальной:

$$\frac{dU}{dH}=C_1M\omega-MC_2(\omega_1+\omega_2+\omega_3)=0.$$

Отсюда получим, что наивыгоднейшей отметкой H, определяющей минимум стоимости подъема воды, является та отметка, которая делит орошаемую площадь в отношении:

$$\frac{\omega_1+\omega_2+\omega_3}{\omega}=\frac{C_1}{C_2},$$

где ω — вся орошаемая площадь и $(\omega_1+\omega_2+\omega_3)$ — площади, расположенные выше водохранилища и орошаемые сезонными насосными станциями.

Наливные резервуары должны быть расположены на высоких отметках, чтобы дно их командовало над орошаемой площадью. Дно и стенки резервуара должны быть водонепроницаемыми. При земляных резервуарах это достигается покрытием дна и откосов слоем глины толщиной 10—15 *см*, с укладкой на дно соломы и навоза, или же солонцеванием дна и откосов, а иногда уплотнением грунтов.

Глубина небольших резервуаров должна быть не меньше 1,2—1,5 *м*, так как при меньшей глубине увеличивается поверхность воды и потери на испарение и вода будет сильно нагреваться. Высота дамб делается на 50—70 *см* выше зеркала воды, т. е. до 2,5 *м*. Иногда в дамбу вставляется мелкая сетка из оцинкованного железа, как мера борьбы с грызунами. Внутренний откос дамб принимают обычно полуторным или двойным, наружный же откос — одинарным, карьер лучше делать внутри водоема. Ширина дамб поверху делается такой, чтобы фильтрационная кривая не выходила из пределов сечения дамбы. Для выпуска воды из резервуара ставят трубы — деревянные или металлические.

При подходящих топографических условиях наливные регулирующие водоемы устраивают в виде прудов в верховьях естественных балок путем постройки земляных плотин или дамб, причем иногда часть емкости пруда получают за счет искусственной выемки (копани). В эти водоемы, кроме подкачиваемой воды, может поступать также сток с вышележащего водосбора.

При орошении больших площадей с механическим подъемом воды из крупной реки, когда воду приходится доставлять на значительные расстояния, в качестве водоподводящих трактов могут использоваться притоки главной реки, которые для этого разделяются плотинами на ряд последовательных бьефов с насосными станциями годового действия на каждом бьефе, перекачивающими воду последовательно из нижележащего в следующий вышележащий бьеф; таким образом вода поднимается до нужных отметок, откуда она подается (самотеком или механически) в регулирующее водохранилище или в канал.

Глава восьмая

ВОПРОСЫ ОРОШЕНИЯ В РАЙОНАХ НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Значительное развитие получает орошение на Украине, в Поволжье, в Западной Сибири, в центрально-черноземных областях и в других степных и лесостепных районах. Большинство этих районов относится к районам так называемого неустойчивого увлажнения, характеризующимся периодическим проявлением значительных засух в одни годы или сезоны и достаточной влажностью в другие годы и сезоны. Применение орошения в указанных и в соседних с ними (центральных и других) районах осуществляется для поднятия и обеспечения устойчивости урожаев сельскохозяйственных культур в засушливые годы, а также для создания плодовиноградных, картофеле-овощных и животноводческих баз вокруг городов и промышленных центров для снабжения населения овощами, фруктами, картофелем, молоком.

1. ОСОБЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ В СТЕПНЫХ И ЛЕСОСТЕПНЫХ РАЙОНАХ

Главнейшие природные и хозяйственные особенности районов неустойчивого увлажнения обусловливают характер орошения в них. Наиболее характерной особенностью климатических условий рассматриваемых районов являются значительные колебания обеспеченности сельскохозяйственных растений естественными ресурсами влаги.

Если степень засушливости года характеризовать количеством естественных водных ресурсов (осадки плюс используемые растениями запасы почвенной влаги) вегетационного периода, то по годам это количество $P + \Delta W$ сильно колеблется, однако общий уровень его выше, чем в засушливых орошаемых районах. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур E при данной урожайности возрастает с увеличением засушливости, но общий уровень его в рассматриваемых районах ниже. Поэтому оросительные нормы вегетационного периода $M = E - (P + \Delta W)$ в рассматриваемых районах имеют меньшую величину и отличаются большой изменчивостью по годам.

В хозяйственном отношении рассматриваемые степные и лесостепные районы являются в основном районами развития крупного зернового, в основном неорошаемого, хозяйства, где орошение применяется главным образом для обеспечения урожаев овощных, садовых и технических культур. Введение высокой агротехники, правильных севооборотов и создание полезащитных лесонасаждений способствуют лучшему усвоению естественных ресурсов влаги, снижению испарения и транспирации и уменьшению оросительных норм.

Запасы почвенной влаги ΔW, используемой растениями в течение вегетационного периода в степных и лесостепных районах, имеют большое

значение; они зависят главным образом от количества влаги, поглощаемой почвой из осадков осенне-зимнего периода. По данным А. В. Процерова, они составляют следующие средние величины (табл. 46).

Таблица 46

Районы	Количество осадков от конца осени до начала весны (в мм)	Поглощение влаги в почву (в % от осадков холодного периода)	Запас воды в метровом слое почвы (в % от полевой влагоемкости)		
			в конце осени	прибавка за зимний период	к началу весны
Поволжье	110—120	40—25	50	20—25	70—75
Юго-Западная Украина	110—120	40—30	60	30—35	85—90
Степные районы	150—160	35—20	70	20—25	90—95
Лесостепные районы	160—180	20—10	80	15—20	95—100

Поглощение зимних осадков возрастает в направлении с северо-запада на юго-восток от 15 до 40% вследствие увеличения в этом направлении сухости почвы с осени; абсолютные же запасы влаги в почве к весне в лесостепных и степных районах увеличиваются больше, чем в южных.

Приведенные цифры средние; по отдельным годам наблюдаются значительные колебания запасов влаги в почве. Особенно велико значение запасов влаги в почве к началу весны, так как весна и начало лета в рассматриваемых районах обычно имеют мало осадков, поэтому здесь необходимо снегозадержание.

Очень большое значение в степных и лесостепных районах имеют влагозарядочные допосевные (осенние или ранневесенние) поливы, так как, увеличивая запасы влаги в почве ΔW, они позволяют уменьшить (на 1—2) число вегетационных поливов, а в достаточно влажные годы и вовсе исключить их (особенно для озимых культур), что дает возможность повысить производительность труда на орошаемых землях.

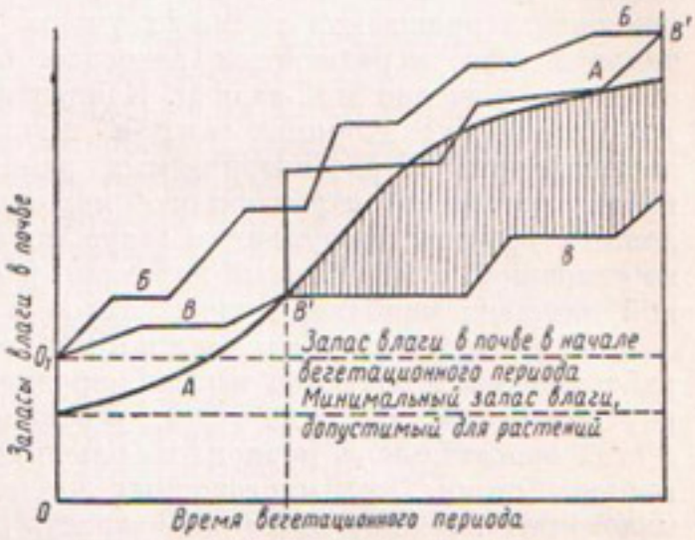


Рис. 230.

В — сумма осадков вегетационного периода в засушливый год; *Б* — то же, во влажный год.

Орошение в рассматриваемых районах должно дополнять естественные ресурсы влаги в засушливые периоды. Поэтому режим орошения может устанавливаться только на основе учета динамики осадков и естественных запасов влаги в почве в данном году; это положение можно иллюстрировать рисунком 230, где схематически показаны изменения запасов влаги в активном слое почвы и атмосферных осадков в течение вегетационного периода. Кривая *ББ* представляет интегральную кривую нарастания суммы осадков вегетационного периода и внутренних запасов влаги в активном слое почвы во влажный год. Кривая *ВВ* представляет такую же кривую в засушливый год. Запасы влаги в почве OO_1 к началу вегетационного периода во влажный и засушливый год могут быть различными. Влагозарядочными поливами эти запасы могут быть доведены до предельной полевой влагоемкости активного слоя почвы, и это скажется на последующем режиме вегетационных поливов. Кривая *АА* дает суммарную кривую потребления влаги плюс недоступный для растений запас влаги в активном слое почвы. Разности ординат кривых *ББ* и *ВВ*, с одной стороны, и кривой *АА* — с другой, дают

запасы (или дефициты) доступной растениям влаги в активном слое почвы (сверх минимального допустимого запаса). Из рисунка 230 можно видеть, что во влажный год эти запасы положительны, в засушливый же год имеются дефициты влаги, измеряемые отрезками ординат кривых BB и AA; дав один полив нужной величины, можно поднять суммарную кривую запасов влаги BB до уровня кривой потребления AA, и поливов больше (при данном режиме осадков) не потребуется. Увеличение исходного допосевного запаса влаги OO_1 путем влагозарядочных поливов может также исключить или сократить число необходимых вегетационных поливов.

Изложенное показывает, что режим и нормы полива каждой культуры в районах неустойчивого увлажнения по годам могут значительно изменяться. Обычно для зерновых культур они составляют величины от 400 до 1200 *м³/га*, для сахарной свеклы и трав от 800 до 2400 *м³/га*.

Во влажные годы для отдельных культур может вовсе не требоваться поливов (при хорошей агротехнике). Большая изменчивость потребности сельскохозяйственных культур в поливах делает целесообразным применение мобильных или подвижных систем орошения, позволяющих поливать наиболее нуждающиеся в увлажнении в данном году и сезоне культуры и поля в пределах всего орошаемого участка. При этом условии непосредственно поливаемая площадь в отдельные годы может быть меньше всей возможной орошаемой площади участка. Устройство передвижной оросительной сети, передвижных насосных станций и дождевальных агрегатов облегчает решение этой задачи. Конкретное решение ее зависит от местных хозяйственных, экономических и технических условий[1]. Периодичность засушливости в рассматриваемых районах придает орошению характер преимущественно гарантийного мероприятия, обеспечивающего определенный уровень продукции в засушливые годы; поэтому оно может иметь не сплошной, а выборочный характер, распространяясь на часть всей посевной площади наиболее нуждающихся в поливе культур.

В гидрологическом отношении рассматриваемые районы характеризуются весьма неравномерным распределением стока как внутригодовым, так и по годам; весенний сток составляет около 70—96%, а сток оросительного периода в большинстве случаев не превышает 5—20% годового стока. Сток многоводных лет может во много раз превышать сток маловодных. В силу этого возможность использования для орошения непосредственно стока малых рек, без регулирования его, весьма ограничена и не превышает 20% потребностей. Для развития здесь орошения необходимо устройство водохранилищ или лиманов, задерживающих весенний сток.

Проектирование емкости и размещения водохранилищ и лиманов необходимо вести на основе предварительно составленных *побассейновых водохозяйственных схем с наиболее полным зарегулированием стока, начиная с верхних частей бассейна* и с учетом, в случае надобности, возможности переброски излишков воды из одного бассейна в другой, где имеются недостатки воды, и увеличения водосборной площади путем устройства валов. Место расположения плотины и емкость водохранилища должны быть выбраны на основе тщательной увязки размеров стока с водосборной площади с потребностью в воде орошаемых площадей, получающих воду из данного водохранилища. Средний многолетний годовой сток (главным образом весенний) в рассматриваемых районах составляет от 800—1200 *м³* (центрально-черноземные области) до 150—250 *м³* (Южное Поволжье) с 1 *га* водосборной площади.

Практически в прудах может быть задержано и полезно использовано 50—70% среднего годового стока, а на орошение 1 *га* полей в рассматриваемых районах приходится запасать в прудах от 1500 до 3000 *м³* воды, поэтому

---

[1] О принципах и методах подвижного орошения см. работу Д. Т. Зузика в журн. «Гидротехника и мелиорация», № 8, 1951. *Прим. автора.*

возможная к орошению за счет местного стока площадь в каждом бассейне составляет от 4 до 12% водосборной площади.

Во избежание затопления ценных пойменных земель, уменьшения фильтрации и в целях наиболее полного зарегулирования местного стока целесообразно расположение водохранилищ в средних и в верхних частях долин и балок[1]. Такое расположение уменьшает водосборную площадь и емкость водохранилищ, но зато: 1) позволяет избежать высоких подпоров воды и связанных с этим затоплений ценных земель; 2) приближает источники воды к орошаемым участкам и сокращает длину подводящих каналов; 3) расширяет возможности самотечного орошения, уменьшает потребность в механическом водоподъеме или высоту подкачки воды; 4) снижает необходимые размеры сбросных сооружений.

Если площадь орошаемого участка равна ω *га*, то водосборная площадь водохранилища, нужная для орошения этого участка, должна составлять $\Omega = \omega \frac{M}{S}$ *га*, где M — количество воды (брутто), запасаемой на 1 *га* орошаемой площади (включая все потери в водохранилище и в каналах), и S — годовой сток нужной обеспеченности (например, 80%) с 1 *га* водосборной площади водохранилища.

При этом надо иметь в виду, что годовой сток S с 1 *га* при малых водосборах (до 8—10 *км*²) с уменьшением водосборной площади Ω уменьшается, так как малые водосборы имеют больший процент водоразделов и пологих склонов, где более значительно поглощаются талые воды в почву. Поэтому при расчете годового стока с малых водосборов важно не преувеличить его.

Зная водосборную площадь Ω, емкость водохранилища V, необходимую для орошения данного участка (площадью ω), и кривую связи $V = f(H)$, можно найти: а) высшую отметку H по тальвегу балки створа плотины пруда, необходимую для орошения этого участка, и б) отметки расположения его по склону балки (если положение его не фиксировано заранее), допускающие самотечное орошение его из данного водохранилища.

Кроме водохранилищ, *для орошения может использоваться также непосредственный сток рек*, где он достаточен по количеству; использование его целесообразно при орошении пойменных земель и нижних террас. Усиление меженного стока рек при соответствующих технических и экономических условиях иногда может осуществляться путем попусков воды из водохранилищ, аккумулирующих паводковый сток на водосборной площади.

Источниками воды для орошения могут быть также пригодные по качеству и достаточные по количеству *подземные* (главным образом артезианские) *воды*; использование их в некоторых районах Украины, Поволжья, центрально-черноземных областей может иметь серьезное значение. Так, по данным Н. А. Плотникова, в ряде районов центрально-черноземных областей производительность водозабора из нескольких (7—10) скважин составляет до 5—8 тыс. и даже до 10 тыс. *м*³/*сут*, что позволяет орошать от 100 до 250 *га* (от 10 до 30 *га* на одну скважину).

В топографическом и гидрографическом отношениях многие рассматриваемые районы отличаются более или менее глубокой врезанностью речных долин, сложностью рельефа, значительными уклонами поверхности.

Наиболее плодородные почвы — суглинистые черноземы и др. — часто расположены на повышенных элементах рельефа, орошение их связано с механическим подъемом воды и требует специальных мер борьбы с фильтрацией воды из водохранилищ.

Потребность в энергии для механического водоподъема составляет около $0{,}07H$—$0{,}08H$ *квт* установленной мощности на 1 *га* орошаемой

---

[1] Водохранилища в ряде лесостепных районов требуют специальных мер борьбы с фильтрацией. *Прим. автора.*

площади (при площади участка не меньше 20 *га*), где H — необходимый напор в метрах. Поэтому при орошении с механическим подъемом воды важно использовать местные энергетические ресурсы: силу ветра, местное топливо (сланцы, газы и др.) и гидроэнергию (в связи с общей проблемой электрификации сельского хозяйства).

При механическом орошении очень важно применение передвижных насосных станций и разборных трубопроводов для доставления и распределения воды, а также в качестве временных оросителей.

Вследствие значительных уклонов верхних и средних частей речных долин почвы легко подвержены процессам эрозии. Поэтому техника полива должна максимально сохранять комковатую структуру орошаемой почвы, осуществлять малые поливные нормы и не допускать сбросов поливной воды с полей; этим требованиям лучше всего отвечает техника полива по бороздам и дождеванием с интенсивностью дождя, отвечающей поглотительной способности почвы.

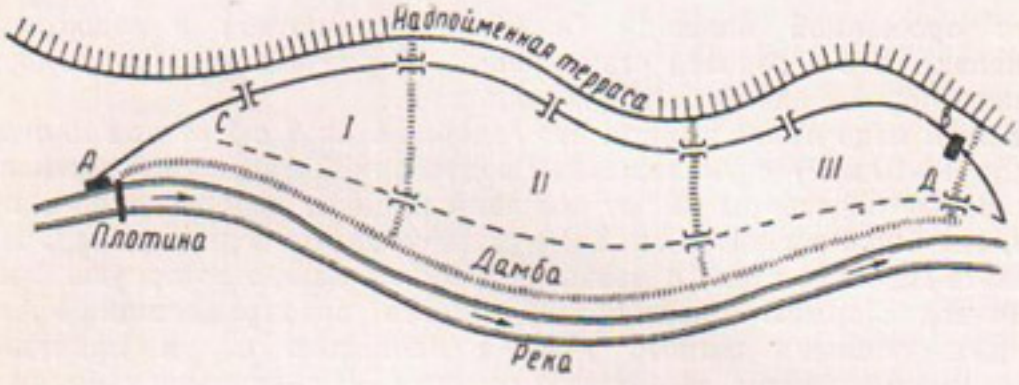


Рис. 231.

Расположение сети каналов должно соответствовать расположению полей севооборота и рельефу местности так, чтобы вспашка, посев и обработки могли вестись поперек склонов для лучшего использования атмосферных осадков и предупреждения эрозии почвы.

Для создания устойчивой кормовой базы животноводства в районах неустойчивого увлажнения очень важны *мероприятия по мелиорации пойм и орошению лугов*. Для орошения лугов должна быть создана постоянно действующая оросительная система или же организовано лиманное орошение (*регулируемые затопления лугов* в периоды паводков). Такое затопление, кроме влагозарядки, обогащает почвы питательными веществами и илом и улучшает структуру почвы.

Луга орошаются прежде всего на недостаточно затопляемых поймах; вода выводится из реки специальным каналом, проходящим по верхней или средней части поймы (в зависимости от рельефа ее) и работающим в периоды паводков. Вода по орошаемому лугу распределяется системой лиманов, с регулированием количества воды и недопущением песчаных наносов.

Поверхность луга обваловывается со стороны реки невысокими продольными дамбами и системой поперечных дамб разделяется на лиманы (рис. 231); дамбы упираются в возвышенную первую террасу поймы, имеют высоту на 0,40—0,50 *м* выше горизонта воды в лиманах и двойные откосы. Вода на наполнение лиманов подается из реки по каналу AB, проходящему по повышенным отметкам поймы, через устроенные в нем шлюзы и иногда через дополнительные распределители. Лиманы наполняются в весенние или летние паводки, начиная с нижнего лимана *III*; слой затопления должен быть около 0,30 *м*. Головной шлюз канала A должен быть так рассчитан и открываться на таких отметках (шандоры его), чтобы в канал и пойму могли поступать из реки только верхние слои воды, несущие илистые наносы, и не попадали пылеватые и песчаные наносы; с таким расчетом должна быть запроектирована и высота береговых дамб. Только при этих усло-

виях может быть обеспечено создание зернистой поймы, отличающейся наиболее плодородными структурными почвами.

После осаждения ила и достаточного увлажнения почвы вода из лиманов спускается. Для этого в дамбах делаются водоспуски и в некоторых условиях — водоотводный канал *CD*, проходящий по наиболее пониженным частям поймы. Иногда, если позволяют условия рельефа поймы, в лиманах весной поддерживают медленное движение воды тонким слоем в 10—20 *см*, пропуская воду из верхних лиманов *I* последовательно в нижние *II* и *III* через шлюзы в поперечных дамбах. Это способствует лучшему ходу процессов окисления почвы и благоприятно сказывается на развитии растительности.

Однократное весеннее орошение лугов на суходолах возможно путем устройства лиманов с регулированием степени наполнения их и сбросом излишней воды.

2. ОРОШЕНИЕ ПРИГОРОДНЫХ ЗЕМЕЛЬ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Для создания овоще-картофельных и молочно-животноводческих баз вокруг городов большое значение имеет орошение овощей, картофеля и трав, с использованием для этого городских сточных вод. Такое орошение оказывает не только увлажнительное, но и удобрительное действие и эффективно как в южных и центральных, так и в более северных районах Европейской части СССР.

Сточные канализационные воды содержат большие количества азота, калия, фосфора, которые используются сельскохозяйственными растениями при орошении полей, и таким образом достигается не только очистка сточных вод почвой, но и удобрительное орошение сельскохозяйственных культур. Поля, орошаемые сточными водами, должны быть удалены не меньше чем на 150—200 *м* от сельских населенных пунктов и колодцев, чтобы сточная жидкость не могла попадать ни в поверхностные, ни в подземные воды. Сельскохозяйственные поля, орошаемые сточными водами, надо отличать от очистных полей орошения или полей фильтрации. На первых основной задачей является орошение полей в целях получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур с попутной очисткой воды; на вторых — очистка сточной жидкости путем фильтрации ее через почву лишь с попутным частичным сельскохозяйственным использованием площади или даже без него.

Очистные поля орошения или поля фильтрации, в основном содержащиеся под черным паром и частично (на 15%) занимаемые культурами, допускающими большую нагрузку жидкости на 1 *га*, требуют меньшей площади, нежели сельскохозяйственные поля орошения, но зато они не дают той продукции, какую можно получать на сельскохозяйственных полях орошения в результате повышения урожаев культур. Поэтому, разгружая городскую канализацию, сельскохозяйственные поля орошения одновременно создают вокруг городов высокопродуктивные площади овощей, картофеля, трав для снабжения населения продуктами овощеводства и животноводства.

Для больших городов может применяться комбинированная система очистки и использования сточных вод: а) станции интенсивной очистки и поля фильтрации, занимающие сравнительно небольшие площади, но работающие с большими нагрузками, особенно зимой, и б) сельскохозяйственные поля орошения значительной площади, но работающие с меньшими нагрузками.

Сельскохозяйственные поля орошения могут быть двух видов: а) работающие только летом и, следовательно, требующие дополнительных полей фильтрации для приема сточных вод в зимний (невегетационный) период и б) работающие круглогодично — летом и зимой и использующие зимнюю подачу сточных вод в качестве влагозарядки и удобрения под будущие

летние посевы; они не требуют вовсе или сокращают размеры полей фильтрации.

При круглогодичном использовании сточных вод (по опыту ряда хозяйств Московской области) поливы распределяются по сезонам следующим образом: осенью до мороза зарядковые поливы даются в садах, на травах и полях под ранние овощи; зимой — на полях под картофель и поздние овощи; травы зимой не поливаются; весной поливают сады, травы и поля под поздние посевы; летом поливают культуры, в соответствии с их потребностью в воде и санитарными требованиями. Развитие сельскохозяйственных полей орошения вокруг городов с круглогодичным использованием сточных вод может значительно сократить потребность в других видах очистных сооружений.

Состав сточных вод. Количество сточных вод, приходящееся на жителя города, составляет от 50 до 200 *л/сут*. Чем больше это количество, тем менее концентрирована сточная жидкость и меньше удобрительное действие. В среднем в 1 $м^3$ сточных вод, при стоке 150 *л/сут* на одного жителя, содержится около 900 *г* растворенных веществ (плотный остаток), из них 90 *г* азота, 15 *г* фосфорной кислоты, 40 *г* окиси калия, что в удобрительном отношении эквивалентно приблизительно 400 *г* сернокислого аммония (с 20 % азота), 100 *г* суперфосфата и 300 *г* калийных солей или 15—17 *кг* навоза (по азоту)[1].

Кроме полезных, сточные воды содержат и вредные для растений вещества, из которых надо отметить хлориды (180—200 *г*), сульфиды (80—90 *г*) и др. Промышленные сточные воды могут содержать столько вредных для растений веществ, что во многих случаях становятся непригодными для сельскохозяйственного орошения. Концентрация азота в сточной воде, применяемой для орошения, не должна превышать 150 *г* на 1 $м^3$; в противном случае сточную воду надо разбавлять речной водой.

Показателем пригодности сточных вод для орошения является активная кислотность pH. Фекальные воды имеют pH около 7,1—7,2, близкую к нейтральной или слабощелочной. Значительное отклонение реакции указывает на неблагоприятный для растений состав сточных вод. Температура сточных вод составляет: зимой от 8 до 15° и летом от 16 до 25°.

Сточные воды особенно богаты азотистыми веществми. Отношение N : P : K в сточных водах составляет (5—6) : 1 : (2—3); потребление же указанных веществ растениями находится в соотношении (1,8 — 3) : 1 : (2—5). Поэтому, если сточная вода используется как калийное или фосфорнокислое удобрение, растения испытывают избыток азота, что влечет развитие ботвы, понижение крахмала в картофеле, плохую лежкость продуктов. При использовании же сточных вод как азотистого удобрения ряд культур испытывает недостаток калия и фосфора, который восполняется внесением навоза (15—30 *т/га*).

При выборе почв и способов возделывания полей, орошаемых сточными водами, следует исходить из положения, что на этих полях необходимо поддержание в возможно чистом виде аэробного процесса разложения органического вещества в почве. В соответствии с этим лучшими почвами для целей обезвреживания В. Р. Вильямс считал супесчаные и суглинистые почвы, худшими — глинистые и малопригодными — торфяные почвы[2].

На почвах, орошаемых сточными водами, необходимы поддержание комковатой структуры их, правильная система обработки и поддержание поверхности почвы в рыхлом состоянии, обеспечивающем нужный запас кислорода в почве. На орошаемых полях грунтовые воды должны залегать глубоко, так как при близком их залегании быстро ухудшаются условия аэрации и нарушаются окислительные процессы в почве.

Оросительная сеть. Сточные воды содержат большое количество (свыше 1 *кг*/$м^3$) взвешенных веществ (мусор, песок и пр.); поэтому, прежде чем пропускать воду в оросительную сеть, необходимо предварительно отстаивать ее в осадочных бассейнах (отстойниках).

В отстойниках также выпадают яйца гельминтов (при отстаивании в течение двух часов); вместе с тем отстойники являются регуляторами, при помощи которых неравномерное поступление воды из города трансформируется в более или менее равномерную подачу ее на орошаемые поля. Отстойники устраиваются в голове орошаемого участка.

По опытам ВНИИГиМ, на полях орошения могут успешно применяться горизонтальные земляные отстойники[3], состоящие из нескольких камер.

---

[1] Это средние цифры, от которых могут быть отклонения в обе стороны. *Прим. автора.*

[2] В. Р. Вильямс. Сочинения, т. II. Сельхозгиз, М., 1948, стр. 305 и 317. *Прим. автора.*

[3] Об отстойниках сточных вод см. статью И. П. Канардова и В. М. Новикова в журн. «Гидротехника и мелиорация» № 4, 1952. *Прим. автора.*

каждая из которых рассчитывается на очистку расхода сточных вод 5—10 *л/сек*. Отстойники должны иметь некоторую емкость суточного регулирования, рассчитанную на 20—30% суточного поступления воды, так как сточные воды поступают неравномерно.

Из отстойников сточная жидкость обычно закрытым трубопроводом (напорным или самотечным, смотря по условиям рельефа) доставляется на высшие отметки орошаемой площади и отсюда распределяется по этой площади открытыми каналами или подземными трубами.

Применение асбестоцементных трубопроводов в качестве распределителей особенно целесообразно при сложном рельефе орошаемой площади,

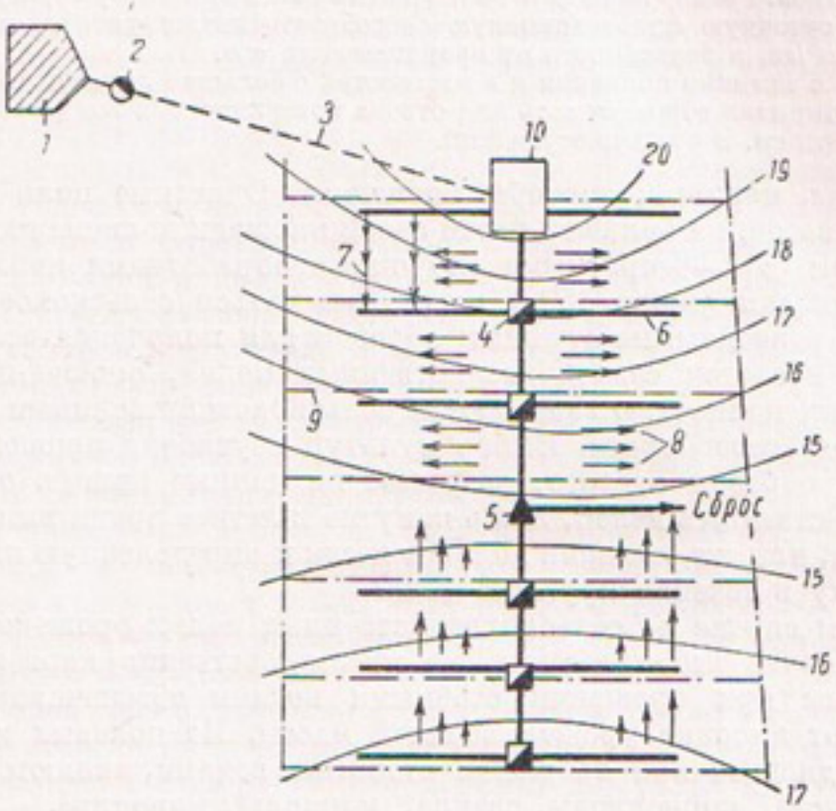


Рис. 232.

1 — населенный пункт; *2* — насосная станция; *3* — трубопровод; *4* — колодец-водовыпуск; *5* — опоражнивающий колодец; *6* — ороситель; *7* — переносный поливной трубопровод; *8* — направление полива; *9* — границы полей севооборота; *10* — отстойник и регулирующая емкость.

но связано иногда с механической подкачкой. Трубы закладываются на глубине 0,8—1 *м*; оросители могут быть открытыми или заменяться переносными разборными трубопроводами.

Схема оросительной сети при круглогодовой подаче сточных вод показана на рисунке 232.

В зимний период, в случаях перерыва подачи воды, трубопровод должен опорожняться от воды через специальные водовыпуски; для сохранности трубопроводов в заморозки вода в них должна двигаться со скоростью не менее 0,6 *м/сек*. Нельзя также допускать тупиковых застоев воды.

Круглогодовая подача сточных вод на орошение из закрытых асбестоцементных трубопроводов успешно применяется в колхозе им. Сталина Ногинского района Московской области.

Расход воды в оросителе должен быть 30—60 *л/сек*, обеспечивающий полив участка в 10 *га* в течение не более двух суток.

Распределительные каналы должны быть так запроектированы, чтобы в них не отлагались взвешенные вещества и чтобы их можно было легко освободить от воды. Скорости течения воды должны быть не менее 0,6—0,7 *м/сек*, не допускающие засорения их, так как при пропуске сточной жидкости каналы легко засоряются и требуют значительных расходов на очистку.

Вследствие заиления потери на фильтрацию в каналах меньше, чем при обычном орошении. Сечение каналов лучше всего делать в полувыемке-полунасыпи и всячески избегать сечений с подсыпным дном. Откосы дамб должны быть одернованы.

На полях орошения с близкими грунтовыми водами (или при поливах высокими нормами) устраивается осушительная сеть, которая должна быть так запроектирована, чтобы в нее не могли попадать сточные воды непосредственно с поверхности, т. е. не прошедшие через слой почвы в 0,8—1 *м* толщины. Для этого осушительная сеть делается в виде закрытого дренажа, закладываемого на глубине 1—1,2 *м*, или в виде открытых коллекторов глубиной около 2 *м*, но обязательно огражденных дамбочками от поливных площадей.

Если при поливе допускается сброс (для усиления пропускной способности полей), то он должен выводиться на особые фильтрационные площадки, устраиваемые в конце поливных участков. Размер площадок должен быть равен суточному сбросу сточной воды, деленному на суточную фильтрационную способность почвогрунта площадки, равную от 100 до 400 $м^3/га$, в зависимости от проницаемости его.

На полях с зимними поливами и в местностях с большим ливневым и весенним стоком делается открытая сбросная сеть для отвода поверхностных вод (о расчете сбросной и дренажной сети см. в разделе осушения).

Культуры, нормы и способы орошения. Очистные поля фильтрации, как указано выше, на большей части своей площади должны находиться под черным паром (с 5—6-кратными глубокими обработками почвы) и только на части площади (около 15%) могут заниматься сельскохозяйственными культурами, разводимыми главным образом для получения зеленой массы.

Что же касается сельскохозяйственных полей, орошаемых сточными водами, то они полностью занимаются сельскохозяйственными культурами, чаще овощного севооборота. Выбор культур и условия орошения их зависят главным образом от того, устроены ли данные поля в основном для сельскохозяйственных целей, лишь попутно в летнее время выполняя очистные функции, или же эти поля должны нести и определенную канализационную нагрузку в течение круглого года.

В первом случае на сельскохозяйственных полях орошения могут возделываться почти все культуры, но преимущественно картофель, овощи, травы. Травы при орошении сточными водами обеспечивают структуру почвы и дают высокие урожаи зеленой массы. Из полевых культур, особенно подходящими при орошении сточными водами, являются картофель, овощи (капуста, корнеплоды, свекла, морковь), конопля[1].

Урожаи культур при орошении сточными водами и хорошей агротехнике, как показывает опыт передовых колхозов, достигают по картофелю и корнеплодам свыше 1300 *ц* с гектара.

Применяемые нормы орошения должны обусловливаться количеством влаги и питательных веществ, необходимых растениям при данных климатических и почвенных условиях, при условии недопущения в грунтовые воды сточных вод, используемых на орошение без надлежащей очистки.

Летние оросительные нормы полей орошения на 1 *га* в среднем составляют около 2—3,5 тыс. $м^3$ для полевых культур и овощей и до 4—5 тыс. $м^3$ для трав. Оросительные нормы вегетационных поливов определяются по общим принципам, исходя из водопотребления культур и наличных ресурсов влаги. Поливные нормы летом (обычно с апреля по сентябрь) составляют от 400 до 600 $м^3/га$.

Если поля орошения, кроме основных сельскохозяйственных целей и летней нагрузки, должны также выполнять и очистные функции и нести круглогодовую нагрузку, они получают сточную воду и в невегетационный (зимний) период; поливы в этот период играют роль запасных в отношении накопления в почве питательных веществ и влаги. Оросительные нормы зимних поливов определяются исходя из содержания питательных веществ в почве и в сточной воде, учитывая вместе с тем водоудерживающую спо-

[1] Состав культур и агротехника возделывания их при орошении сточными водами определяются специальными инструкциями, например «Временные нормы и технические условия проектирования земледельческих полей орошения» (ВНиТУ). (Объем и состав проектных и изыскательских работ при проектировании земледельческих полей орошения). МСХ СССР, М., 1957.

собность 1,5—2-метрового слоя почвы, чтобы не вызвать заболачивания. На легких песчаных почвах нормы зимних поливов составляют 2500—3500 *м*³/*га*; на тяжелых глинистых почвах — 1500—2000 *м*³/*га*. Круглогодовая норма составляет 3—4 тыс. *м*³/*га*.

В колхозе имени Сталина Ногинского района Московской области, применяющем круглогодовую подачу воды на орошение, ежесуточная суммарная подача воды колебалась в течение года от 1000 до 1200 *м*³ при общей орошаемой площади около 85 *га*.

Допустимая суммарная нагрузка полей орошения в этом случае определяется уже свойствами почвы и залеганием грунтовых вод: чем больше проницаемость почв, чем глубже залегание грунтовых вод и лучше условия их оттока, тем больше может быть зимняя нагрузка полей. В противном случае применение больших норм может повести к подъему и загрязнению грунтовых вод.

При орошении сточными водами применяются следующие способы полива: при средних уклонах — полив по бороздам инфильтрации (без сброса), при малых уклонах и на тяжелых почвах — полив по бороздам или ленточный, когда поле параллельными бороздами разбивается на ленты шириной 0,8—1 *м*; водой наполняются борозды между грядами (на $^1/_2$—$^1/_3$ их глубины). При этих способах растения лучше предохраняются от соприкосновения со сточной жидкостью. Травы поливают по узким полосам небольшой удельной струей поперек рядков посева.

Дождевание при поливе сточными водами не допускается, так как при этом нужна хорошо осветленная вода и последующий смыв жидкости с растений путем опрыскивания их чистой водой.

Зимние допосевные поливы производятся при уклонах $<0{,}01$ по глубоким (0,20—0,25 *м*) бороздам, нарезаемым с осени через 0,9—1 *м* длиной 200—350 *м*, а при уклонах $>0{,}01$— по полосам шириной 5—10 *м*, нарезаемым вдоль горизонталей местности. Полосы нарезают палоделателем при высоте валиков 0,15—0,18 *м*.

Почву, орошаемую сточными водами, обрабатывают в следующих целях: 1) для поддержания прочной мелкокомковатой структуры, обеспечивающей хорошую аэрацию и влажность, необходимые для развития аэробных микроорганизмов и правильного разложения органических веществ; 2) для борьбы с сорняками; 3) для равномерного распределения воды на полях.

Орошение сточными водами сельскохозяйственных культур (главным образом овощей и картофеля) в последние годы широко применяется колхозами Московской, Горьковской, Ленинградской и других областей в пригородных районах и дает здесь весьма крупный эффект. Особенно высокие урожаи картофеля и овощей получены на орошаемых сточными водами полях колхозов Ухтомского района Московской области.

Большое значение в разрешении проблемы создания овоще-картофельных баз вокруг городов и промышленных центров имеет орошение овощных культур и картофеля не только сточными, но и речными водами.

Для получения высоких урожаев овощных культур требуется хорошая агротехника и добавочное увлажнение (орошение), даже в районах с достаточным для других культур количеством осадков, при этом урожаи повышаются в 2—3 раза и более.

Для овощных культур применяются: полив по бороздам — главным образом для широкорядных культур (капуста, томаты, огурцы, картофель и др.), и полив по полосам — для узкорядных (фасоль, салат, свекла и др.), имеющих междурядья 20—30 см. Для узкорядных культур можно применить и бороздной полив, но при ленточном посеве, при котором растения располагаются лентами, шириной 60—70 см, по 3—4 ряда (строки) растений в ленте; расстояния между лентами принимают 50—60 см и в этих промежутках проводятся борозды.

Орошение овощных культур дождеванием имеет следующие достоинства: а) возможность более густого размещения культур; б) повышение производительности труда при поливе; в) возможность давать очень малые поливные нормы и освежительные поливы; большее удобство при поливе квадратно-гнездовых посевов.

Орошение овощей дает максимальный эффект, если оно сочетается с высокой агротехникой. В ряде районов возможно введение пожнивных культур со сбором двух урожаев за сезон, например, капуста ранняя плюс картофель летней посадки или картофель ранний плюс огурцы поздние.

Глава девятая

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОРОШЕНИЯ

1. ЗНАЧЕНИЕ ПРАВИЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Правильное освоение орошаемых земель и хорошо поставленная эксплуатация оросительных систем имеют громадное народнохозяйственное значение. Только при этом условии может быть обеспечено получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, продуктивное использование орошаемых земель и оросительной воды, высокая эффективность капиталовложений на орошение.

Вопросы освоения и эксплуатации оросительных систем подробно рассматриваются в специальном курсе[1].

При проектировании орошения и расчете оросительной системы необходимо предусматривать условия и требования будущей эксплуатации данной системы и освоения орошаемых ею земель; с другой стороны, характер и формы эксплуатации системы и использования земель связаны с характером и условиями работы оросительной системы.

Показателями хорошей эксплуатации оросительной системы служат: 1) высокие и устойчивые урожаи требующихся по плану сельскохозяйственных культур и высокая производительность труда; 2) высокий к.п.д. системы; 3) прогрессивное повышение плодородия орошаемых почв; 4) низкий уровень грунтовых вод и отсутствие засоления почв; 5) нормальное расходование воды на единицу площади; 6) хорошее состояние каналов и сооружений.

Все эти вопросы должны разрешаться не только в процессе эксплуатации, но и быть предусмотрены при самом проектировании и устройстве оросительных систем. Технический проект орошения должен обязательно сопровождаться проектом организации хозяйства на орошаемой площади и сельскохозяйственного освоения земель; оба эти проекта должны быть четко увязаны между собой.

При утверждении технических проектов и генеральных смет на строительство оросительных систем нужно одновременно утверждать планы сельскохозяйственного освоения земель, намечаемых к орошению, с указанием стоимости и сроков осуществления работ по освоению.

2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНОВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Эксплуатация оросительной системы включает: 1) осуществление планового водопользования в системе и в орошаемых хозяйствах; 2) поддержание в исправности всех элементов системы; 3) организацию правильной работы их, в соответствии с плановыми хозяйственными заданиями и теми усло-

[1] См., например, И. А. Шаров. Эксплуатация мелиоративных систем. СХГ, М., 1959.

виями (климатическими, гидрологическими и другими), в которых она работает в каждом году.

В круг вопросов эксплуатации входят также вопросы управления системой, организации водопользования, реконструкции (расширенного воспроизводства) составляющих систему элементов. Осуществление планового водопользования является важнейшей задачей эксплуатации каждой оросительной системы. Только на основе планового использования воды можно достигать высоких и устойчивых урожаев и рационального использования водных и земельных ресурсов. В планах водопользования должны учитываться природные и хозяйственные условия каждой системы, каждого колхоза и совхоза. Плановое водопользование включает внутрихозяйственные и общесистемный планы.

Для построения внутрихозяйственных планов водопользования каждого колхоза или совхоза необходимы следующие данные: 1) о требуемых по плану на данный год посевных поливных площадях различных сельскохозяйственных культур севооборота в данном хозяйстве; 2) о режиме орошения (нормах и сроках полива) каждой культуры севооборота в данном хозяйстве (для обеспечения нужной урожайности культур при принятой агротехнике); 3) о необходимой величине к. п. д. каналов оросительной сети; 4) об организации территории, труда (рабочих бригад) и механизации в хозяйстве в данном году; 5) о почвенно-мелиоративных условиях полей. На основании этих данных определяются расходы воды брутто и сроки подачи воды для каждого поливного участка, бригады и по каждому каналу внутри хозяйства, а также общий расход по хозяйственному распределителю (для всего хозяйства) в течение оросительного периода, увязанные с организацией и механизацией работ в хозяйстве.

Внутрихозяйственный план водопользования, являющийся частью производственного плана данного хозяйства, должен быть увязан с комплексом агротехники и с планом тракторных работ (например, по межполивной культивации хлопчатника и др.).

Расчет водопотребления каждого поля может быть сделан в следующем порядке: 1) номер поля, культура и площадь его; 2) почвенно-мелиоративные условия поля; 3) номера поливов и поливные нормы каждого полива; 4) агротехнические сроки каждого полива; 5) продолжительность полива, в сутках; 6) продолжительность обработки; 7) суточное задание по поливу, в гектарах; 8) суточное задание по обработке, в гектарах; 9) норма выработки на поливе на 1 человека, в гектарах; 10) необходимое число рабочих на поливе в сутки; 11) норма выработки на обработке данной культуры (на 1 человека и на 1 машину), в гектарах; 12) необходимое число машин и рабочих на обработке культуры в день; 13) потребность в воде на каждый полив поля; 14) необходимый расход воды на поле для производства каждого полива.

Суточная площадь полива и обработки каждой культуры определяется в соответствии с планом посевных поливных площадей ее на данный год, сроками полива и обработки и обеспечивается соответствующей организацией рабочей силы и механизации. Количество рабочих в день, необходимое для производства полива, и нормы выработки устанавливаются в соответствии с планом посевных площадей и организацией труда, т. е. с производственным планом данного хозяйства. Таким образом определяются необходимые расходы воды на каждый поливной участок по участковому распределителю и сроки подачи этих расходов. На основе этих данных могут быть определены расходы участковых, внутрихозяйственных и хозяйственного распределителей, необходимые в разные сроки.

Распределение расходов воды в хозяйстве за оросительный период по каналам, обслуживающим отдельные поливные участки и бригады, может быть сделано в виде следующей таблицы.

Колхозный распределитель	Внутрихозяйственный распределитель	Участковый распределитель	№ поля и площадь его	№ бригады	Расходы воды по месяцам и пятидневкам						
					1—5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	1—5

На основе этой таблицы составляется календарный план поливов и связанных с ними работ по каждой бригаде.

За $1^1/_2$ месяца до начала поливов внутрихозяйственные планы водопользования должны быть переданы в управление оросительной системы. *На основе совхозных и колхозных планов водопользования и государственных плановых заданий по посевным площадям управлением оросительной системы составляется общесистемный план водопользования, увязанный с режимом водоисточника, пропускной способностью каналов и почвенно-мелиоративными условиями системы.* При составлении системного плана водопользования, кроме внутрихозяйственных планов по каждому хозяйству и режимов работы каждого хозяйственного распределителя, необходимы данные о величине к. п. д. всех межхозяйственных каналов, привязанных к узлам и голове системы (и их изменения в зависимости от расходов), и данные о декадных расходах воды в водоисточнике в месте водозабора (на данный год).

Системный план водопользования включает: а) *определение расходов воды по каждому межхозяйственному каналу и по системе в целом*; б) *сопоставление потребностей в воде системы в разные периоды времени с режимом водоисточника*; в) *установление головных расходов магистрального канала, межхозяйственных и хозяйственных распределителей.* К расходам воды на орошение прибавляются расходы воды на водоснабжение, промышленные и бытовые нужды, если для этого нет самостоятельных источников, на обводнение и промывки засоленных почв, если таковые необходимы. Расходы брутто каждого канала определяются с учетом к. п. д. и пропускной способности его. Расчетный режим водоисточника для увязки с ним планов водопользования устанавливается организациями водного хозяйства. Баланс водораспределения устанавливается по декадам и считается увязанным, если разница между потребным и наличным расходом воды в данную декаду не превышает $\pm 5\%$. При недостатке воды (не свыше 20—25%) увязка баланса производится за счет сокращения водопотребления; при бо́льших недостатках воды, кроме сокращения водопотребления, устанавливается очередной водооборот — обычно между хозяйствами на каждом межхозяйственном распределителе (гидроучастке), когда эти распределители получают воду непрерывно, и лишь в отдельных случаях вводится водооборот не только между хозяйствами, но и между гидроучастками.

В результате составления системного плана водопользования управление оросительной системой устанавливает распределение воды в системе по межхозяйственным каналам и по хозяйствам для обеспечения плана поливов. Для этого составляются таблицы, содержащие следующие данные:

таблица I — подлежащие поливу площади каждой культуры — по каждому хозяйству и межхозяйственному каналу;

таблица II — потребные объемы воды на поливы (нетто) по декадам каждого месяца — для каждого хозяйственного и межхозяйственного канала;

таблица III — головные расходы воды каждого из этих каналов по декадам;

таблица IV — доли воды в процентах головного расхода соответствующего старшего канала по декадам каждого месяца, т. е., например, для распределителей второго порядка приводятся доли каждого из них в процентах от питающего их расхода канала первого порядка.

Поливные площади, потребные объемы воды и расходы воды, подаваемые в каждое хозяйство, последовательно суммируются по каждому распределителю второго и затем первого порядка, по каждому гидроучастку и, наконец, по системе в целом. Эти итоговые данные помещаются в таблице против названия или номера каждого соответствующего канала; расположение материала может быть сделано, например, по следующей форме (в графе 6 приводятся — против названия каждого канала — соответствующие площади, расходы и объемы воды).

Название магистрального канала	Название (№) гидроучастка	Название (№) распределителя первого порядка	Название (№) распределителя второго порядка	Название хозяйства и хозяйственного распределителя	Площади, расходы и объем воды
1	2	3	4	5	6

Количества воды, подаваемой в систему или же на отдельные орошаемые массивы, не должны превышать определенных норм, допустимых почвенно-мелиоративными условиями их.

Таким путем устанавливаются необходимые плановые расходы подачи воды в систему и распределение ее по отдельным каналам межхозяйственной сети и колхозным и совхозным распределителям системы.

Подача этих расходов осуществляется на основах диспетчеризации. Если система обслуживает несколько районов, то устанавливаются районные планы водопользования.

Планы водопользования на каждый год должны быть увязаны со всей системой мероприятий по агротехнике и организации хозяйства и с гидрометеорологическими условиями. Подача воды в систему и в каждый колхоз должна отвечать фактическому сельскохозяйственному освоению площадей и состоянию агротехники в них в данном году.

Для корректировки установленного плана водопользования с условиями погоды, состоянием культур и организацией механизированных сельскохозяйственных работ в хлопководческих хозяйствах составляются краткосрочные (на каждые 10—15 дней) планы водопользования, предусматривающие распределение воды между бригадами и проведение механизированных обработок хлопчатника на этот срок.

При уменьшенной подаче воды в маловодные годы или периоды необходимо: а) всемерно снижать потери воды в каналах; б) применять агротехнические меры по лучшему использованию естественных ресурсов влаги; в) изменять поливной режим.

Правильные водопользование и поливные режимы сельскохозяйственных культур должны сочетаться с высокой агротехникой и, в частности, с введением севооборотов, с правильной обработкой почвы, применением удобрений и сортовых семян. Только совместное применение орошения и дифференцированной агротехники позволяет получать высокие и непрерывно повышающиеся урожаи.

Подача воды на орошение и режим поливов в каждом данном году должны сообразоваться не только с фактическим сельскохозяйственным освоением орошаемой площади, но и с состоянием агротехники, климатическими условиями и развитием растений на полях.

Для проведения планового водопользования и учета воды каждая оросительная система должна быть оборудована шлюзами в головах каналов, гидрометрическими постами и водомерными устройствами. Они должны быть устроены: 1) в русле реки и в головном участке; 2) в голове магистрального канала; 3) на всех распределительных узлах; 4) в точках выдела воды водопользователям — колхозам и совхозам; 5) внутри хозяйств — на крупных распределителях.

Особое внимание должно быть обращено *на повышение к.п.д. оросительной сети* и уменьшение фильтрационных потерь воды из каналов (ремонт, правильное распределение воды, антифильтрационные меры, исключение или упорядочение зимней работы каналов путем организации водоснабжения из других источников и др.).

Очень важна *правильная эксплуатация головных сооружений* оросительной системы. Она сводится к следующему: 1) строгое регулирование забора воды в систему из реки или водохранилища, в соответствии с нужным режимом орошения и планом водопользования; 2) предохранение системы от поступления в нее паводковых вод; 3) недопущение наносов в канал и периодическая промывка русла реки перед головным регулятором и головного участка канала от наносов; 4) поддержание (путем соответствующих регулировочных работ) русла головного участка реки в устойчивом состоянии (предохранение русла от размыва берегов, от отхода реки от головного сооружения и т. д.).

Аварии головных сооружений часто происходили вследствие неправильностей эксплуатации.

Для старых, неинженерных систем первоочередную задачу составляют ремонт и поддержание в порядке головных участков систем, очистка подводящих русел от наносов, ремонт дамб, защищающих систему от затопления паводковыми водами рек (например, в Южном Хорезме и других районах).

Крайне необходимо в процессе эксплуатации оросительных систем поддерживать в исправности и усовершенствовать магистральный и все постоянные каналы и сооружения на них. Систематическое воспроизводство оросительных систем и сооружений на более высоком техническом уровне (реконструкция) весьма важно и позволяет держать весь громадный фонд оросительных систем и орошаемых земель в СССР в хорошем состоянии, отвечающем потребностям социалистического хозяйства.

Очистка каналов от наносов и зарастания составляет ежегодно значительный расход на 1 *га* площади. Переустройство головного питания старых систем, уменьшающее поступление наносов из реки, позволяет значительно понизить эксплуатационные расходы на очистку.

Коренной мерой борьбы с наносами в оросительных системах является предупреждение поступления их из реки в головной участок, как об этом говорилось выше. Для этого необходимы регулировочные работы в месте водозабора и развитие гидравлических способов очистки (промывки, устройство направляющих дамб, водозаборные сооружения с промывными устройствами и другие меры). Следующей мерой является устройство отстойников и, наконец, механизированная очистка каналов от наносов. Очистка каналов от наносов, производимая вручную, требует громадных затрат труда. В Средней Азии она составляла от 8 до 20 рабочих дней на 1 *га* и от 15 до 30 рабочих дней на одного колхозника (при средней производительности 2—4 $м^3$ в день на 1 человека).

Механизация очистки каналов от наносов не только дает удешевление работ по сравнению с ручной очисткой, но и позволяет освободить значительное количество труда колхозников (около 10 млн. человеко-дней по Средней Азии).

Главнейшие меры борьбы с зарастанием каналов следующие: а) недопущение скоростей течения меньше 0,3 *м/сек*; б) выжигание или скашивание растительности (вручную или специальными машинами); в) вытравливание посредством пропитывания смоченной поверхности каналов ядовитыми для растений веществами (гербициды).

Важную отрасль работ по поддержанию каналов в порядке составляет борьба с размывом и обрушением откосов каналов. Мероприятия по борьбе с размывом каналов состоят в укреплении живого сечения канала соответствующими видами одежд—дерном, мостовой, живой растительностью.

Ранее уже была отмечена важность значения правильной постановки эксплуатации оросительных систем, чтобы не допустить поднятия уровня грунтовых вод и засоления орошаемых почв и борьбы с этими явлениями.

Поэтому на оросительных системах должен обязательно осуществляться весь комплекс агротехнических и мелиоративных мероприятий, о которых говорилось в главе пятой.

Необходимо вести систематические наблюдения за состоянием водно-солевого режима почвогрунтов на орошаемых землях. Водопользователи должны отвечать за состояние орошаемых земель, находящихся в их пользовании.

Водосборная дренажная и коллекторная сеть должны поддерживаться в полном порядке —недопущение подпоров воды, борьба с размывом дна и обрушениями откосов, особенно при глубоких открытых коллекторах, борьба с заплыванием и зарастанием русла и др.

Организация службы эксплуатации систем осуществляется управлениями оросительных систем, имеющими для этого необходимый административный, технический и служебный персонал.

3. ПЕРЕУСТРОЙСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Наиболее крупными недостатками старых оросительных систем, как известно, являются большая густота оросительной сети и малые размеры поливных участков, препятствующие широкой механизации сельскохозяйственных работ, введению передовой агротехники.

В годы коллективизации сельского хозяйства в республиках Средней Азии, Закавказья и др. на основе разработанных научными мелиоративными учреждениями данных были проведены большие работы по переустройству оросительных систем и ликвидации мельчайших поливных участков. В последующие годы работы по укрупнению мелких поливных участков колхозами продолжались, однако достигнутые размеры поливных участков в большинстве хозяйств не отвечали современному уровню развития социалистического сельского хозяйства, его мощной механизации и передовой агротехники. Поэтому с 1950—1951 гг. в связи с переходом на новую систему орошения, наряду с еще большим масштабом работ по переустройству оросительных систем дальнейшее укрупнение поливных участков было направлено к тому, чтобы довести их размеры до 10—40 га и более, в зависимости от количества древесных насаждений (особенно шелковицы) вдоль постоянных каналов, сложности рельефа, наличия дренажной сети.

Укрупнение поливных участков не только повышает уровень механизации сельскохозяйственных работ и использование орошаемых земель и оросительной воды, но и позволяет вводить более совершенную агротехнику и повышать урожаи на орошаемых землях. Например, колхоз «Коммунист» Янги-Юльского района Ташкентской области в 1932 г. имел 510 поливных участков размером каждый до 1 *га*; урожайность хлопка составляла не больше 6—7 *ц* с гектара. В 1937 г. колхоз укрупнил поливные участки, доведя

их размеры до 2—3 *га* и более и сократив общее число их до 230. Благодаря этим мероприятиям урожаи хлопка увеличились. В последующие годы колхоз продолжал укрупнение поливных участков, общее число которых в 1949 г. достигло 95, из них 24 участка имели размеры свыше 10 *га* каждый. В результате этого мероприятия, а также благодаря повышению уровня механизации и агротехники урожаи хлопка в колхозе достигли 30 ц и выше с гектара. В настоящее время колхоз ведет дальнейшее укрупнение поливных участков с сокращением общего числа их.

Укрупнение поливных участков, кроме улучшения условий механизации и агротехники, позволяет значительно уменьшить длину постоянных оросительных каналов и занятую ими полезную площадь, снижает потери воды на фильтрацию и повышает к.п.д. системы, уменьшает объем очистки каналов от наносов, число постоянных водовыпусков и число выделов воды бригадам. Это можно видеть на ряде примеров.

В хлопковом колхозе «Унимкер» Пахта-Аральского района Южно-Казахстанской области получены в результате переустройства оросительной системы следующие результаты (табл. 47).

Таблица 47

Состояние оросительной системы	Орошаемая площадь (в *га*)	Число поливных участков	Длина оросителей (в км)	Площадь под оросителями (в *га*)	Потери воды на фильтрацию за вегетационный период (в тыс. $м^3$)	Объем очистки оросителей от наносов (в $м^3$)	Число водовыпусков
До переустройства	1065	90	92	55	3150	6900	90
После переустройства . . .	1106	23	23	14	1250	1725	23

С введением квадратно-гнездового способа посева пропашных культур (и особенно хлопчатника) очень важно не только укрупнение площади поливных участков, но и придание им надлежащей формы, т. е. длины и ширины, удовлетворяющих требованиям перекрестной (продольной и поперечной) механизированной обработки пропашных культур.

Введение новой системы орошения и связанное с этим переустройство оросительных систем представляют собой не только укрупнение поливных участков и замену постоянных оросителей временными, но и более широкий комплекс мероприятий по рациональному и эффективному использованию водных и земельных ресурсов в наших орошаемых районах и реконструкции оросительных систем. В этот комплекс, кроме укрупнения участков и улучшения условий механизации и агротехники, входят также: 1) освоение перелогов (неорошаемых внутрисистемных земель); 2) техническая реконструкция систем в целях повышения к.п.д., борьбы с наносами, недопущения заболачивания и засоления земель, правильного обеспечения водой; лучшего водозабора и распределения воды в системе.

Кроме излишней густоты оросительной сети, ряд систем имеет следующие недостатки: 1) подача воды в одно хозяйство (колхоз) не одним, а многими отводами; 2) отсутствие или неудовлетворительное состояние водосбросных и дренажных каналов; 3) неурегулированный и необеспеченный водозабор; 4) отсутствие регулирующих сооружений на каналах; 5) не соответствующая потребностям хозяйства пропускная способность каналов; 6) низкий коэффициент полезного действия систем; 7) часто бесплановое размещение культур (например, посев риса); 8) наличие неорошаемых перелогов и низкое значение к. з. и. и др.

Переустройство и реконструкция оросительных систем должны устранить вышеуказанные недостатки.

Переустройство оросительных систем должно быть тесно увязано с организацией орошаемого хозяйства и орошаемой территории.

Переустройство оросительных систем: 1) создает благоприятные условия для правильного водопользования и ведения крупного механизирован-

ного хозяйства на орошаемых землях на высоком агротехническом уровне; 2) позволяет использовать в пределах системы внутренние резервы земель (перелоги) и повышать коэффициент земельного использования; 3) повышает к.п.д. системы, освобождая новые количества воды для орошения добавочных площадей; 4) создает условия для роста урожаев и роста производительности труда.

Реконструкция оросительных систем, кроме переустройства внутрихозяйственной оросительной сети, включает также в ряде случаев переустройство головного питания и крупной межхозяйственной сети каналов для упорядочения условий водообеспеченности и водозабора всей системы, повышения к. п. д. ее, освоения неиспользуемых орошаемых земель.

Упорядочение водного питания оросительной системы и переустройство ее межхозяйственной сети должно делаться на основе учета водного и земельного баланса системы.

Составление водоземельного баланса системы включает следующие вопросы: 1) учет всех водных ресурсов системы, основных и дополнительных (подземные воды, возвратные воды), которые могут быть использованы на орошение; этот учет ведется по году определенной обеспеченности стока; 2) учет всех земельных ресурсов с количественной и качественной характеристикой их, как используемых, так и неиспользуемых (перелогов), обарыченных и необарыченных; 3) установление потребных сельскохозяйственных площадей по всем хозяйствам и каналам системы в связи с планами развития хозяйства и введением севооборотов; 4) установление потребностей в воде (с учетом допустимых потерь воды в каналах) по всем хозяйствам и каналам системы сообразно размерам орошаемых площадей, с одной стороны, и режиму орошения хозяйств — с другой, с учетом перспектив развития хозяйства, повышения агротехники, рационализации орошения, повышения к. п. д. системы; 5) сопоставление потребностей системы в воде с водными ресурсами (по расчетному году) и установление излишков или дефицитов воды и источников их покрытия.

Дефициты маловодных систем могут покрываться за счет как подачи воды из новых источников, так и переброски излишков воды из других рек и многоводных систем. Примером такой широкой комплексной системы питания водой является Большой Ферганский канал имени Сталина. Такое комплексное использование водных ресурсов на орошение находит все большее и большее применение при реконструкции орошения в республиках Средней Азии и других. Развитие ирригации и гидроэнергетики ставит задачи не только комплексирования водоисточников, но и регулирования стока их.

Проведение указанных работ дает возможности расширения орошаемых площадей, приведения пропускной способности каналов в соответствие с потребностями в воде орошаемых площадей, укрупнения отдельных каналов и исключения излишних.

Переустройство питания оросительных систем позволяет давать в систему определенные нужные и достаточные (непреувеличенные) количества воды и тем самым организовать правильное плановое водопользование; лучше обеспечивать систему водой в маловодные периоды, а в периоды паводков предохранять ее от поступления избыточных количеств воды и связанных с этим затоплений; сокращать излишнюю длину каналов. Все это очень важно в отношении как необходимого обеспечения сельскохозяйственных культур водой, так и повышения к. п. д. систем и поддержания орошаемых земель в надлежащем состоянии (без заболачивания и засоления почвы).

При переустройстве систем должны быть также упорядочены сбросная и водоотводная (дренажная) сети; особенно важна эта задача для систем с высоким стоянием грунтовых вод, не имеющих обеспеченного оттока (Южный Хорезм, Центральная Фергана, Кура-Араксинская низменность и др.). Если водоотводная сеть недостаточна и не упорядочена, нужно прибегать к расчистке, углублению или к устройству новой, при этом необходимо,

чтобы каналы сбросной или водоотводной сети не пересекали площади поливных участков. Должно быть обращено особое внимание на обеспеченность хорошими коллекторами и водоприемниками для сбросной и водоотводной сети.

Важнейшую задачу составляет также армирование (ошлюзование) всех узлов системы — и в первую очередь колхозных и совхозных распределителей (отводов) регулирующими и водомерными сооружениями — шлюзами-водомерами, чтобы можно было правильно распределять и учитывать воду.

Переустройство внутрихозяйственной оросительной сети должно проводиться на основе плана организации хозяйства и территории данного или укрупненного колхоза, в связи с введением правильных севооборотов, полным освоением неиспользуемых орошаемых земель (перелогов) и осуществлением планового водопользования.

При упорядочении подачи воды в колхозы из межхозяйственной сети необходимо стремиться к тому, чтобы каждый колхоз получал воду из одного межхозяйственного канала и притом в одной точке водовыдела (колхозный отвод); и лишь в крайних случаях (когда выполнение указанного требования связано с большим объемом работ) допускается подача воды в колхоз из нескольких (2—3) точек выдела. Для разрешения этой задачи иногда приходится устраивать специальный канал, соединяющий несколько мелких питающих каналов; при этом необходимо каждому колхозу непрерывно подавать полагающийся ему расход воды, согласно режиму орошения и колхозному плану водопользования.

В результате переустройства сокращаются число и протяженность межхозяйственных распределительных каналов и уменьшается число выделов воды в колхозы из межхозяйственной сети; это видно, например, из данных таблицы 48 по Исфайрам-Шахимарданской системе в Ташлакском районе Ферганской области (по данным САНИИРИ).

Таблица 48

Состояние оросительной системы	Число колхозов в районе	Число межколхозных каналов в районе	Общее число точек выдела колхозам	Число точек выдела на один колхоз (от—до)	Число колхозов с выделом воды в числе точек		
					1—5	5—10	10
До переустройства	69	116	769	1—33	18	22	29
После переустройства . .	69	47	163	1—6	67	2	—

Обеспечение правильного снабжения водой всех полей севооборота, бригадных участков и хозяйственного центра должно достигаться при минимальной протяженности постоянных каналов и с наиболее высоким к. п. д. их.

Для освоения перелогов, в случае надобности, приходится устраивать дополнительную оросительную и дренажную сеть.

При переустройстве оросительных систем производится также упорядочение межхозяйственных и внутрихозяйственных дорог и создание полезащитных лесных насаждений вдоль постоянных каналов и на неиспользуемых для других надобностей землях.

При проведении работ по переустройству оросительной сети нужно стремиться придать ей наиболее рациональную форму и максимально использовать при этом пригодные существующие каналы. На основе этих данных составляется схема переустройства оросительной и дренажной сети каждого колхоза.

Переустройство оросительных систем проектируется на планшетах в масштабе не меньше 1 : 10 000. На этих планшетах, в результате соответствующих изысканий, пока-

зывают все основные элементы существующей оросительной сети: сооружения; земельные площади орошаемые и неорошаемые; размещение древонасаждений; расположение и тип дорожной сети; расположение и характер построек и другие элементы.

Затем на эти же карты наносят запроектированные по схеме постоянные распределительные и водоотводящие каналы, расположение дорожной сети, границы укрупненных поливных участков и размещение полезащитных древесных насаждений; сооружения на каналах и дорогах, а также намечаемое расположение поселковой территории, полей севооборота.

В результате сопоставления существующего положения с проектируемой схемой определяется объем необходимых работ по переустройству. Он слагается из: а) земляных работ по устройству новых каналов, углублению или расширению существующих, засыпке ненужных каналов, по улучшению дорог; б) работ по созданию полезащитных насаждений — посадка новых деревьев, пересадка старых тутовых деревьев в районах шелководства; в) устройства сооружений и мостов; г) переноса построек.

Порядок, методы и характеристика механизмов для производства работ по переустройству оросительной сети в связи с переходом на новую систему орошения даются в специальных инструкциях и технических указаниях союзных министерств водного хозяйства.

По вопросам составления планов водопользования и эксплуатации оросительных систем издаются специальные инструкции и указания.

III

МЕЛИОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ. ОСУШИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Глава десятая

ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

Осушительные мелиорации имеют задачей обеспечение надлежащего водного, воздушного и питательного режимов и высокого плодородия почв на заболоченных землях[1], необходимых для успешного освоения и использования этих земель, страдающих от избытка воды, органического вещества и от недостатков аэрации и усвояемой зольной пищи растений.

Для мелиорации заболоченных земель необходимо не только устранение избытков воды и поддержание требуемого водного, воздушного и теплового режимов в почве, что достигается путем соответствующих гидротехнических (осушительных) мероприятий, но нужно также стремление к обеспечению надлежащего питательного режима для растений; для этого накопленные в органическом веществе азот и зольные элементы (в форме не усвояемых растениями органо-минеральных и закисных соединений) должны быть приведены в пригодную для питания растений форму минеральных соединений, причем эти соединения не должны вымываться из почвы (при осушении); это достигается сочетанием осушительных и соответствующих агротехнических мер.

Осушительные мелиорации изменяют почвообразовательный процесс и микроклиматические условия мелиорируемых земель в нужном для хозяйства направлении. Удаление избытков воды создает условия аэробного разложения органического вещества, его минерализации и нормального зольного питания растений, т. е. улучшает не только водный, но и питательный режим почв. Устранение избытков воды улучшает также тепловой и микробиологический режимы почвы, изменяет условия влажности и температуры приземного слоя воздуха (микроклимат) осушаемой территории.

Водно-воздушный режим почв должен регулироваться в размерах, определяемых требованиями растений и условиями хозяйственного использования данной территории.

Содержание влаги в почве, обеспечивающее необходимый приток остальных факторов развития растений (воздуха, тепла, усвояемой пищи), составляет около 50—80% полной влагоемкости данной почвы. Между тем на многих землях (главным образом в северных, западных, центральных черноземных областях) влажность почвы длительно или в определенные критические периоды развития растений превышает указанные размеры[2]; вследствие этого факторы аэрации и тепла в таких избыточно увлажненных почвах оказываются в дефиците, что тормозит действие других факторов и рост урожаев.

---

[1] Здесь под «заболоченными землями» понимаются как болота, так и избыточно увлажненные минеральные земли.

[2] Имеется в виду также недопустимо длительное затопление поверхностными водами.

Удаление воды из заболоченной почвы повышает аэрацию почвы и улучшает условия разложения органического вещества, но с водой вымываются из почвы и зольные питательные вещества; поэтому удаляться должны *только избытки воды*. Осушение должно снижать лишь избыточную влажность почвы до таких размеров, какие обеспечивают необходимый водный, воздушный, тепловой, микробиологический и пищевой режимы почв, но не иссушать почву и не тормозить действия других агротехнических мероприятий (удобрения, обработка почвы и др.) и рост урожаев. Осушение должно осуществлять определенное нормированное регулирование водного режима в соответствии с потребностями растений, и поэтому осушительные мероприятия должны проводиться в тесной связи с агротехническими и, в частности, с поддержанием комковатой структуры почвы, которая не только обеспечивает лучшее соотношение содержания влаги, воздуха и питательных веществ, но и повышает водопроницаемость почв, придает им лучшие водно-физические свойства и таким образом повышает эффективность осушения.

1. ЗАДАЧИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В СССР

Болота и заболоченные земли в СССР распространены главным образом в северных, северо-западных и центральных нечерноземных районах. Общая площадь болот в Европейской части СССР составляет свыше 30 млн. гектаров и в Азиатской — свыше 40 млн. гектаров, не включая крайние северные районы[1].

Осушительные работы проводятся в Белорусской ССР, в Прибалтийских республиках, на севере Украины, в северо-западных и центральных областях РСФСР, в Сибири и др. Особенно широкое развитие осушительные мелиорации получили после Великой Октябрьской социалистической революции; если до 1917 г. в России было осушено 1200 тыс. гектаров земель, то в настоящее время площадь осушенных земель в СССР более 8 млн. гектаров[2].

Дальнейшее развитие осушительных мелиораций необходимо для обеспечения устойчивой и высокопродуктивной кормовой базы развития животноводства, для создания продуктивных сенокосов и пастбищ, для использования пойм под посевы овощей и других культур, для роста всех отраслей сельского хозяйства, и, наконец, для решения ряда комплексных народнохозяйственных проблем (промышленность, сельское хозяйство, здравоохранение) в разных районах (проблемы Полесья, освоение Мещерской низменности, районов Севера и др.).

Дальнейшее развитие зернового хозяйства и, в частности, расширение посевов пшеницы и кукурузы в северных районах, внедрение технических культур — льна, конопли и др. — в нечерноземной полосе; осушение подтопляемых земель в связи с крупным гидротехническим строительством; санитарное благоустройство и предупреждение малярии; наконец, общее поднятие производительных сил во многих районах нечерноземной полосы — эти задачи связаны с развитием осушительных работ. Осушительные работы необходимы для развития лесного хозяйства и повышения производительности лесных насаждений в северных и нечерноземных заболоченных районах.

Кроме районов нечерноземной полосы, осушительные работы должны проводиться и в ряде других, более южных районов СССР. Из этих работ

---

[1] Общая площадь болот в СССР, по данным СОПС АН СССР на 1957 г., составляет 190 млн. гектаров; площадь избыточно увлажненных минеральных земель — более 20 млн. гектаров.

[2] В соответствии с семилетним планом развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 гг., принятым XXI съездом КПСС, намечается проведение осушительных работ на площади 3,6 млн. гектаров, причем около 1 млн. гектаров земель будет осушено закрытым дренажем (см. «Гидротехника и мелиорация» № 2, 1959, статья И. Т. Вовченко).

особо нужно отметить осушение пойм и плавней в низовьях южных рек (Днепра, Трубежа, Дона, Кубани, Волги). Плавни являются богатыми и плодородными землями и по своему залеганию в благоприятных климатических условиях (много тепла и света) после осушения оказываются весьма ценными угодьями. Крупнейшее значение имеют осушительные работы также в ряде районов Черноморского побережья Кавказа, где большое количество осадков во многих местах вызывает заболачивание пониженных мест рельефа; в то же время здесь возможно выращивание ценных субтропических культур (Колхидская низменность).

Крупное развитие осушительных работ предстоит также в Азиатской части СССР: на Дальнем Востоке (бассейн р. Амур, Приморье), в Новосибирской области (Барабинская степь), в Алтайском крае, Иркутской, Читинской и других областях. Природные и хозяйственные условия этих районов весьма разнообразны. Так, в Приморье и бассейне р. Амур приходится в основном отводить избыточные атмосферные осадки (муссонные) в отдельные периоды года, тогда как весной эти же земли испытывают почвенную засуху; большую роль здесь играет борьба с наводнениями, как путем регулирования стока, так и способами ограждения земель от затопления (для бассейна р. Амур и оз. Ханка эти проблемы решаются в содружестве с Китайской Народной Республикой).

Таблица 49

Слой воды, поглощенный почвой (в см)	Время поглощения (в мин.)	
	под травами	под озимой рожью
5	7	18
10	16	49
15	28	—
20	41	—
25	55	—
30	72	—

В Барабинской низменности, помимо осушительных работ (направленных главным образом на регулирование поверхностного стока), должны проводиться мероприятия по борьбе с засолением почв (в Южной и отчасти Центральной Барабе).

В Читинской области, Якутской АССР и ряде других районов распространения вечной мерзлоты в Сибири главной проблемой являются гидротермические мелиорации почв.

В большинстве указанных районов должны проводиться комплексные мелиорации, предусматривающие, кроме осушения избыточно увлажненных земель, в частности, орошение (например, овощных и других культур).

Одно только удаление излишней воды в названных районах недостаточно, потому что в отдельные сезоны или годы здесь бывают засушливые периоды, когда сельскохозяйственные растения (даже на заболоченных землях) могут испытывать не излишки, а недостатки влаги (в активном слое почвы); для поддержания же высокого плодородия почвы и обильных урожаев сельскохозяйственные растения должны обеспечиваться в течение всей их жизни одновременным и полным наличием в почве усвояемой воды и усвояемой пищи, воздуха, тепла и др. Поэтому осушительные мелиорации, устраняя вредные для растений избытки воды и дефициты воздуха в почве, должны в то же время поддерживать в почве во все фазы развития растений необходимые им запасы влаги. Это должно достигаться не только регулированием стока воды с осушаемой площади, но и изменением водных свойств самих осушаемых почв приданием им прочной комковатой структуры, которая обеспечивает возможность действительного регулирования водного и питательного режимов почв.

Посевы многолетних трав значительно повышают водопроницаемость почвы; это видно, например, из данных опытов А. А. Артемьева (СевНИИГиМ) на суглинистой почве (табл. 49).

Увеличение водопроницаемости структурных почв облегчает осушение их и обеспечивает надлежащий водный режим в условиях избыточного увлажнения. Структура увеличивает также воздухопроницаемость и снижает капиллярность почвы, т. е. регулирует водный режим почв в нужном

направлении: снижает влажность верхних слоев почвы во влажные (дождливые) периоды и повышает ее в сухие (бездождные) периоды по сравнению с бесструктурными почвами (причем разница влажности может достигать 10—15% по весу).

Поэтому осушительные мелиорации должны обязательно сочетаться с введением соответствующей агротехники на осушаемых землях и регулированием их водного режима.

2. ПРОЦЕССЫ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ И ГЛАВНЕЙШИЕ ВИДЫ ОСУШАЕМЫХ ПОЧВ

Земли, на которых применяются осушительные мелиорации, представляют собой или заболоченные, избыточно увлажненные минеральные, обычно дерново-подзолистые почвы или же болота и заболоченные земли, содержащие большие количества органического вещества и бедные минеральными зольными элементами.

Образование и основные свойства заболоченных почв обусловливаются: а) характером почвообразовательных процессов, происходящих в почве в подзолистый период или в луговую и болотную стадии дернового периода почвообразования, и б) гидрографическими и гидрогеологическими факторами, вызывающими избытки воды (затопляемые низменности, подтопления земель, выходы грунтовых вод).

Дерново-подзолистые почвы, по учению В. Р. Вильямса, образуются под влиянием лесной растительности, накопляющей лесную подстилку, хорошо поглощающую воду, и грибного процесса разложения (грибной микрофлоры) в условиях нисходящих токов воды, накопляющейся в лесной подстилке; эти токи вымывают в нижние слои почвы выделяемую грибами креновую кислоту и легко растворимые в ее присутствии минеральные соли, образующиеся в результате разложения подстилки. Таким образом, постепенно все элементы зольной пищи растений вымываются в подпочву; под влиянием креновой кислоты алюмосиликаты отделяют свободный кремнезем и под слоем подстилки образуется подзолистый горизонт. Под влиянием реакций, происходящих в подзолистом горизонте, креновая кислота постепенно нейтрализуется и на некоторой глубине ниже подзолистого горизонта в почвообразующей породе устанавливается нейтральный горизонт, где могут иметь место только анаэробные процессы разложения. Под действием анаэробных бактерий креновая кислота восстанавливается в апокреновую, образуются трудно растворимые апокренаты кальция, железа, алюминия, отлагающиеся в нейтральном горизонте ниже подзола, в виде плотного слоя (так называемого ортштейна), маловодопроницаемого, способствующего накоплению верховодок и заболачиванию почвы.

Под влиянием естественной периодической смены лесных формаций или неправильной хозяйственной деятельности людей и истребления лесов на поверхности лесной почвы появляется живой покров травянистой (луговой) растительности, способствующий постепенному прогрессивному накоплению в занимаемой ею почве органических остатков и аморфного перегноя; в подзолистой почве под пологом леса отмирающие подземные части травяной растительности (вследствие кислой реакции подзолистого горизонта) не разлагаются и в почве постепенно накопляется органическое вещество. С каждой сменой лесных формаций (или уничтожением лесов) этот процесс усиливается; лесная растительность вытесняется травянистой и начинается дерновый период почвообразования, луговая стадия его. Процесс накопления органического вещества и аморфного перегноя в почве «...протекает в порядке *прогрессивного* усиления, так как он сам одновременно и *следствие*, и *причина* анаэробного процесса, в условиях которого он осуществляется»[1]. Накопление органического вещества в верхних горизонтах почвы ограничивает приток кислорода во внутренние слои почвы, значительно повышает влагоемкость и содержание воды в ней и еще более усиливает анаэробные условия и накопление органического вещества в почве. Вследствие этого все усиливается относительный недостаток в почве усвояемых элементов зольной пищи и азота; эти элементы образуются только в самых поверхностных слоях (где имеются аэробные условия) и не проникают в нижние слои почвы, заполненные органическим веществом. Под влиянием сосредоточения усвояемых питательных веществ только в поверхностном слое почвы постепенно корневищные и рыхлокустовые злаки вытесняются плотнокустовыми злаками, развивающими свой узел кущения выше поверхности почвы и переносящими горизонт максимального накопления мертвого органического вещества выше поверхности почвы. Этот горизонт постепенно растет и все больше лишается примеси минеральных частиц почвы, приобретает свойства чистого органического вещества (торф). Сначала образуется осоковое болото, затем, под влиянием

[1] В. Р. Вильямс. Почвоведение. Сельхозгиз, М., 1949, стр. 128.

недостатка зольной пищи, осоки постепенно уступают место более приспособленным к таким условиям жизни мхам, сначала зеленым—гипновым, а затем белым—сфагновым, которые могут получать зольную пищу только за счет атмосферных осадков. Так луговая стадия дернового процесса переходит в болотную.

Накопляющееся на поверхности мертвое органическое вещество, обладающее большой влагоемкостью, жадно поглощает воду; плотные кусты злаков (кочки) сильно задерживают сток атмосферной воды. В результате вся масса торфа насыщается водой, которая прочно удерживается в ней, так как все промежутки в этой массе (некапиллярные и капиллярные) заполнены аморфным перегноем; поэтому вода, поступающая на болото, за вычетом испарения, накопляется на поверхности или очень медленно стекает.

В зависимости от рельефа местности и пищевого и водного режимов почв продолжительность отдельных фаз и стадий дернового процесса почво-

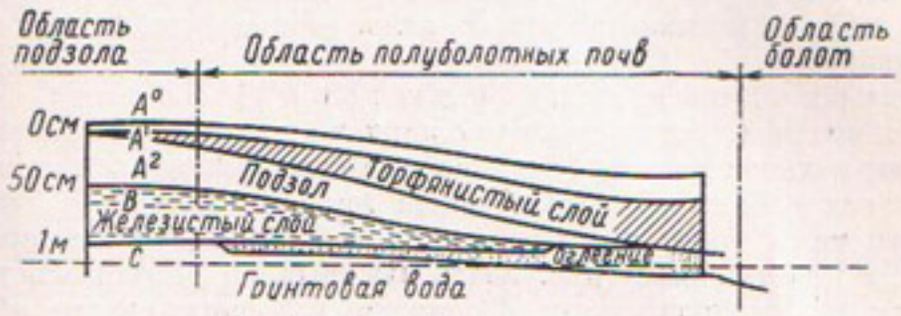


Рис. 233.

образования неодинакова и, следовательно, различны степени и темпы заболачивания.

Переход от дерново-подзолистых минеральных заболоченных почв к болотным почвам схематично представлен на рисунке 233 (по М. М. Филатову)[1].

Земли, как указано выше, могут заболачиваться также вследствие гидрографических и гидрогеологических условий местоположения этих земель; эти условия вызывают в них накопление поверхностных или грунтовых вод, превышение поступления их над расходом и связанные с этим дефициты аэрации и процессы заболачивания почвы. Это будут земли с замедленным стоком поверхностных или грунтовых вод, с преобладанием притока воды над оттоком; местности, подверженные затоплению или подтоплению; земли с близким залеганием или выклиниванием грунтовых вод; отрицательные элементы рельефа — бессточные котловины и др. Главными источниками питания заболоченных земель водой могут быть следующие: а) воды атмосферных осадков, превышающих испарение и сток (так называемое атмосферное питание); б) воды поверхностного стока (делювиальные и аллювиальные); в) подземные воды (близко залегающие или выклинивающиеся, напорные или безнапорные) (грунтовое питание). Все эти условия могут иметь место главным образом в нечерноземной полосе, но также и в других почвенных и климатических зонах, где имеются для того благоприятные условия.

Болота могут образовываться также путем зарастания естественных водоемов (озер, речных стариц, заводей). Процесс зарастания водоемов начинается с отложения на дне массы аморфного торфа и ила, так называемого *сапропеля*. Когда слой сапропеля достигнет достаточной толщины, на нем, начиная от берегов, поселяются земноводные растения (хвощи, камыши, тростники, мхи), которые постепенно своими отмершими частями заполняют водоем. По мере этого заполнения на поверхности заполнившей массы начинается торфовый процесс почвообразования и дальнейшее развитие болота.

В зависимости от стадии, на какой в настоящий момент находится процесс заболачивания, от условий питания болотных растений водой и зольными элементами могут быть различные виды болот, из которых отметим основные.

[1] Схема на рисунке 233 является условной, отражающей основную тенденцию процесса в условиях избыточного увлажнения.

а) Низинные (луговые) травяно-осоковые и травяно-гипновые болота образуются в нижней пологой части склонов и на поймах на фоне луговой стадии дернового периода почвообразовательного процесса; они получают зольное и водное питание вместе со стекающими с вышележащих склонов водами и содержащимися в них наносами, а также минеральными солями, образующимися при разложении органического вещества почвы; эти болота имеют относительно высокую зольность.

б) Верховые (моховые, торфяные) болота образуются обычно на водоразделах с промытыми водой почвами, бедными зольными элементами пищи, на общем фоне дерново-подзолистого процесса почвообразования; они образованы главным образом мхом-сфагнумом и получают зольное и водное питание вместе с атмосферными осадками; отличаются малой зольностью.

в) Переходные, или ключевые, болота образуются в верхней и средней частях склонов с дерново-подзолистыми почвами; обычно получают зольное и водное питание от выклинивающихся на поверхность грунтовых вод с большей или меньшей минерализацией.

Все эти типы болот связаны между собой взаимными переходами во времени и в пространстве (рис. 234[1]). Каждый из указанных типов болот разделяется на разновидности сообразно условиям своего образования.

По вопросам образования и типов болот имеется обширная специальная литература (работы В. Р. Вильямса, В. Н. Сукачева, Р. И. Аболина, В. С. Доктуровского, Н. Я. Кац, С. Н. Тюремнова и других авторов).

В таблице 50 приводится схематическая классификация болот в зависимости от условий их зольного и водного питания и степени увлажненности (предложенная Р. И. Аболиным). Эта классификация характеризует современную стадию развития болота, а не его генезис.

Таблица 50

Источники питания болота водой	Содержание зольных элементов (в %)	Степень увлажненности болот — по глубине стояния воды от поверхности			Виды мхов
		высокая < 5 см	средняя 5—15 см	умеренная 15—40 см	
Поверхностные воды (заливающие, намывное питание)	40—90	Топи травяные	Топи кустарниковые	Топи лесные	Отсутствие сомкнутого мохового ковра
Грунтовые воды (жесткие)	10—30	Буромошники травяные	Буромошники кустарниковые	Буромошники лесные	Сомкнутый ковер гипновых мхов (бурого цвета)
Грунтовые воды (мягкие)	4—10	Беломошники травяные	Беломошники кустарниковые	Беломошники лесные	Ковер сфагновых мхов (беловатого цвета)
Атмосферные воды	2—4	Красномошники травяные	Красномошники кустарниковые	Красномошники лесные	Густой ковер сфагновых мхов (красноватого цвета)

[1] Рисунок 234 заимствован из книги «Разведка торфяных месторождений», М., 1953 (данные М. Н. Никонова).

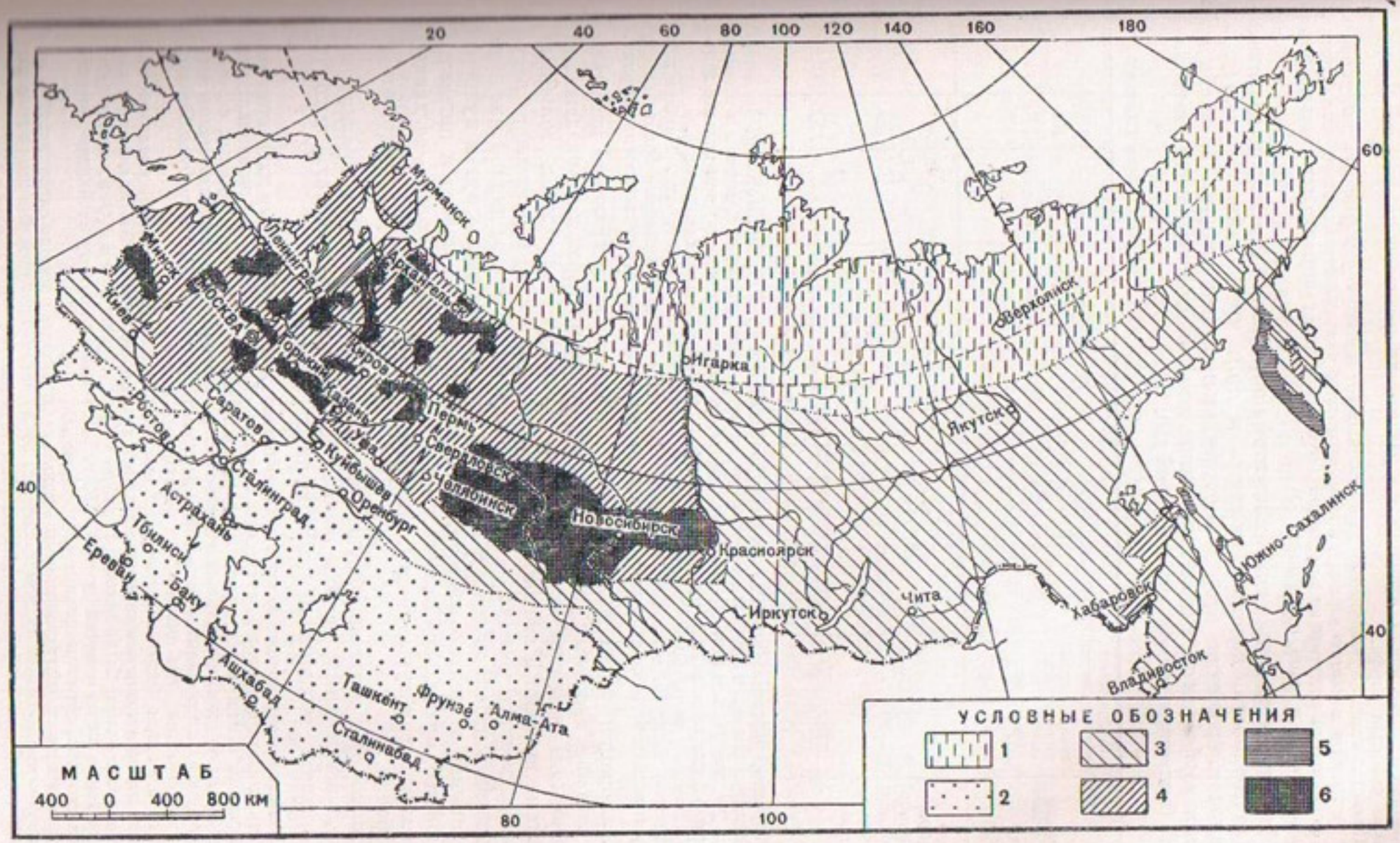


Рис. 234. Заторфованность территории СССР:

1 — полярная зона слабой заторфованности; заторфованность: *2* — менее 0,05%; *3* — от 0,5 до 1%; *4* — от 1 до 10%; *5* — от 10 до 25%; *6* — свыше 25%.

Каждому типу болот (и условиям его зольного и водного питания) присущи определенные условия аэрации почвы, накопления и разложения органического вещества и определенные свойства торфа.

Большая степень увлажненности обусловливает меньшую устойчивость для укоренения растений и меньшую аэрацию почвы, поэтому с увеличением насыщенности болота водой возможность развития на нем лесной и кустарниковой растительности уменьшается, а развитие трав и мхов возрастает.

Характер и степень разложения торфа определяют физические свойства его (влагоемкость, водопроницаемость и др.), чрезвычайно важные для правильного решения вопросов осушительных мелиораций. Главнейшие свойства торфа для трех указанных выше типов болот представлены в таблице 51 (ориентировочные средние цифры).

Таблица 51

Основные типы болот	Содержание		CaO	P_2O_5	N	K_2O	pH солевое	Влагоемкость (в %)	Удельный вес
	органических веществ (в %)	зольных элементов (в %)							
Низинное (травяное)	90—80	10—20	2,5—4,0	0,15—0,5	2,5—3,5	0,08—0,10	4,5—6,0	200	1,0
Переходное	85—90	5—10	0,5—2,5	0,10—0,20	1,2—2,5	0,06—0,08	3,5—4,5	800	0,6
Верховое (сфагновое) . . .	>95	<5	<0,5	0,05—0,15	0,8—1,2	0,04—0,06	2,5—3,5	1200	0,2

Характер растительности, из которой образовался торф, и особенно степень разложения его могут изменять в ту или другую сторону приведенные цифры. Чем больше степень разложения торфа, тем меньше его влагоемкость и гигроскопичность; чем больше зольность торфа, тем меньше, при прочих одинаковых условиях, его влагоемкость.

Указанные типы болот различаются и в отношении кислотности. Наибольшей кислотностью обладают верховые, сфагновые болота; низинные, гипновые болота имеют меньшую кислотность; среднее место занимают осоковые болота без мохового покрова.

Мелиорации болот должны быть направлены на устранение избытков воды, создание аэробных условий в почве, ускорение процессов разложения органического вещества и обеспечение растений усвояемыми зольными элементами питания и влагой. Это достигается путем: а) надлежащего регулирования водного режима — поступления и стока вод на данной площади для удаления избытков воды и поддержания в почве таким путем нужного для растений не только водного, но и воздушного, теплового и пищевого режимов, и б) правильной сельскохозяйственной культуры болот — созданием комковатой структуры почвы, правильной системой обработки почвы и удобрения.

Только при сочетании осушения заболоченных земель с правильным сельскохозяйственным использованием их можно обеспечивать высокую эффективность мелиорации заболоченных земель.

Низинные и переходные болота, отличающиеся высокой зольностью и значительным содержанием азота и других питательных веществ, обладают большими потенциальными возможностями в отношении своего плодородия и являются особенно ценным сельскохозяйственным фондом, при надлежащем его использовании. Отличающиеся малой зольностью и бедные питательными веществами верховые, сфагновые болота требуют бо́льших затрат для освоения, чем низинные и переходные болота.

Торф верховых болот обладает наибольшей вредной (избыточной) кислотностью, для нейтрализации которой в пахотном слое необходимо внесение 2—5 *т/га* извести (CaO), что доводит содержание CaO в пахотном слое до 1—2,5%. Запас K_2O и P_2O_5 в пахотном слое верхового торфа очень невелик (по 100—150 *кг/га* каждого); поэтому необходимо ежегодное внесение фосфатных и калийных удобрений.

Торф низинных болот с нормальной зольностью обладает обычно слабокислой реакцией, он значительно богаче калием и особенно фосфором, так что потребность во внесении калийных и особенно фосфорных удобрений на низинных болотах меньше, чем на верховых. Переходные болота занимают промежуточное положение.

На осушенных болотах при соответствующей агротехнике возделываются и дают высокие урожаи почти все виды сельскохозяйственных растений, особенно же луговые травы, овощи, зерновые, кормовые (например, кукуруза), технические культуры и плодовые растения.

Избыточно увлажненные минеральные дерново-подзолистые почвы различаются между собой, во-первых, по механическому составу (более легкие супесчаные и тяжелые глинистые почвы) и, во-вторых, по той стадии, в какой находится процесс почвообразования.

Подзолообразовательный процесс постепенно создает на известной глубине в почве иллювиальный оглеенный плотный горизонт, на котором легко скопляется верховодка, обусловливающая избыточную влажность вышележащей толщи почвы. По мере перехода подзолистого процесса в дерновый, на поверхности почвы образуется влагоемкий органический слой, который хорошо поглощает воду атмосферных осадков, уменьшает сток и усиливает избыточное увлажнение почвы.

Условия избыточной влажности минеральных почв создаются также и в тех случаях, когда эти почвы залегают на водонепроницаемых глинистых породах или когда сами почвы по своему механическому составу отличаются малой водопроницаемостью (тяжелые глины).

Влажность почвогрунтов, особенно суглинистых и пылеватых, сильно повышается в весенний период, большое влияние при этом оказывает замерзание почвы. Приток влаги из нижних слоев в верхний, замерзающий слой грунта происходит под влиянием разности температур верхнего, холодного и нижних, более теплых слоев[1].

В результате накопления льда в почвогрунте содержание влаги в нем к началу снеготаяния может превышать полную влагоемкость данного грунта. Дисперсность почвы, залегание глинистых и пылеватых слоев на песчаных, близость и особенно напорность грунтовых вод и резкие колебания зимних температур усиливают процессы зимнего накопления воды в верхних слоях почвогрунта путем льдообразования. Эти явления снижают водопроницаемость почвы, способствуют переувлажнению пахотных слоев почвы и задерживают (до 10—15 суток) возможность своевременного начала сельскохозяйственных работ. Для борьбы с указанными явлениями необходимо снижение притока, уровня и напорности грунтовых вод, а также уничтожение дисперсности почвы, придание ей прочной комковатой структуры, что достигается правильным сельскохозяйственным освоением.

Вышеуказанные процессы избыточного увлажнения почв особенно усиливаются в тех случаях, когда эти почвы залегают в пониженных частях рельефа.

Избыточное увлажнение почв особенно резко проявляется весной и осенью в периоды затяжных дождей.

Показателем избыточного увлажнения почв служит также растительность; не говоря о специфической растительности болот (мхи и другие виды), признаком избыточной влажности на полях служат бледная желтозеленая окраска злаков, появление многочисленных сорняков, таких как ползучий пырей, полевица, хвощ и др., а также плесень и грибковые заболевания растений.

На лугах вредное избыточное увлажнение придает почве ржаво-коричневую окраску; характерно также произрастание таких растений, как лютик

---

[1] Причины перемещения влаги в настоящее время указываются следующие: а) передвижение паров воды под влиянием градиентов давлений и их конденсация, б) капиллярное передвижение, возникающее ввиду различия в коэффициентах поверхностного натяжения (этот коэффициент существенно увеличивается при уменьшении температуры), в) за счет энергии, высвобождающейся при кристаллизации и др.; в определенных условиях главную роль играет та или иная из указанных причин; вопрос этот, особенно в количественном отношении, еще недостаточно исследован.

едкий, куросле́п, сердечник луговой, осоки разных видов, ситник, пушица, камыш, тростник и, наконец, мхи.

Заболоченные почвы отличаются слабой аэрацией и большой теплоемкостью, вследствие чего они холоднее незаболоченных почв при прочих одинаковых условиях. Этими свойствами обусловливается ряд неблагоприятных для сельского хозяйства моментов: а) замедленное таяние и запоздалое просыхание весной; б) частое вымерзание и запоздалое вызревание растений; в) анаэробный процесс разложения органического вещества и недостаток усвояемых элементов питания растений; г) торможение действия других факторов развития растений (удобрений, обработок почвы) и в конечном счете снижение урожая.

Осушение в сочетании с правильной системой агротехнических мероприятий позволяет устранить все вышеуказанные недостатки. Знание процессов образования болот и причин заболачивания необходимо для установления наиболее эффективных методов их мелиорации, устраняющих эти причины.

Климатические условия заболоченных районов по сравнению с суходольными отличаются более высокой относительной влажностью и более низкой температурой воздуха, большей облачностью и бо́льшим количеством осадков. Результаты обширных осушительных работ в Полесье и других районах СССР показали положительное влияние осушения на климатические условия. Не менее велико их санитарное значение, особенно в деле борьбы с малярией, что доказано опытом многих районов СССР.

3. ТРЕБОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР К ВОДНОМУ РЕЖИМУ ПОЧВ; НОРМЫ ОСУШЕНИЯ

Правильное сельскохозяйственное использование заболоченных земель требует поддержания на них нужного для сельскохозяйственных культур водного и связанных с ним воздушного, биологического, питательного и теплового режимов почвы. Этот режим не только не остается одинаковым для разных сельскохозяйственных культур, но и для одной и той же культуры изменяется во времени, в соответствии с фазами развития растений и климатическими условиями.

Для растений, как известно, вредны не только избытки воды, снижающие аэрацию почвы и нарушающие биологический, тепловой и питательный режимы почвы, но и недостатки влаги, являющейся одним из основных факторов плодородия почвы; вместе с тем большинство сельскохозяйственных культур не выдерживает без вреда для своего развития более или менее длительного поверхностного затопления водой. Поэтому при осушении нужно обеспечивать благоприятный водный режим на осушаемых землях как в почвах, так и на поверхности этих земель. Нужно не только удаление воды, но в определенные периоды и увлажнение почвы — в соответствии с требованиями возделываемых сельскохозяйственных культур. Чем более интенсивно используются осушаемые земли, тем строже следует придерживаться этого положения.

Для обеспечения *аэрации*, необходимой для дыхания корней и правильного разложения органического вещества (образования усвояемых форм пищи растений), в почве должен происходить постоянный газообмен, при котором весь объем воздуха в активном (корнеобитаемом) ее слое мог бы обновляться в течение не слишком продолжительного срока. Объем же воздуха, содержащийся в этом слое, должен составлять: для трав не меньше 15—20% от скважности почвы; для зерновых хлебов не меньше 20—30% и для корнеплодов не меньше 35—40%. Таким образом, наибольшая влажность почвы в активном слое для трав должна быть около 70—85% от полной влагоемкости, для зерновых хлебов — 70—80% и для корнеплодов — 60—65%.

По отдельным фазам развития растений и в зависимости от характера заболачивания, агротехники и климатических условий необходимая влажность почвы не остается постоянной, а изменяется определенным образом.

Влажность и аэрация почвы на заболоченных землях с близкими грунтовыми водами очень сильно зависят также от глубины последних. Как один из примеров этой зависимости можно привести рисунок 235 (по данным Кировской лугоболотной опытной станции ВНИИГиМ). На этом рисунке в зависимости от глубины залегания грунтовых вод (в сантиметрах) показаны

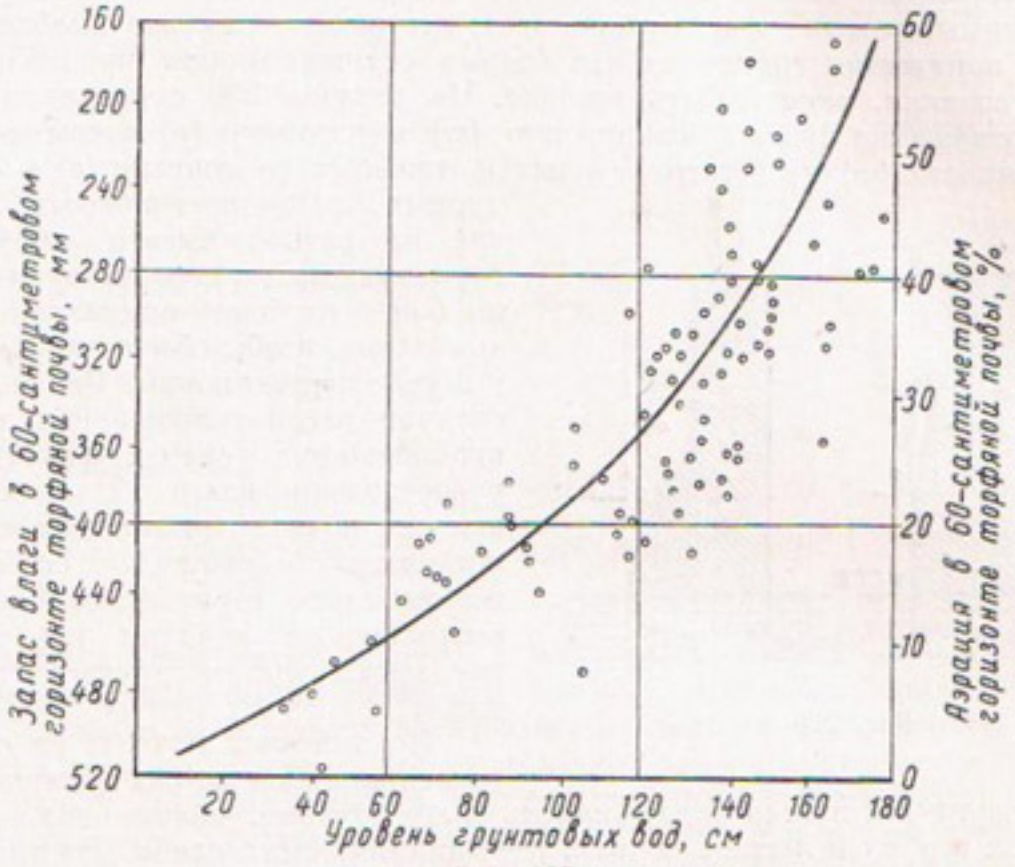


Рис. 235.

аэрация (в процентах) и запас влаги (в миллиметрах) в слое торфяной почвы мощностью 60 *см*. Следовательно, с увеличением глубины грунтовых вод увеличивается аэрационная емкость почвы.

Ввиду указанной связи между водно-воздушным режимом почвы и глубиной грунтовых вод требования сельскохозяйственных культур к водному режиму почвы при осушении принято выражать так называемой *нормой осушения*, под которой понимается определенный для данной культуры режим глубины грунтовых вод, какой надо поддерживать на осушаемой площади в различные фазы развития культуры в течение вегетации, а также и в невегетационный период. Таким образом, *норма осушения не стабильная величина, она изменяется во времени.* Норма осушения должна обеспечивать, с одной стороны, необходимую аэрацию почвы и связанный с этим пищевой и тепловой режимы, а с другой — достаточную для растений влажность почвы (особенно в сухие периоды). Глубины залегания грунтовых вод (или нормы осушения), при прочих одинаковых условиях, могут быть меньше в следующих случаях: а) для растений с большим коэффициентом водопотребления и неглубокой корневой системой; б) при более сухих и теплых климатических условиях; в) на почвах, обладающих меньшей капиллярностью и влагоемкостью; г) для культур, менее требовательных к условиям аэрации и температуры почвы.

При более или менее близкой к норме глубине стояния грунтовых вод H водопотребление растений и испарение почвы E удовлетворяются

за счет: а) использования влаги грунтовых вод R, капиллярно поднимающихся в вышележащие слои; б) поступающих в почву атмосферных осадков за вычетом стока $P-S$; в) использования внутренних запасов влаги в слое почвы H, т. е. $W_{нач}-W_{кон}=\Delta W$. Поэтому можно написать такое уравнение:

$$E=K+(P-S)+\Delta W.$$

Количество влаги K, расходуемой за счет грунтовых вод, при прочих одинаковых условиях, возрастает с уменьшением глубины грунтовых вод и с увеличением высоты капиллярного поднятия воды в почве. Поэтому на крупнозернистых или глубоко оструктуренных почвах необходимая глубина понижения грунтовых вод (норма осушения), при прочих одинаковых условиях, может быть меньше. На рисунке 236 схематично показано соотношение между влажностью (w) и аэрацией (p) почвы в долях от скважности (m) на бесструктурных и тяжелых по составу ($а$) и структурных или крупнозернистых ($б$) почвах на разной высоте от уровня грунтовых вод; в первом случае нужно более глубокое понижение грунтовых вод, чтобы обеспечить необходимую аэрацию почвы. Рисунок 236 следует рассматривать как весьма приближенную схему; фактическое распределение влаги обычно на осушаемых почвах осложняется изменением их водно-физических свойств по генетическим горизонтам, наличием защемленного воздуха на уровне грунтовых вод и другими причинами.

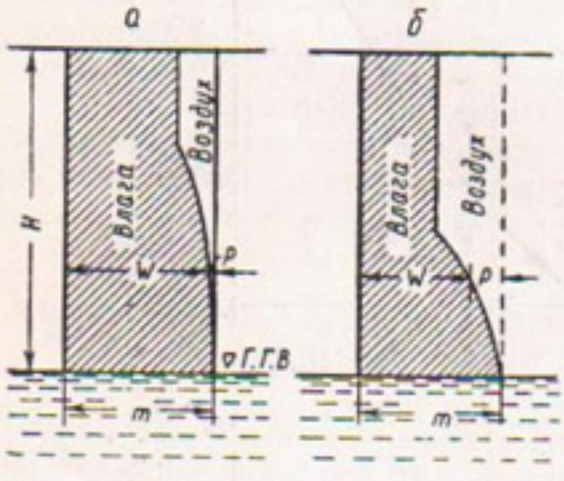


Рис. 236.

На тяжелых почвах, на сильно разложившихся торфах грунтовые воды при осушении нужно поддерживать более глубоко, чем на плохо разложившихся торфах и легких почвах, где капиллярность слаба. На тяжелых глинах, где капиллярное поднятие воды происходит очень медленно, глубина грунтовых вод несколько уменьшается по сравнению с обычной глинистой почвой. Необходимая норма понижения грунтовых вод зависит также от глубины корневой системы растений и условий погоды: чем мельче корневая система и суше погода, тем выше может быть стояние уровня грунтовых вод. Необходимые влажность почвы и понижение грунтовых вод нужно поддерживать не только в течение вегетационного периода, но и в зимнее время, для обеспечения аэрации и температурного режима почвы и надлежащего протекания биохимических процессов в это время (что оказывает большое влияние на накопление усвояемой пищи и на урожайность).

Таблица 52

Культуры	Средние нормы осушения (в см)	
	за вегетационный период	за весенний и предпосевной периоды
Травы	50—60	30—40
Пастбища	60—70	40—50
Зерновые	70—80	30—40
Технические	80—100	60—70
Овощные	70—80	50—60

Например, по опытам Института болотного хозяйства БССР, на урожай трав (первого летнего укоса) влияет водно-воздушный режим почвы не только за летний, но и за предшествующий (осенне-зимний) период.

По материалам СевНИИГиМ в таблице 52 приведены нормы осушения для отдельных культур.

При осушении лугопастбищных севооборотов, по данным СевНИИГиМ, в течение вегетационного периода нужно поддерживать влажность почвы около 75—85% полной влагоемкости и аэрацию около 17—22%.

Украинский институт гидротехники и мелиорации на основании своих работ дает следующие нормы осушения для заболоченных земель УССР (табл. 53).

Таблица 53

Культуры	Нормы осушения (в *м*)		Влажность пахотного слоя (в % от полной влагоемкости)	Аэрация почвы (в %)
	начало посевного периода	средние за вегетационный период		
Сеяные травы, лен, овес на сено	0,3—0,4	0,5—0,6	80	15
Зерновые, табак, капуста	0,4—0,5	0,6—0,8	70	20—25
Корне- и клубнеплоды, конопля	0,5—0,6	0,8—1,0	60	30

Институт мелиорации, водного и болотного хозяйства АН БССР рекомендует следующие нормы осушения. В период весенней предпосевной обработки болотных почв уровни грунтовых вод должны находиться не ближе 50—60 *см* от поверхности — для многолетних трав и яровых зерновых и не ближе 70—80 *см* — для конопли, картофеля, корнеплодов, капусты, подсолнечника на силос. Уровни грунтовых вод за вегетационный период должны быть на глубине 60—75 *см* — для искусственных многолетних сенокосов; 70—80 *см* — для искусственных пастбищ; 70—90 *см* — для озимых и яровых зерновых; 80—100 *см* — для конопли, картофеля, корнеплодов, капусты, подсолнечника на силос. В зимний период грунтовые воды должны стоять не выше 60—80 *см* от поверхности. На хорошо окультуренных торфяно-болотных почвах, где корни растений проникают на глубину 1 *м* и более, допустимо понижение грунтовых вод до 150 *см* от поверхности.

Овощи требуют глубину грунтовых вод в среднем за вегетацию не менее 80—100 *см*.

Кировская лугомелиоративная станция дает для многолетних злаковых трав нормы понижения грунтовых вод: весной — 50—60 *см*; за вегетационный период 120—140 и в зимний период 130—170 *см*; при этом следует отметить, что глубина торфа на станции около 1 *м* и болото имеет напорно-грунтовое водное питание.

Б. Д. Оношко на основе обобщения опыта работ болотных станций СССР дает нормы осушения главнейших сельскохозяйственных культур, приведенные в таблице 54.

Нормальной глубиной грунтовых вод для лугов Б. Д. Оношко считает 50 *см*. По А. А. Черкасову, ориентировочные значения норм осушения (средние за вегетационный период) для разных культур на различных почвах даны в таблице 55.

Для начала сельскохозяйственных работ весной на осушенных почвах необходимо понижение грунтовых вод: на маловлагоемких почвах (супесчаные, суглинки, неразложившийся торф) не менее 40—50 *см*; на влагоемких почвах (глины, разложившийся торф) не менее 50—60 *см*. По наблюдениям

Таблица 54

Культуры	Необходимая глубина грунтовых вод (в см)		
	средняя за вегетацию	до начала обработки	к началу посева
Луговые травы на сенокос, лен, вико-овсяная смесь	50—60	40	50
Луговые травы на пастбище, зерновые	70—80	45	60
Овощные культуры, конопля, корне- и клубнеплоды	80—90	50	70

СевНИИГиМ, дренаж при расстояниях между дренами до 30 *м* на легких и средних почвах обеспечивает эти понижения, что позволяет производить тракторную обработку почвы на 10—15 дней раньше, чем на недренированных почвах.

Таблица 55

Культуры	Средняя норма осушения (в см)					
	низинное болото	песок	супесь	суглинок средний	суглинок тяжелый	глина обыкновенная
Луговые травы на сено, вико-овсяная смесь, лен	50—60	35—45	40—50	60—70	65—75	60—70
Луговые травы на пастбище	80—90	40—50	45—55	70—80	80—90	70—85
Зерновые хлеба	70—80	45—55	50—65	65—80	70—80	70—75
Овощи, корне- и клубнеплоды	75—85	50—65	65—75	75—85	80—90	75—85
Конопля, хмель, подсолнечник	80—100	60—80	75—85	85—95	90—100	75—95

По данным М. Х. Пигулевского, влажность почвы, при которой можно рационально вести обработку почв, составляет от $^1/_3$ до $^2/_3$ полной весовой влагоемкости почвы; лучшей является влажность, близкая к максимальной капиллярной влагоемкости данной почвы.

Приведенные выше величины норм осушения характеризуют наименьшие значения их, выше которых не должны подниматься грунтовые воды на осушаемых землях (посредине между регулирующими канавами или дренами); необходимая глубина осушительных каналов, как будет сказано ниже, должна превышать указанные величины, чтобы обеспечивать необходимую подвижность управления водным режимом почв при естественных его колебаниях.

Продолжительность *допустимого затопления* земель зависит от характера сельскохозяйственного использования. На лугах, сенокосах при экстенсивном использовании их допускается бо́льшая продолжительность затопления, чем на полях и при интенсивной культуре лугов. Затопление полевых культур даже в течение суток вызывает резкое снижение урожаев. Наблюдения опытных учреждений и передовых хозяйств показывают, что продолжительность весеннего затопления, вызывающая гибель растений, составляет: озимой ржи 8—10 суток, пшеницы 7—8, ячменя 5—6, овса 10 суток. Что касается поверхностного затопления трав весенними водами на болотных почвах, то, по данным Б. Д. Опошко, травы можно разделить на три группы: 1) выдерживающие длительное затопление (от 20—25 до 40—50 дней)— бекмания, канареечник, мятлик болотный; 2) допускающие затопление не

свыше 20—25 дней — полевица белая, мятлик луговой, клевер белый, тимофеевка; 3) не выдерживающие затопления больше 7—10 дней — овсяница луговая, ежа сборная, клевер красный, райграс; эти травы уже после семидневного затопления начинают выпадать.

Затопление сельскохозяйственных культур в вегетационный период не должно превышать: для зерновых хлебов 0,2—0,5 суток, для овощных культур 0,20—0,25, для пастбищ 0,75—0,80, для сенокосов 1—1,5 суток. Поэтому при осушении лугов основное значение имеют условия незатопляемости при летних паводках; при осушении же полевых угодий — условия своевременного освобождения земель от воды весной, к началу полевых работ[1].

4. ВОДНЫЙ РЕЖИМ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЗЕМЛЯХ И МЕТОДЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Заболачивание земель может происходить, как указано выше, в результате почвообразовательных процессов или же неблагоприятных гидрологических и гидрогеологических условий, способствующих накоплению влагоемкого органического вещества и значительных избытков влаги, нарушающих нормальную аэрацию почвы.

Водный режим заболоченных земель тесно связан с условиями питания их водой, с одной стороны, и с климатическими и хозяйственными условиями, с другой.

Источниками питания заболоченных земель могут быть воды различного происхождения.

1. Воды атмосферных осадков и поверхностного стока, периодически накопляющиеся на заболоченных территориях вследствие большой влагоемкости органического вещества и особенно медленного стока или отсутствия его, обусловливаемого топографическими, гидрографическими или же почвенно-геологическими условиями. Эти воды обычно не богаты зольными элементами.

2. Намывные воды, поступающие на данную территорию со стороны реки — во время разливов (аллювиальные воды) или с водосбора — в виде делювиальных потоков. Эти воды обычно содержат более или менее значительные количества зольных питательных веществ.

3. Подземные, или грунтовые, воды, напорные или залегающие близко от поверхности и выклинивающиеся в пределах данной территории. Эти воды в большинстве случаев богаты минеральными веществами.

4. Поверхностные и грунтовые воды вместе, так как во многих случаях почвы, страдающие от поверхностного заболачивания, имеют и высокое стояние грунтовых вод.

---

[1] Следует отметить слабую изученность и отчасти дискуссионность вопросов влияния режима поверхностного затопления на урожайность сельскохозяйственных культур, несмотря на важность этого вопроса. Затопление *весенними* полыми водами (особенно пойменных земель), с одной стороны, обычно (при соответствующем составе полых вод и напора, что зависит от характера водосбора) содействует ежегодному восстановлению плодородия почв (см. ниже, раздел мелиорации пойм); с другой стороны, слишком продолжительное затопление отодвигает начало полевых работ или начало вегетационного периода (для лугов) и, кроме того, может вызвать вторичное заболачивание. Учитывая последнее обстоятельство, в Технических условиях и нормах по проектированию осушительных систем (изд. МСХ СССР, 1957) указаны следующие «допускаемые» продолжительности затопления: лугопастбищные севообороты, искусственные сенокосы — 20—25 суток; пастбища, полевые севообороты без озимых культур, овощные и прифермские севообороты — 10—15 суток; полевые севообороты с озимыми культурами —3—5 суток.

Приводимые в тексте допускаемые сроки затопления сельскохозяйственных культур в *вегетационный* период предполагают затопление местными водами, т. е. атмосферными осадками, выпадающими непосредственно на осушаемую площадь; затопление земель при любом характере сельскохозяйственного использования вод, поступающих на осушаемую площадь со стороны (например, летне-осенние паводки в реке, делювиальные потоки со стороны водосбора), ввиду обычно значительных скоростей этих вод и больших глубин не допускается, так как ведет к гибели или резкому снижению урожая.

Сообразно указанным источникам питания заболоченных почв водой и зольными элементами, непосредственная техническая задача мелиорации состоит в устранении избытков воды путем регулирования притока и стока ее (ускорение или задержание) и в поддержании нужного режима поверхностных и почвенно-грунтовых вод.

Режим поверхностных и почвенно-грунтовых вод на осушаемой территории за рассматриваемый период слагается следующим образом:

а) динамика режима поверхностных вод:

$$\Delta V = P + V - S - W_1 - E;$$

б) динамика режима почвенно-грунтовых вод:

$$\Delta W = W_1 + (G + A - O_T) - E_1,$$

где W_1 — количество поверхностных вод, поглощаемое почвой;
ΔW — прибыль (или убыль) запаса почвенно-грунтовых вод на данном массиве за рассматриваемый период;
ΔV — то же, поверхностных вод;
P — количество атмосферных осадков за этот период;
V — приток поверхностных вод;
S — отток поверхностных вод;
G — приток грунтовых вод на данный массив за рассматриваемый период;
A — конденсация атмосферной влаги в почве;
E — испарение поверхностных вод;
E_1 — транспирация и испарение почвенно-грунтовых вод;
O_T — отток почвенно-грунтовых вод за пределы данного массива в рассматриваемый период.

Количество подлежащих отводу избыточных поверхностных вод за известный промежуток времени определяется уравнением:

$$S = P + V - W_1 - E - \Delta V,$$

где ΔV — то количество поверхностных вод, какое может быть задержано за рассматриваемый период на данной площади (для увлажнения почвы или снабжения ее содержащимися в воде зольными питательными веществами).

Если по условиям использования данной площади поступление на нее поверхностных вод извне и затопление ими не может быть допущено (например, заселенные территории), то необходимо перехватить эти воды и оградить от них осушаемую площадь, тогда

$$V = 0,\ \Delta V = 0 \text{ и } S = P - W_1 - E.$$

В отношении почвенно-грунтовых вод должно быть соблюдено такое условие, чтобы в активном слое почвы для данной культуры за рассматриваемый период не накапливались почвенно-грунтовые воды сверх определенного допустимого запаса W_0, т. е. $W + \Delta W = W_0$; это может быть достигнуто: 1) или усилением оттока грунтовых вод, если внешний приток их мал, для чего нужно, чтобы отток составлял

$$O_T = W_1 + G + A - E_1 - (W_0 - W),$$

или же 2) перехватыванием притока грунтовых вод, для чего нужно, чтобы при $G = 0$, отток был равен

$$O_T = W_1 + A - E_1 - (W_0 - W)^1.$$

Из сказанного вытекает, что регулирование водного режима избыточно увлажненных почв может осуществляться следующими основными способами. **При необходимости регулирования избыточных поверхностных вод:** 1) ускорением и регулированием стока этих вод при помощи систематической сети осушительных устройств; 2) недопущением или, если это невозможно, регулированием притока на данную площадь: а) вод с вышележащего водосбора — при помощи перехватывания его нагорными каналами, или б) паводков нижерасположенных водотоков или водоемов — при помощи обвалования либо регулирования водоприемников. **При необходимости регулирования избыточных грунтовых вод:** 1) ускорением оттока почвенно-грунтовых вод, понижением и регулированием уровня их — путем устройства осушительной

[1] Отметим, что перехватом поверхностных вод (V) и увеличением поверхностного стока (S) уменьшается питание почвенно-грунтовых вод (W_1), что содействует уменьшению приращения их запасов (ΔW) и достижению за определенный период (при наличии O_T и E_1) допустимого содержания воды W_0; эта связь поверхностного стока и режима почвенно-грунтовых вод широко наблюдается в натуре.

(закрытой или открытой) сети; 2) недопущением притока на данную площадь грунтовых или фильтрационных вод: а) со стороны вышележащих массивов, путем перехватывания этих вод ловчими каналами, или б) со стороны нижележащих водоемов при подъеме горизонта воды в них, путем устройства перехватывающих береговых дрен или снижения подпора воды; наконец, 3) комбинированным применением нескольких из вышеуказанных способов.

Независимо от способов проведения осушительных мелиораций они должны: 1) обеспечивать нормированное регулирование водного режима осушаемых почв в соответствии с требованиями сельскохозяйственных культур, так как от этого зависит создание нужных условий аэрации почвы, минерализации органического вещества, водного и зольного питания растений, воздушный, биологический и тепловой режимы почвы; 2) быть связаны с правильным сельскохозяйственным использованием осушаемых площадей. Поддержание нужного водного режима осушаемых почв обеспечивается регулированием его в течение каждого года, в соответствии с потребностями сельскохозяйственных культур во влаге и состоянием климатических и гидрологических условий.

Осушение должно обеспечить надлежащий водный и аэрационный режим в почве; поэтому при осушении заболоченных земель, особенно грунтового и напорно-грунтового питания, очень важно *обеспечение определенной регулирующей аэрационной емкости в почве путем создания достаточно глубоких (но более редких) проводящих осушительных каналов*, позволяющих легче и лучше регулировать и поддерживать (самостоятельно или с помощью дополнительной регулирующей сети) нужный водно-воздушный режим в почве и достаточно быстро поглощать естественные колебания его при изменениях гидрометеорологических условий[1].

Для большинства заболоченных территорий в СССР максимумы естественного увлажнения поверхностными водами наблюдаются в весенний и предпосевной периоды, а в некоторые годы и в периоды летних и осенних дождей; уровень грунтовых вод поднимается обычно в марте — начале апреля с пиком в конце апреля — начале мая, затем в июле — августе и осенью, но меньше весенних; при достаточно глубоком осушении пики подъема сглаживаются.

5. ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ НА ПОЧВУ И РАСТЕНИЯ

В основе большинства осушительных мелиораций лежит усиление аэрации почвы, обеспечение аэробных условий разложения органического вещества путем удаления избытков поверхностных и почвенно-грунтовых вод и поддержания прочной комковатой структуры почвы.

Комковатая структура почвы повышает ее водопроницаемость, обеспечивает необходимое содержание влаги и воздуха в почве, поддерживает плодородие почв и более правильное размещение влаги по глубине, тем самым предохраняя от переувлажнения и пересыхания пахотные слои почвы.

Удаление избыточных поверхностных вод с осушаемой площади обеспечивает более правильное и эффективное сельскохозяйственное использование этой площади, а нередко определяет и самую его возможность. Осушение устраняет более или менее продолжительное затопление надземных частей растений водой и тем самым создает благоприятные условия роста растений и уменьшение заболеваний их. Затопление поверхности почвы водой изолирует ее от сообщения с атмосферным воздухом, нарушает газообмен и дыхание корневой системы растений; при более или менее продолжительном затоплении корни растений начинают задыхаться от недостатка кислорода и избытка углекислоты, получающейся в процессе дыхания; только некоторые водные растения, имеющие особые приспособления — «дыхательные корни», могут переносить затопления.

[1] Осушение болот глубокими *регулирующими* каналами было в 1938 г. предложено А. Д. Брудастовым.

Дыхание, как известно, есть окислительный процесс, в результате которого образуется вода и углекислота. При отсутствии кислорода растение некоторое время живет за счет так называемого интрамолекулярного дыхания, т. е. отнятия кислорода от подпадающего дыхательному процессу материала; здесь идет уже не физиологическое сжигание органического вещества, а расщепление его, дающее, кроме окисленных продуктов (CO_2), ряд восстановленных соединений. Количество кинетической энергии, получающейся в результате интрамолекулярного дыхания, оказывается недостаточным для поддержания жизнедеятельности высших растений, и они начинают страдать; кроме того, само интрамолекулярное дыхание скоро прекращается, и тогда растение гибнет. Наличие воздуха в почве необходимо для создания условий аэробного разложения органического вещества, поэтому содержание воздуха должно составлять около 20—40% скважности данной почвы.

Уменьшая количество воды в почве, осушение повышает содержание воздуха в ней и вместе с тем оказывает сильнейшее влияние на температуру осушаемой почвы, на ее кислотность, содержание и деятельность почвенных бактерий, характер разложения органических веществ и, в частности, нитрификацию и тем самым открывает возможности эффективного действия остальных факторов развития растений, применения высокой агротехники (удобрений, обработки почвы и др.) и получения высоких урожаев.

Рассмотрим главнейшие стороны влияния осушения.

1. *Влияние осушения на аэрацию — содержание воздуха и газообмен почвы — является наиболее существенным его действием.* Выше указывалось, что осушение имеет целью удаление из почвы избытков воды, чтобы повысить таким путем аэрацию почвы. В самом деле, на место удаляемой воды в почву поступает воздух, и потому с понижением влажности повышается аэрация почвы, ибо количество воды и содержание воздуха являются антагонистами.

Содержание воздуха в почве λ в процентах от объема ее, в зависимости от влажности почвы, может быть выражено такой формулой:

$$\lambda = A - ar\%,$$

где A — скважность данной почвы, в % от ее объема;
a — вес единицы объема ее;
r — весовая влажность, в % к весу сухой почвы.

Иллюстрация этой зависимости для наиболее влагоемких торфяных и легких супесчаных почв приводится в таблице 56, где показаны весовые проценты влажности почвы r при разных A, a и λ.

Таблица 56

Скважность почвы A (в %)	Вес единицы объема почвы a	Содержание воздуха в почве (в % от объема)											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
75	1,0	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
40	1,55	26	23	19	16	13	10	6	3	—	—	—	—

Вследствие осушения и понижения влажности почвы с некоторого весового процента r до r_0 содержание воздуха в почве возрастает на $a(r - r_0)$ объемных процентов. Тот процент влажности r_0, до которого нужно доводить содержание воды в осушаемой почве, для разных почв различен, сообразно их различной влагоемкости; именно чем больше влагоемкость и гигроскопичность данной почвы, тем больше процент влаги, недоступной растениям, и больше должен быть процент остаточной влажности r_0. Поэтому *если наличная влажность $r\%$ одинакова для тяжелой и легкой почвы, то подлежащая удалению влажность $(r - r_0)$ для первой почвы должна быть меньше, чем для второй.*

Понижение влажности почвы и усиление аэрации ее при близком стоянии грунтовых вод неразрывно связаны с понижением уровня их на осушаемой площади, так как, поднимаясь капиллярно, грунтовые воды увеличивают влажность верхних слоев почвы.

Для иллюстрации влияния различной глубины грунтовых вод на влажность и аэрацию пахотного слоя почвы в таблице 57 приведены данные наблюдений на Буровском опытном болотном поле УкрНИИГиМ.

Таблица 57

Глубина грунтовых вод (в см)	Средняя влажность слоя почвы от поверхности земли до грунтовых вод (в % от полной влагоемкости)	Аэрация почвы (в %)
59	89	12
61	84	11
85	79	12
95	76	15
96	78	17
100	79	23
103	75	28

В таблице 58 приведены данные опытов Института болотного хозяйства БССР (Н. Ф. Лебедевич).

Таблица 58

Глубина грунтовых вод (в см)	Средняя влажность (в % от полной влагоемкости)	Аэрация (в %)	Нитраты, (в мг на 1 кг сухой почвы)	Скважность	
				общая	некапиллярная
40	83,4	14,2	373	86,8	5,1
65	72,2	24,1	899	86,6	13,1
95	68,0	27,6	1124	86,2	11,4

Таблица 59 отражает данные наблюдений на Михневском опытном участке в Московской области (на низинном болоте).

Таблица 59

Глубина грунтовых вод (в см)	Влажность торфа (в %) на глубине (в см)		Аэрация (в %) в слое (в см)	
	10	40	0—20	20—40
<30	73,1	80,6	11,8	8,2
30—50	72,4	80,5	14,1	9,8
50—70	71,3	80,4	16,9	9,5
70—90	68,3	80,3	23,1	11,9
90—110	60,9	70,6	26,7	16,6

На торфах Михневского участка растения страдали от недостатка влаги при влажности пахотного горизонта 55%, а от недостатка воздуха при влажности 75%.

Осушение не только понижает абсолютный средний уровень грунтовых вод, но и уменьшает амплитуды их колебаний на осушаемой площади, что, в свою очередь, видоизменяет условия дыхания растений и распределения питательных веществ.

2. *Осушение оказывает влияние на повышение температуры осушаемой почвы*, что является также результатом уменьшения содержания воды в почве.

Удельная теплоемкость сухих почв, т. е. число калорий, необходимое для поднятия температуры 1 *г* почвы на 1° С, в среднем для большинства почв составляет около 0,20—0,25 (песок 0,19, суглинок 0,22, глина 0,22, торф 0,25, вода 1), т. е. в 5—4 раза меньше удельной теплоемкости воды. Таким образом, чтобы поднять температуру 1 *кг* воды на 1°,

нужно затратить в 4—5 раз больше теплоты, чем для того, чтобы поднять температуру 1 *кг* почвы на тот же 1°. Поэтому чем меньше содержание воды в почве, тем меньшее количество тепла нужно затратить, чтобы поднять температуру этой почвы на одно и то же число градусов.

Одно и то же количество тепла (положим, 300 калорий), будучи затрачено на согревание 100 *кг* почвы, имеющей удельную теплоемкость 0,20, с разным содержанием воды, поднимает температуру почвы на следующее число градусов:

100 *кг*	сухой почвы			15°	100 *кг*	почвы	+25%	воды	6,6°
100 »	почвы	+5%	воды	12°	100 »	»	+30%	»	6,0°
100 »	»	+10%	»	10°	100 »	»	+35%	»	5,4°
100 »	»	+15%	»	8,6°	100 »	»	+40%	»	5,0°
100 »	»	+20%	»	7,5°	100 »	»	+50%	»	4,2°

Влияние влажности почвы на ее температуру показано на рисунке 237, причем верхняя кривая относится к почвам, имеющим удельную теплоемкость 0,20, а нижняя кривая к более влагоемким почвам с удельной теплоемкостью 0,25.

Как изменяется объемная теплоемкость (в малых калориях на 1 *дм*³ почвы) разных почв, в зависимости от влажности почвы, можно видеть из таблицы 60[1].

Таблица 60

Почва	Влажность (в объемных %)				
	0	20	50	70	100
Песок	302	385	510	592	717
Глина	240	357	532	648	823
Гумус	148	223	525	676	902

Так как нормальное содержание влаги в почве, близкое к ее капиллярной влагоемкости, больше для тяжелых, чем для легких почв (для песка нормальная влажность около 10%, а для тяжелых глин около 24% по весу от сухой почвы), то тяжелые почвы, содержащие нормальное количество влаги, для того чтобы иметь определенную температуру, требуют бóльших количеств тепла, чем легкие почвы с нормальным для них содержанием влаги и той же температурой. Значит, находящиеся в одних и тех же климатических условиях, получающие один и тот же приток тепла и осушенные до своего нормального содержания влаги тяжелые и легкие почвы будут иметь разную температуру: тяжелые почвы — более низкую, чем легкие. *Поэтому и в целях отепления тяжелые почвы надо осушать сильнее, чем легкие.*

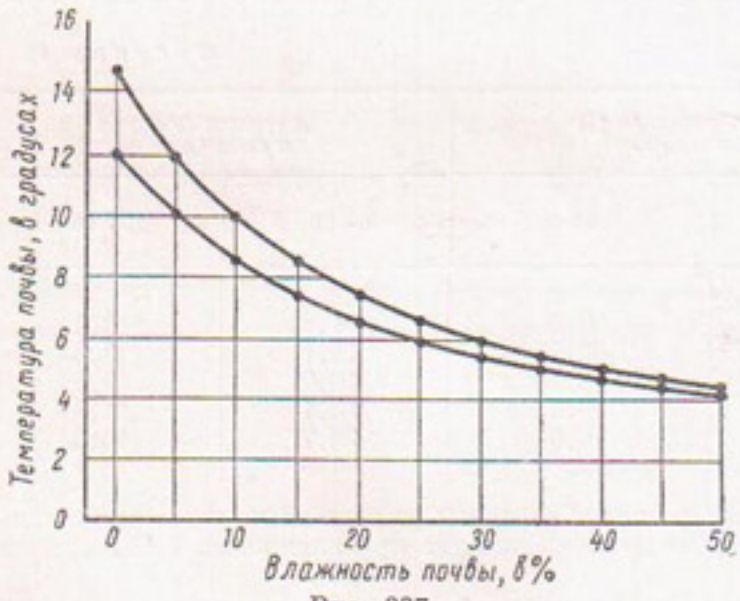


Рис. 237.

Из таблицы 60 и чертежа 237 видно, что осушение может давать повышение температуры почвы от 2 до 6°, смотря по степени осушения и характеру почвы.

3. *Осушение оказывает действие на состояние коллоидальной части почв.* Под влиянием осушения коллоиды почвы из состояния золей переходят в состояние гелей (свертываются), благодаря чему происходит оструктуривание почвы на большую глубину и порозность почвы увеличивается. Порозность почв под влиянием осушения увеличивается также благодаря образованию в почве трещин, в результате сжимания при высыхании тяжелых гли-

[1] Данные Митчерлиха (см. А. Н. Костяков. Основы мелиораций, 1938).

нистых почв (на величину до нескольких процентов объема сырой почвы); образующиеся при этом трещины сохраняются. Кроме того, почвенная вода, расширяясь при замерзании, раздвигает почвенные частицы в сторону канав и после оттаивания в почве остаются трещины. Это влияние осушения на увеличение порозности и, следовательно, проницаемости почв проявляется при дренаже тяжелых глинистых почв.

В таблице 61 приведены данные о порозности почвы при дренаже, заложенном на глубине 1 *м*, при расстоянии между дренами 21 *м*, и без дренажа (с. Ново-Ивановское Московской области).

Таблица 61

Горизонты почвы (в см)	Порозность (в % по весу)		Водопроницаемость (в см/мин)	
	дренированной почвы	недренированной почвы	дренированной почвы	недренированной почвы
20—36	20,5	18,4	0,68	0,25
36—54	17,5	14,0	0,49	0,05
88—104	15,4	10,4	0,06	0,01

Благодаря увеличению скважности и проницаемости дренированные почвы способны лучше поглощать атмосферные осадки и поэтому в засушливое время дренированные почвы могут иметь бо́льшую, а в сырое время меньшую влажность по сравнению с недренированными почвами. Это видно, например, из данных Приладожской опытно-мелиоративной станции (Ленинградская область) (табл. 62).

Таблица 62

Декады	Влажность почвы		
	без дренажа	при дренаже	
		глубиной 0,6 *м*	глубиной 1 *м*
Засушливые	6,8	13,7	16,6
Влажные	19,0	17,3	17,3

Установленное здесь изменение влажности объясняется: а) конденсационным действием дренажа: в жаркую погоду теплый воздух из атмосферы входит в дрены (вытесняя из них холодный воздух наружу), охлаждается в почве ниже точки росы и пары его конденсируются в почве; б) отсутствием в дренированной почве защемленного воздуха, препятствующего поглощению воды; в) уменьшением испарения почвы благодаря лучшему структурному состоянию ее.

У верхних горизонтов торфяных и суглинистых почв под влиянием осушения и освоения проницаемость увеличивается, вследствие чего пересыщения водой и раскисания верхних слоев почвы не происходит.

4. *Повышая аэрацию и температуру почвы, осушение* тем самым благоприятно влияет на условия и направление *микробиологических* процессов в почве. Анаэробные процессы разложения органического вещества сменяются аэробными. Наиболее резким отличительным признаком аэробных процессов является, как известно, полнота минерализации органического вещества, все элементы которого в конечном счете образуют окисленные соединения — нитраты, фосфаты, сульфаты, воду, угольную кислоту. Таким образом, вместо накопления в почве органического вещества и вредных для растений закисных соединений, что имеет место в анаэробных условиях, при аэробном разложении почва обогащается питательными для растений веществами в подвижной и удобоусвояемой форме (особенно нитратами).

Этот процесс происходит тем энергичнее, чем интенсивнее осушка. Это хорошо видно, например, из данных Новгородской болотной станции (для торфяных почв), где показано среднее за вегетацию количество азота, в *мг* на 1 *кг* абсолютно сухого торфа (табл. 63).

Таблица 63

Форма азота	Расстояние между дренами (в *м*)		
	20	40	60
Нитратный	41,6	36,1	20,2
Нитритный	1,2	0,4	0,7
Аммиачный	32,5	25,8	29,8
Всего	75,3	62,3	50,7

Процесс усиления нитрификации под влиянием осушения особенно энергично проявляется весной и осенью, летом же роль интенсивной осушки сглаживается. Значение процесса нитрификации, происходящего при осушении, можно иллюстрировать примером опытов Минской болотной станции; они показали, что эффект от фосфорных и калийных удобрений, даже на торфяных, богатых азотом почвах, зависит от степени осушения. Оказалось, что какие бы количества двух этих удобрений ни вносились (после известной нормы), не удавалось повысить урожай выше определенной величины, если степень осушки и соответствующие ей условия аэрации и количество усвояемого азота нитратов оставались прежними. Это вытекает из закона незаменимости факторов развития растений: недостаток одного из этих факторов (аэрации и азотного питания) снижал влияние остальных факторов (фосфора и калия) на повышение урожая. Чем глубже осушение (в определенных размерах), тем интенсивнее влияние его на аэрацию болотной почвы, температуру и процессы нитрификации. Это наглядно показали опыты Кировской лугоболотной станции, где наибольшая глубина осушения доводилась до 2 *м*.

Благоприятное влияние осушения на аэрацию и микробиологические процессы в почве проявляется энергично в том случае, если осушение сопровождается последующей правильной обработкой и сельскохозяйственной культурой осушенных почв.

Особенно велико влияние обработки осушенной почвы на процессы нитрификации в торфе. Например, на Новгородской болотной опытной станции количество нитратов (в *мг* на 1 *кг* абсолютно сухого торфа) после вспашки на осушенном болоте увеличивается в 25—27 раз по сравнению с бывшим до вспашки, достигая 560—730 *мг* на 1 *кг*.

5. *Осушение сильно насыщенных водой болотных почв обеспечивает устойчивость этих почв и доступность их для механизации сельскохозяйственных работ.*

Осушение облегчает обработку почвы, уменьшает затраты энергии на 20—25% и более; способствует развитию более глубокой корневой системы; уменьшает опасность заболевания растений (ржавчина, головня и др.) и повреждение их морозами.

Благодаря действию перечисленных выше факторов условия роста и развития растений на осушенных землях по сравнению с неосушенными значительно улучшаются. Многие культуры на заболоченных землях без мелиорации совершенно не удаются; при правильных же осушении и агротехнике, в соответствии с требованиями растений, большинство сельскохозяйственных культур дает очень высокие урожаи на осушенных землях, особенно на низинных болотах, богатых азотом.

Болотные опытные станции и передовые колхозы на осушенных болотах получают следующие урожаи: трав 160—240 *ц* с гектара, ячменя 35—40, картофеля 360—400, овощей 600—850, кормовых корнеплодов 700—800, волокна конопли 30, льна 8, кок-сагыза (кор-

ней) 75—83, пшеницы 35—40, ржи 25—30, кукурузы 1000 ц с гектара (зеленой массы на силос).

Эти урожаи не являются предельными и могут быть повышены при более высокой агротехнике.

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур на осушенных болотах требует комплексного применения мелиоративных и агротехнических мероприятий, при котором методы и интенсивность осушения и создаваемый ими водный, воздушный и тепловой режимы почвы соответствуют остальным факторам роста растений и особенно питательному режиму их и обратно. Если на данной площади обеспечены хорошие условия питания растений (удобрения и пр.), надлежащая обработка почвы, применяются правильные севообороты, но осушение проведено недостаточно, растения испытывают недостаток воздуха в почве и страдают от избытка воды, не будет достигнут тот высокий урожай, который можно бы получить при той же агротехнике и правильном осушении. Аналогичное положение возникнет и тогда, когда при нормальном осушении, обеспечивающем хорошие условия аэрации и водного режима почвы (нужное содержание влаги), растения не получают нужных им питательных веществ и применяется низкая агротехника, ограничивающая приток к растению других необходимых для его роста факторов. Поэтому природным и агротехническим условиям (обработка, удобрения, севооборот) должна отвечать и определенная интенсивность осушения, обеспечивающая необходимый водный, воздушный и тепловой режимы почвы и высокие урожаи и наоборот; каждая степень осушения, создающая необходимый водно-воздушный и питательный режимы для наилучшего развития растений, обеспечит получение высоких урожаев только при соответствующей агротехнике.

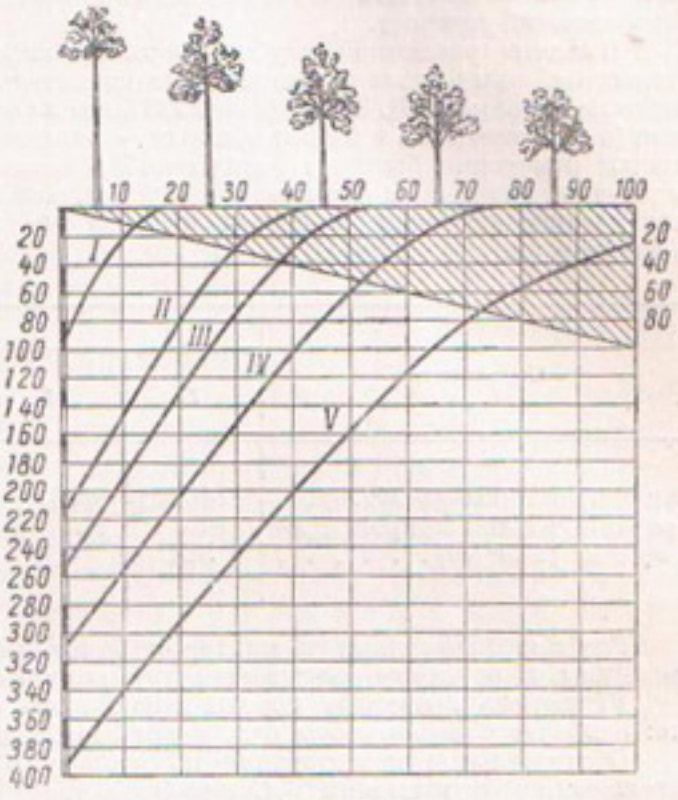


Рис. 238.

На уровне плодородия почвы и на урожае культур сказывается не только тот водно-воздушный режим, какой складывается непосредственно в течение данного вегетационного периода, но и тот режим, какой имел место на осушаемой площади в предшествующий осенне-зимний и весенний периоды, так как этот режим обусловливает ту или иную химико-биологическую подготовку почвы, которая сказывается в течение последующего вегетационного периода. Это положение отчетливо вытекает из работ Минской болотной опытной станции и других.

Под влиянием осушения, как показывают наблюдения, увеличивается *прирост лесных насаждений* по сравнению с приростом на неосушенных лесных площадях на 100—300%; при этом прирост падает по мере удаления от осушительных каналов, и на определенном расстоянии (50—300 *м*) влияние осушения на него затухает.

Чем больше глубина и влагоемкость торфа, меньше степень его разложения, меньше водопроницаемость подпочвы, чем больше дно канала не доходит до подстилающего торф песчаного слоя (если подпочва — песок), тем на меньшее расстояние от канала сказывается его влияние на прирост леса.

Влияние осушения на прирост зависит также от возраста насаждений, при каком было произведено осушение: осушение в более молодом возрасте насаждений дает более высокий процент прироста в силу лучшего воздействия внешних факторов на организм и менее глубокой корневой системы. Однако и старые насаждения оказываются отзывчивыми на осушение; абсолютный объемный прирост древесины больше у зрелых насаждений, поэтому осушение даже 60—80-летних насаждений может дать существенный эффект.

Очень важное значение в осушении болот под лесное хозяйство имеет глубина торфа (особенно сфагнового): при глубине до 2—2,5 *м* осушка повышает условия роста леса на 2—3 класса бонитета; осушение же глубоких болот, с глубиной торфа 3,5 *м* и более, дает меньший прирост.

Влияние различной глубины верхнего слоя торфа на производительность лесных насаждений при разных расстояниях от осушительного канала (по исследованиям в БССР) видно из графика Г. Д. Эркина (рис. 238), где на оси абсцисс показана глубина сфагнового слоя (в сантиметрах), а на оси ординат — расстояние от канала (в метрах); кривые показывают изменения бонитета насаждений в зависимости от глубины торфа и расстояния от канала. Различным бонитетам соответствовал запас и средний годовой прирост сосновых насаждений (при 80-летнем обороте и средней полноте 0,8), представленный в таблице 64.

Таблица 64

Показатели	Бонитеты					
	I	II	III	IV	V	Va
Запас древесины (в $м^3/га$) . .	460	367	284	219	164	114
Средний годовой прирост древесины (в $м^3/га$)	5,8	4,6	3,5	2,7	2,0	1,4

Глубина переходных и низинных болот не сильно влияет на снижение прироста древесины, и осушение оказывается эффективным и при большой глубине торфа.

Различные древесные породы неодинаково относятся к водному режиму на болотах: наиболее чувствительны ель, затем береза, потом сосна и другие породы.

Обстоятельные исследования по вопросу о влиянии осушения на рост лесных насаждений произведены Северо-Западной опытно-мелиоративной организацией в Ленинградской области и Институтом болотного хозяйства БССР. Эти исследования показали, что на сфагновых болотах (глубиной до 1,5 *м*) каналы глубиной 0,8 *м* действуют на расстояние не больше 150 *м*, на болотах же переходного типа (глубиной до 3 *м*) каналы глубиной 0,9 *м* действуют на расстояние 350 *м* [1].

Кроме увеличения прироста древесины, осушка повышает выход сортиментов, переводя дровяную древесину в деловую, увеличивая ценность единицы объема древесины на 100—150%.

Влияние осушения на увеличение прироста древесины сказывается через 1—5 лет после производства осушения, в зависимости от возраста насаждения и качества почвы (для молодых насаждений и более богатых почв действие начинается раньше).

6. ВИДЫ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

Избытки влаги в почве могут обусловливаться зональными или местными причинами.

Зональные причины заболачивания земель в дерново-подзолистой зоне вытекают из направления почвообразовательного процесса и климатических условий этой зоны (превышение осадков над испарением) и др.

Местные причины заболачивания зависят от гидрологических и гидрогеологических условий, а иногда и неправильного хозяйственного использования земель. Эти причины в дерново-подзолистой зоне усиливают действие

[1] Детальные рекомендации по осушению лесов можно найти в работах: А. Д. Дубах. Гидротехнические мелиорации лесных земель. Гослестехиздат, 1945; Технические указания по осушению лесных площадей. Изд. МСХ СССР, М., 1955; М. П. Елпатьевский. Лесная осушительная мелиорация. Гослесбумиздат, М.—Л., 1957.

зональных причин; в других же зонах местные причины являются главными факторами заболачивания.

При выборе способов осушения необходимо (путем соответствующих исследований и изысканий) установить основные причины заболачивания в данном случае, источники питания водой заболоченных земель и причины избытков воды на данной территории и направить осушительные мероприятия на устранение этих причин или прекращение их вредного действия.

Основными причинами периодических или длительных застоев избыточных поверхностных вод на данной площади могут быть следующие.

1. Очень медленный и недостаточный сток или даже отсутствие стока вод атмосферных осадков (дождевые и талые весенние воды) вследствие условий рельефа этой площади (малые уклоны, низины), задержания воды на поверхности растительным покровом, болотными кочками.

2. Затопление осушаемых земель поверхностными водами, поступающими со стороны: сверху, с вышележащих водосборов[1], или же снизу — высокими водами прилежащих естественных водоемов (в паводки, при подпоре на реках, в приливы).

Высокое стояние почвенно-грунтовых вод на данной площади может быть вызвано следующими основными причинами.

1. Внутреннее питание грунтовых вод на данной площади, происходящее вследствие превышения осадков над испарением и слабого стока воды, поглощения ее накопляющимся в почве органическим веществом, обладающим большой влагоемкостью; образование иллювиальных ортштейновых прослоек на небольшой глубине ниже подзолистого горизонта; конденсация влаги в почве; недостаточность оттока грунтовых вод.

2. Внешнее питание (приток) грунтовых вод на данной площади, происходящее вследствие поступления в пределы данного массива или выклинивания потока грунтовых либо фильтрационных вод с прилежащих площадей или водоемов, при слабом оттоке этих вод (длительно или в отдельные критические периоды).

И при внутреннем и при внешнем питании грунтовых вод слабый отток и высокое стояние их возможны также в тех случаях, когда поток грунтовых вод в пределах данного массива оказывается в подпоре со стороны водоприемника вследствие высокого уровня воды в нем. Нередко те и другие причины заболачивания действуют одновременно и усиливают друг друга.

Сообразно действию тех или иных причин заболачивания различаются методы и виды мелиоративных мероприятий, направленных на их устранение.

При питании заболоченных земель поверхностными водами методы осушительных мелиораций состоят: 1) в удалении с данной площади излишних поверхностных вод путем увеличения и регулирования стока их, чтобы они не застаивались на этой площади дольше известного срока, допустимого требованиями растений и предупреждением эрозии; 2) в недопущении на данную площадь притока вод с вышележащих водосборов или затопления ее водами соседних водоемов (если это не требуется для задержания на данной площади питательных веществ, содержащихся в этих водах).

В условиях питания заболоченных земель грунтовыми водами методы осушительных мелиораций включают в себя: 1) усиление и регулирование оттока грунтовых вод и поддержание нужного для сельскохозяйственных растений уровня их и почвенной влажности; 2) недопущение или регулирование притока на данную площадь грунтовых вод извне; снижение напора почвенно-грунтовых вод при напорно-грунтовом водном питании заболоченных земель.

Поступление и сток поверхностных и грунтовых вод на данной мелиорируемой площади должны регулироваться в соответствии с потребностями хозяйственного использования ее, с требованиями необходимых севооборотов.

---

[1] Особенно бедных содержанием зольных питательных веществ. *Прим. автора.*

Наиболее обширное распространение имеют осушительные мелиорации, состоящие в усилении и регулировании стока поверхностных или грунтовых вод на данной осушаемой территории. Сток поверхностных и грунтовых вод, при данных природных условиях, в гидравлическом отношении представляет собой в большинстве случаев медленно изменяющееся неравномерное движение. Как известно, неравномерное движение поверхностного потока подчиняется такой закономерности:

$$I = \frac{v^2}{c^2 R} + \alpha \frac{d}{dS}\left(\frac{v^2}{2g}\right),$$

где I — гидравлический уклон в каком-либо сечении потока;
v, c и R — скорость, скоростной коэффициент и гидравлический радиус того же сечения;
α — коэффициент; $\alpha \cong 1{,}1$;
S — расстояние рассматриваемого сечения от начального.

Предыдущее уравнение можно видоизменить:

$$i - \frac{dh}{dS} = \frac{Q^2}{c^2 R F^2} - \frac{\alpha Q^2}{g F^3}\left(\frac{\partial F}{\partial S} + B\frac{dh}{dS}\right),$$

где i — уклон дна потока;
$Q = Fv$ — расход потока;
B — ширина русла потока поверху.

При равномерном движении $\frac{dh}{dS} = 0$ и $\frac{\partial F}{\partial S} = 0$.

Из приведенных уравнений видим, что образование условий подпора, уменьшающих величину гидравлического уклона I, изменение формы поперечного сечения потока по длине его уменьшают среднюю скорость и пропускную способность русла.

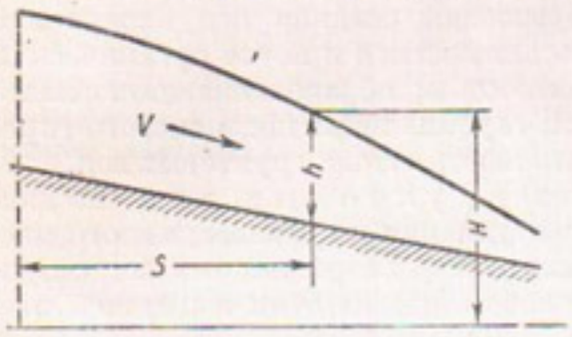


Рис. 239.

Поэтому для ускорения стока избыточных поверхностных вод необходимо стремиться: 1) к исключению всех условий, способствующих образованию подпоров; 2) к увеличению скоростей и сокращению времени стока путем укорочения длин пробега воды, уменьшения шероховатости поверхности; 3) к созданию условий равномерного движения поверхностных вод в русле, а иногда и ускоренного движения (спад) путем увеличения гидравлического уклона потока, так как при этом получается наибольшая пропускная способность русла.

Движение грунтовых вод определяется следующими зависимостями. Скорость движения грунтового потока в каком-либо сечении равна $v = -k\frac{dH}{dS}$, где H — напор грунтовых вод в рассматриваемом сечении над плоскостью сравнения (рис. 239), равный сумме отметки и пьезометрической высоты в каждой данной точке этого сечения, и $I = -\frac{dH}{dS}$ — пьезометрический уклон в данном сечении.

Если уклон слоя, подстилающего грунтовый поток, равен i, то расход воды на единицу ширины грунтового потока будет:

$$q = kh\left(i - \frac{dh}{dS}\right),$$

где h — глубина грунтового потока в рассматриваемом сечении;
S — расстояние этого сечения от начального пункта.

При равномерном движении грунтового потока $\frac{dh}{dS} = 0$, и следовательно, $q = khi = kh_0 i$, где $h_0 = h$ — нормальная глубина грунтового потока, дающая при равномерном движении тот же расход q при уклоне i.

Если подстилающий слой горизонтален, т. е. $i = 0$, то

$$q = -kh\frac{dh}{dS}.$$

Из приведенных зависимостей видно, что при определенных водопроницаемости грунта k и уклоне подстилающего слоя i расход грунтового потока на единицу ширины обусловливается, при толщине потока h, пьезометрическим уклоном его $i - \frac{dh}{dS}$. Чем больше пьезометрический уклон и больше водопроницаемость грунта k, тем больше скорость и расход грунтового потока.

Поэтому для ускорения стока грунтовых вод необходимо стремиться: 1) к увеличению пьезометрического уклона грунтового потока как уничтожением подпора грунто-

вых вод, так и созданием кривых спада этих вод (при помощи поддержания достаточно низкого уровня воды в водоприемниках, каналах, дренах и др.); 2) к повышению водопроницаемости почвы (коэффициент k), что может достигаться соответствующими агротехническими мероприятиями (и, в частности, обеспечением комковатой структуры).

Из изложенного видно, что в основе техники осушения лежат: 1) ускорение (в нужных размерах) и регулирование стока поверхностных и грунтовых вод с данной мелиорируемой площади путем обеспечения необходимого гидравлического уклона и устранения подпора их; 2) регулирование (уменьшение или недопущение) поступления на данную мелиорируемую территорию избыточных поверхностных или грунтовых вод извне — с вышележащих площадей или со стороны нижерасположенных водоемов (в периоды паводков), путем перехватывания притока поверхностных или грунтовых вод (устройством нагорных или ловчих каналов или береговых дрен); 3) изменение почвенных условий мелиорируемой площади; повышение водо- и воздухопроницаемости почвы путем обеспечения комковатой структуры и применения вентиляционного дренажа; усиление зольных элементов питания растений путем удобрительно-окислительного орошения заболоченных почв.

Главнейшие существующие виды осушительных мелиораций, направленные на регулирование стока поверхностных или грунтовых вод, приведены в таблице 65.

Таблица 65

Регулирование стока и поступления поверхностных вод	Регулирование оттока и притока грунтовых вод
Осушение и регулирование стока открытыми каналами[1]	Отвод и регулирование уровня грунтовых вод закрытым или открытым дренажем
Регулирование (уменьшение или недопущение) притока на данную площадь поверхностных вод: сверху — нагорными каналами или снизу — обвалованием дамбами	Регулирование (уменьшение или недопущение) притока на данную площадь грунтовых вод: сверху — ловчими каналами или дренами; фильтрационных вод (подтопление) — береговыми дренами
Окислительно-удобрительное орошение заболоченных земель	Вентиляционный дренаж для аэрации и регулирования влажности почвы

При совместном действии нескольких источников заболачивания соответствующие виды осушительных мелиораций объединяются между собой; так, закрытый дренаж часто соединяется с открытой осушительной сетью (для удаления избыточных поверхностных вод); открытое осушение или дренаж часто соединяется с регулированием водоприемника или обвалованием, и обратно, регулировочные работы — с осушением прилежащей территории и т. д.

Перечисленными видами не исчерпываются мелиорации заболоченных земель: в отдельные (засушливые) периоды на этих землях требуется добавочное увлажнение почвы для некоторых более требовательных к воде культур, т. е. сочетание осушения с дополнительным увлажнением почвы.

Оба эти вида мелиораций должны поддерживать необходимые аэрацию, влажность и содержание усвояемых зольных элементов питания в осушаемой почве.

Таким образом, методы или виды мелиораций заболоченных земель определяются: а) условиями образования болота и источниками питания его водой и б) характером сельскохозяйственного использования заболоченных земель.

[1] В настоящее время широко применяются различные конструкции подземных осушительных устройств, предназначенных для ускорения отвода поверхностных вод.

Осушение должно сочетаться с введением правильных (главным образом травопольных) севооборотов на осушаемых землях и соответствующей агротехникой, обеспечивающими прочную комковатую структуру почвы. Обработку заболоченных почв нужно вести так, чтобы поверхностные воды стекали с допустимой скоростью, не давая как смыва питательных веществ, так и застоев воды; для этого борозды обработки должны иметь нужный уклон или же делаются выборочно дополнительные временные борозды (для отвода воды из западин микрорельефа), не препятствующие механизации сельскохозяйственных работ.

По положению поглощающих и отводящих воду элементов осушительные системы разделяются на *горизонтальные*, когда осушительные элементы имеют горизонтальное (слабо наклонное) положение (каналы или дрены), и *вертикальные*, когда эти элементы имеют вертикальное положение (колодцы). Преобладающими являются горизонтальные системы; вертикальные системы применяются: 1) в виде колодцев с механической откачкой воды при мощном водоносном слое и напорных водах и 2) иногда в виде поглощающих колодцев, если ниже залегают достаточно мощные водоотводящие породы.

В зависимости от положения осушаемой площади по отношению к горизонту воды в водоприемнике, осушение может быть *самотечным*, когда вода из главного осушительного (магистрального) канала поступает в водоприемник самотеком, и с *механическим подъемом воды*, когда эту воду приходится (постоянно или периодически) откачивать.

Наиболее распространен самотечный способ; однако в ряде случаев он оказывается невозможным или более сложным, и тогда прибегают к механической откачке воды.

7. СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ; СВЯЗЬ ИХ С ВОДОПРИЕМНИКОМ И С ОРГАНИЗАЦИЕЙ ХОЗЯЙСТВ

Объект осушительных мелиораций включает следующие основные элементы:

1) хозяйственные осушаемые площади, водно-воздушный и питательный режимы почв которых регулируются путем комплекса мелиоративных и агротехнических мероприятий;

2) регулирующие устройства (осушительные каналы, борозды, дрены и др.), предназначенные для регулирования водно-воздушного режима на данной площади путем удаления избыточной поверхностной или почвенно-грунтовой воды, сообразно потребностям хозяйственного использования этой площади;

3) проводящие каналы (магистральный и другие), предназначенные для приема воды из регулирующих каналов или дрен и отвода ее кратчайшим путем в соответствующий водоприемник;

4) водоприемник, который принимает все удаляемые с осушаемой площади воды из магистральных осушительных каналов и отводит их в более крупную гидрографическую сеть[1].

Чтобы водоприемник мог выполнять свое назначение, во многих случаях бывает необходимо соответствующее регулирование его, составляющее важную часть осушительных мелиораций, так как без хорошего водоприемника осушение не может достигать своих целей.

Регулирующие и проводящие каналы представляют собой осушительную систему в собственном смысле, которая регулирующей своей частью непосредственно связана с осушаемой площадью, проводящими же каналами сообщается с водоприемником.

---

[1] Здесь не выделяется в качестве элементов осушительной сети ограждающая сеть — нагорные, ловчие каналы и другие устройства, ограждающие осушаемую площадь от притока избыточных поверхностных и грунтовых вод; нам представляется целесообразным такое выделение.

Таким образом, схема осушительной системы может быть представлена в таком виде:

Осушаемая, избыточно увлажненная площадь

↓

Регулирующая часть системы (осушительная регулирующая сеть)

↓

Проводящая часть системы (водоотводные и магистральный каналы)

↓

Водоприемник

Стрелки показывают направление движения воды; в осушительной системе схема движения воды обратна схеме движения воды в оросительной системе.

Регулирующая осушительная сеть, принимающая избыточные воды (почвенные и поверхностные) на осушаемой площади, переводит их в состояние водяных токов, доставляет их в проводящие каналы и таким путем поддерживает нужный водный режим на осушаемой площади. Проводящие каналы, принимающие поступающие в них воды из регулирующей сети, должны иметь достаточную глубину (и соответствующие размеры и уклоны), чтобы своевременно отводить поступающую в них воду в водоприемник. Весь этот аппарат действует в одном направлении — только отводит воду; между тем могут быть периоды (например, засушливые), когда отведение воды с осушаемой площади не только не нужно, но может даже наносить ущерб растениям и требуется привести воду с целью повышения недостающей влажности почвы для растений или для обогащения почвы зольными элементами (содержащимися в илистых наносах речной воды).

Для регулирования влажности почвы осушительные системы должны иметь дополнительные устройства, позволяющие регулировать, уменьшать или задерживать сток воды с осушаемой площади, а в ряде случаев и доставлять недостающее количество воды на осушаемую площадь извне. Поэтому представленная схема осушительной системы (в собственном смысле) усложняется наличием специальных сооружений по доставлению и распределению дополнительной воды, необходимой для сельскохозяйственных культур на осушаемых землях в некоторые периоды. Приходится отметить, однако, что при экстенсивном использовании осушаемых земель часто эти специальные сооружения отсутствуют.

И проводящие и регулирующие каналы осушительной системы имеют свою арматуру в виде соответствующих гидротехнических сооружений, позволяющих управлять работой этих каналов.

Проводящая часть осушительной системы делается обычно в виде открытых, более или менее глубоких, но редких каналов, регулирующая же (более мелкая, но частая) осушительная сеть делается или закрытой (дрены и закрытые собиратели), или же временной — в виде ежегодно нарезаемых и заравниваемых водоотводящих канав-борозд, чтобы не стеснять механизацию сельскохозяйственных работ или, наконец, постоянной открытой, где это возможно по характеру их использования (например, луга).

Размеры, расположение и конструкция элементов, составляющих осушительную систему, должны отвечать поставленным хозяйственным задачам и соответствовать местным почвенным и гидрологическим условиям.

Следует отметить, что при определенных хозяйственных и природных условиях могут выпадать некоторые ее элементы, отвечающие полной схеме.

Так, на заболоченных землях, подстилаемых хорошо водопроводящими грунтами, устройство более или менее редких, но глубоких проводящих каналов, врезанных в эти грунты, может в ряде случаев обеспечивать необходимый водно-воздушный режим на осушаемой площади, без устройства до-

полнительной регулирующей сети[1]. Аналогичное положение нередко имеет место при экстенсивных видах использования осушаемых площадей.

В некоторых случаях осушительные мелиорации ограничиваются только работами на самом водоприемнике; они сводятся к ускорению стока и понижению горизонта воды в водоприемнике и тем самым уменьшают затопление и понижают грунтовые воды на прилежащей к водоприемнику полосе и при узких заболоченных поймах могут давать нужный эффект.

Если источником заболачивания площади являются притекающие на нее в избытке поверхностные или грунтовые воды с вышележащих водосборов, то часто оказывается достаточной защита этой площади нагорными или ловчими каналами или головными дренами от притекающих вод.

Так как осушение тесно связано с водоприемником и с работами по его регулированию и регулированию стока вод с вышележащих водосборов, то оно осуществляется наиболее целесообразно в том случае, если охватывает не отдельные мелкие участки, а более или менее крупные массивы заболоченных земель в их гидрографических границах, позволяющие проводить работы индустриальными методами; социалистические формы хозяйства, его плановость, отсутствие частнохозяйственных границ облегчают и рационализируют проведение осушительных работ.

---

[1] См. примечание к стр. 383.

Глава одиннадцатая

СОЗДАНИЕ НУЖНОГО ВОДНОГО РЕЖИМА ПРИ ОСУШЕНИИ; ОСУШИТЕЛЬНАЯ РЕГУЛИРУЮЩАЯ СЕТЬ

1. ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И РАСЧЕТА ОСУШИТЕЛЬНОЙ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СЕТИ

Регулирующая сеть при осушении имеет целью создание и регулирование водного и воздушного режимов непосредственно осушаемой площади в нужных для хозяйственного использования ее размерах. Действие ее должно быть направлено на регулирование избыточных вод — поверхностных или грунтовых.

В первом случае эта сеть должна регулировать воды поверхностного стока, не допуская их задержки на осушаемой площади дольше предельного (в отношении затопления и заболачивания почвы) срока.

Во втором случае она должна принимать избыточную влагу из почвы, превращать ее в состояние водяных токов в регулирующих каналах и доставлять в проводящие каналы, поддерживая в почве нужный режим влажности.

Очень часто регулирующая осушительная сеть выполняет обе эти задачи, регулируя отвод поверхностных и грунтовых вод.

Регулирующая сеть, отводя излишнюю воду из почвы, способствует улучшению условий аэрации, пищевого и теплового режимов, усилению газообмена и изменению физических свойств почвы.

Регулирующая сеть действует на базе более крупной проводящей сети каналов, куда она и отводит избыточные слои воды. Чем лучше работают эти каналы, тем успешнее работает регулирующая сеть (а в некоторых случаях она может и совсем отсутствовать).

Должна ли осушительная сеть быть рассчитана на регулирование режима грунтовых или только поверхностных вод, зависит от условий заболачивания и от характера сельскохозяйственного использования площади и потребности культур.

Регулирующая осушительная сеть состоит из расположенных на определенных глубине и расстояниях закрытых дрен, кротовин или временных открытых борозд, которые перехватывают и поглощают избыточную поверхностную или почвенно-грунтовую воду на осушаемой площади.

Регулирующая сеть делается закрытой, в виде дрен или закрытых собирателей, или же открытой, в виде временных борозд, ежегодно нарезаемых и заравниваемых, чтобы не стеснять механизации сельскохозяйственных работ и уменьшить потери используемой осушаемой площади.

При осушении лесов, лугов вне севооборота, а также земель, используемых под культуры, не требующие перекрестной обработки, в настоящее время успешно применяется открытая постоянная регулирующая сеть.

Размеры регулирующей сети должны быть таковы, чтобы она могла своевременно удалять максимальные избытки воды, какие могут быть на данном осушаемом участке.

Густота расположения регулирующей сети и ее глубина определяются: 1) скоростью, с какой данная площадь и почва способны отдавать свою избы-

точную поверхностную или грунтовую воду, 2) водным режимом, какой при данных условиях нужно создавать и поддерживать на осушаемой площади, и 3) качеством действия проводящей сети каналов при данных условиях.

Расположение регулирующей сети фиксирует определенную степень осушения при данных условиях. Между тем, в зависимости от колебания климатических условий, запасы наличной влаги в почве и, следовательно, степень избыточности ее по отдельным периодам изменяются: в сырые годы и периоды избыточная влажность велика, в засушливые же — ее нет. Кроме того, потребная влажность и нормы осушения для одной и той же культуры в течение вегетационного периода также меняются. Поэтому необходимо согласовать устройство регулирующей сети с переменными условиями ее работы. Это достигается при временной открытой регулирующей сети усилением или ослаб-

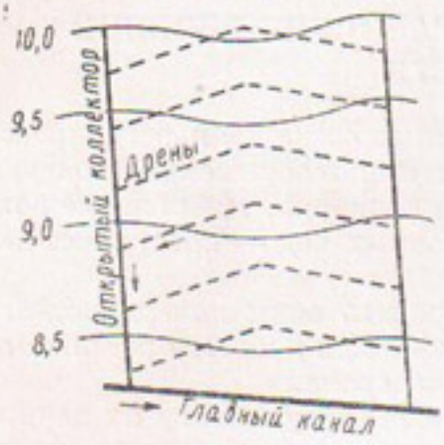


Рис. 240.

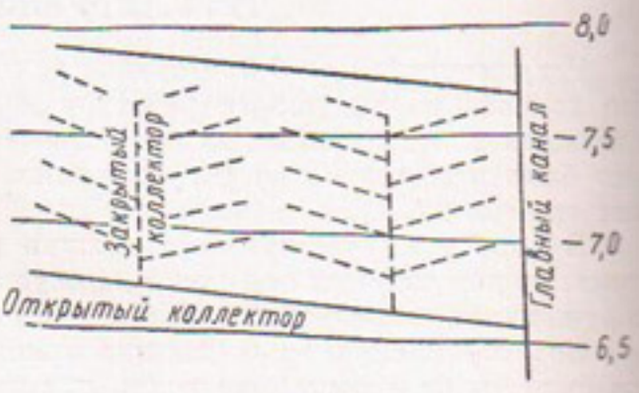


Рис. 241.

лением ее, т. е. нарезкой дополнительных или заравниванием излишних канав-борозд, а при закрытой сети — устройством на ней специальных регулирующих сооружений, посредством которых в различные периоды можно координировать наличный водный режим с потребным водным режимом или даже подавать недостающие количества воды в отдельные периоды.

Действие регулирующей сети как на почвенно-грунтовые, так и на поверхностные воды тесно связано со свойствами почвы, гидрологическими условиями, с расположением и размерами регулирующих элементов, с размещением их по отношению к рельефу поверхности и потоку грунтовых вод.

Расположение и размеры регулирующей сети — расстояния и глубина ее — должны: 1) создавать и поддерживать на осушаемой площади нужный водный, воздушный и пищевой режимы почвы и 2) не препятствовать механизации сельскохозяйственных работ на осушенной площади. Они должны соответствовать требованиям сельскохозяйственного использования осушаемой площади, почвенным и гидрологическим условиям ее. Условию лучшего перехвата избыточных вод удовлетворяет расположение регулирующих элементов в направлении горизонталей осушаемой местности для улавливания поверхностных вод или горизонталей поверхностно грунтовых вод для перехватывания последних.

Расположение регулирующих элементов внутри крупных осушаемых участков, ограниченных постоянными проводящими каналами, должно также удовлетворять требованию — не стеснять механизации сельскохозяйственных работ.

Сообразно этому расположение регулирующей сети может быть следующим. При регулировании п о ч в е н н о-г р у н т о в ы х вод регулирующая сеть в механизированных хозяйствах в большинстве случаев должна быть закрытой (в виде дренажа). Регулирующую дренажную сеть, в зависимости от характера рельефа, уклонов осушаемой площади и расположения проводя-

щей сети, можно расположить в основном по схемам, представленным на рисунках 240, 241. На этих рисунках представлена так называемая «поперечная», а на рисунке 242 «продольная» схемы размещения дренажа. Расстояния между открытыми проводящими каналами или коллекторами по условиям механизации должны быть возможно бóльшими и не меньше 400—500 *м*, что необходимо для возможности перекрестной обработки при квадратно-гнездовых посевах пропашных культур, а длина проводящих каналов около 1000—1500 *м*. Таким образом, размеры осушаемых участков между постоянными открытыми каналами желательно иметь не менее 25—40 *га*.

Для регулирования стока п о в е р х н о с т н ы х в о д регулирующие каналы делаются: а) в виде временных неглубоких канав-борозд, ежегодно нарезаемых с осени и заравниваемых на время механизированных сельскохозяйственных работ на осушаемой площади, или же б) в виде так называемых закрытых собирателей (по А. Д. Брудастову), т. е. траншей с пористым заполнением, принимающих поверхностный сток. В последние годы показано, что на тяжелых глинистых грунтах эту функцию с успехом выполняет обычный траншейный дренаж благодаря проницаемости засыпки.

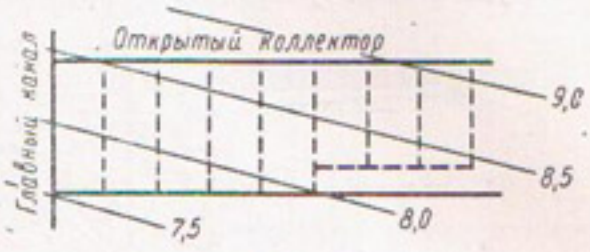


Рис. 242.

Регулирующие каналы требуют довольно близких расстояний и потому не могут теперь делаться в виде открытых постоянных каналов, как это было прежде в мелком немеханизированном хозяйстве.

Для наиболее полного перехвата поверхностных вод регулирующие элементы должны с нужным уклоном следовать направлению горизонталей местности.

В дальнейшем будут рассмотрены вопросы регулирования оттока почвенно-грунтовых и стока поверхностных вод, расположения и размеров регулирующей сети при том и другом виде водного питания.

2. РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД

ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТТОКА ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД

Почвенно-грунтовые воды, на которые должна воздействовать регулирующая осушительная сеть, представляют собой ближайший к поверхности слой грунтовых вод, в котором вода стоит или движется с определенной скоростью, в зависимости от водопроницаемости почвы и пьезометрического уклона.

Степень сплошности и равномерности потока грунтовых вод различна: от сплошных и более или менее равномерных потоков до разделения всего водоносного потока на ряд отдельных водоносных жил, которые несут главную массу грунтовых вод.

Исследования Н. Е. Жуковского и других, подтвержденные непосредственными опытами, установили, что грунтовая вода поступает по всему смоченному периметру канала, т. е. также через дно, по линиям токов, нормальным к поверхностям равного напора.

Поверхности равного напора, на которых располагаются точки, где вода находится под одинаковым пьезометрическим напором, схематично показаны на рисунке 243; напор убывает по мере приближения к смоченному периметру, так что наиболее удаленные от канала поверхности имеют наибольший напор; стрелками показаны линии тока.

Движение грунтовых вод происходит по нормалям к поверхностям равного напора в сторону убывающего напора, т. е. вода в канал притекает со всех сторон, ибо линии токов воды нормальны к поверхностям равного на-

пора. На рисунке 243 заштрихована зона, из которой грунтовые воды поступают через дно канала; для рассматриваемого случая она составляет $^3/_8$ всего расхода.

Основная причина, в силу которой грунтовые воды поступают по всему смоченному периметру (канала или дрены),— это падение напора грунтовых вод, создаваемое каналами или дренами и распространяющееся в нижележащих водоносных слоях по эквипотенциалям.

Помимо этой основной причины, имеется и еще один фактор, усиливающий действие регулирующих каналов или дрен.

Водоносный грунт содержит в части своих пор пузырьки воздуха, сжатого силами поверхностного натяжения водяных пленок. Наличие в грунтовых водах пузырьков воздуха обусловливает ту связь между грунтовыми водами и атмосферным давлением, кото-

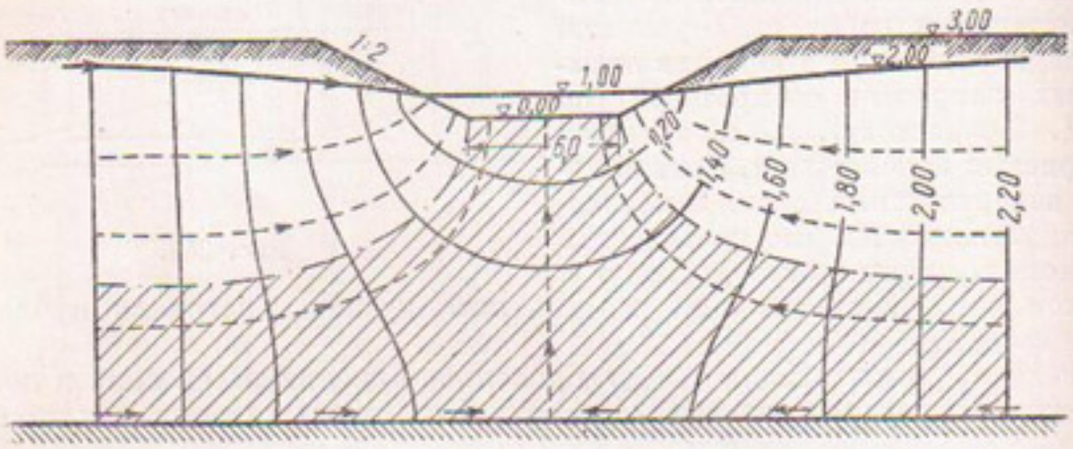


Рис. 243.

рая установлена многими исследователями. При падении атмосферного давления упругие воздушные пузырьки расширяются и вытесняют грунтовые воды в дрены, родники, отчего сток их увеличивается и уровень в колодцах повышается. При повышении давления наблюдается обратная картина.

Вместе с изменениями барометрического давления колеблется уровень грунтовых вод. Регулирующие канавы или дрены, содержащие воздух, при атмосферном давлении создают разность давлений воздуха, заключенного в водоносном слое, и атмосферного — в дренах, что увеличивает поступление грунтовых вод в каналы или дрены в случае падения атмосферного давления.

Количественная сторона поступления грунтовой воды в канавы или дрены и, следовательно, режим грунтовых вод на осушаемой площади, при данных климатических условиях, сильно зависит от свойств водоносного грунта, условий залегания и питания грунтовых вод.

Условия залегания грунтовых вод будем характеризовать мощностью грунтового потока и глубиной залегания водоупора относительно дна канала или дрены: а) весьма близкое положение водоупора или заложение дрены или канала на водоупоре; б) весьма глубокое положение его; в) промежуточное положение. При каждом из этих положений рассмотрим два основных вида питания грунтовых вод — внутреннее (главным образом за счет поглощения атмосферных осадков) и внешнее (главным образом за счет перехватывания грунтового потока). Количество поступающей воды на единицу длины канала или дрены в общем виде может быть выражено уравнением:

$$q = -k\omega \frac{dh}{dS},$$

где k — коэффициент водопроницаемости данного грунта;

ω — площадь поверхности равного напора, приходящаяся на единицу длины канала или дрены;

$\frac{dh}{dS}$ — градиент напора, соответствующий данной поверхности равного напора, площадь которой равна ω.

1. Близкое залегание водоупорного слоя. Если водоупорный слой залегает очень близко ко дну канала, поверхности равных напоров имеют плоскую форму и величина их может быть принята равной произведению ординат y на единицу длины канала.

Если дно канала лежит на горизонтальном водоупорном слое, то *при внутреннем питании грунтовых вод* можно написать следующее уравнение притока воды в канал с одной стороны на единицу его длины (рис. 244):

$$p(l-x) = yk\frac{dy}{dx},$$

где l — половина расстояния между каналами;

k — коэффициент фильтрации;

p — средний слой просачивающейся с поверхности почвы воды в единицу времени.

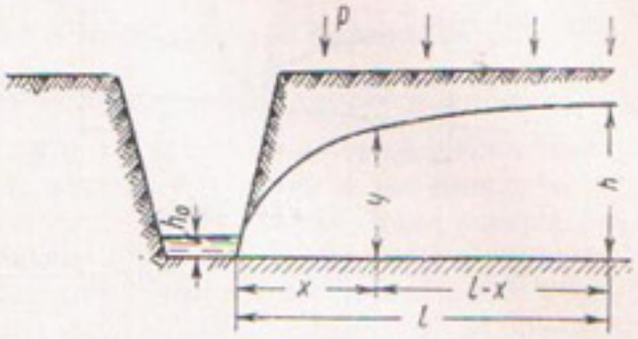


Рис. 244.

Здесь принято, что количество воды, проходящее через сечение x, равно количеству воды, просачивающейся с поверхности почвы: $p(l-x)$.

Интегрирование этого уравнения при условии $x=0$, $y=h_0$ дает:

$$\frac{k(y^2-h_0^2)}{2} = px\left(l-\frac{x}{2}\right),$$

где h_0 — слой воды в канале [1].

Так как при $x=l$ $y=h$, то можно написать $k(h^2-h_0^2)=pl^2$, откуда получим следующее значение притока грунтовых вод в канал на единицу его длины с двух сторон:

$$2pl = \frac{2k(h^2-h_0^2)}{l}.$$

Депрессионная поверхность грунтовых вод определится уравнением:

$$h^2-y^2 = \frac{p}{k}(l-x)^2.$$

При внешнем питании грунтовых вод, притоке воды к каналу с двух сторон и наклонном водоупоре (рис. 245) форма депрессионной поверхности может быть найдена по способу Н. Н. Павловского; справа от канала (выше канала по течению потока) она определится уравнением:

$$ix = H_0 - y + H\ln\frac{H-H_0}{H-y},$$

а слева от канала (ниже его) уравнением:

$$ix = y - H_0 + H\ln\frac{H+H_0}{H+y},$$

---

[1] Депрессионная поверхность грунтовых вод пересекается с откосом канала несколько выше уровня воды h_0. При определении расхода, как показали И. А. Чарный и С. Н. Нумеров (см. С. Н. Аравин и С. Н. Нумеров «Теория движения жидкостей в газов в недеформируемой пористой среде. Гостехтеориздат, М., 1953), высоту высачивания учитывать не следует; превышение высоты просачивания грунтовых вод над дном канала составляет от $0{,}20\frac{q}{k}$ до $0{,}37\frac{q}{k}$, где $q=2lp$ — приток к 1 пог. *м* канала (дрены) с двух сторон.

где i — уклон водоупора и H — толщина потока грунтовых вод при равномерном их движении[1].

В случае горизонтального водоупора удельный расход воды, поступающий в канал на единицу длины, с одной стороны будет равен:

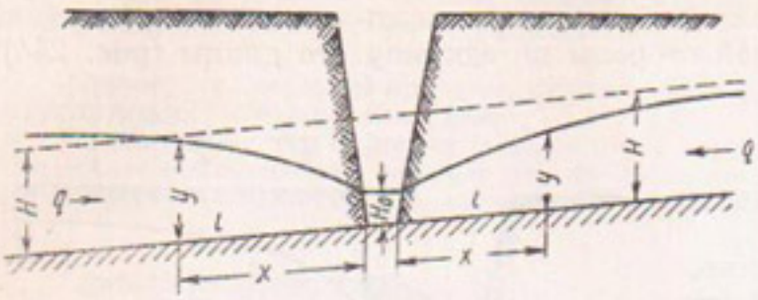


Рис. 245.

$$q = yk\frac{dy}{dx},$$

где k — коэффициент водопроницаемости (данного грунта), y — живое сечение грунтового потока на единицу длины канала или дрены.

Интегрирование этого уравнения дает:

$$qx = \frac{k(y^2 - h_0^2)}{2}.$$

Обозначив при $y = h$ $x = l$, можно написать следующее уравнение притока (с одной стороны):

$$q = k\frac{h^2 - h_0^2}{2l}.$$

Это уравнение показывает, что при одной и той же величине притока (q и pl) связь между h и l будет различной при внешнем и внутреннем питании грунтовых вод, т. е. грунтовые воды при внешнем питании будут стоять выше, чем при внутреннем, при одинаковых величинах притока.

2. Глубокое залегание водоупорного слоя. Если водоупорный слой залегает на большой глубине, то расход воды, поступающей в канал или дрену с одной стороны, можно представить слагающимся из двух частей: притока грунтовых вод ниже уровня заложения дна q_0 и притока грунтовых вод выше этого уровня q_1, т. е. $q = q_0 + q_1$. Рассмотрим приток в дрену при некотором установившемся положении поверхности грунтовых вод (рис. 246).

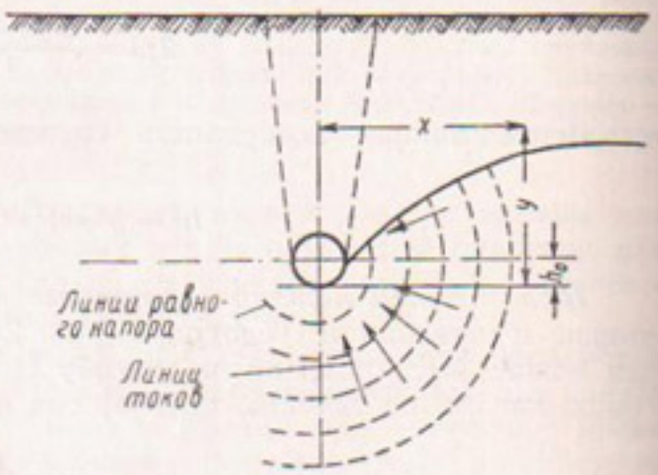


Рис. 246.

Приток грунтовых вод q_0, поступающий в канал или дрену из области, лежащей ниже уровня дна, можно определить, принимая (приближенно) линии равного напора близкими к окружностям, т. е. площадь сечения потока на расстоянии x от оси дрены равна $\alpha_0 x$, где α_0 — мера длины дуги окружности, проходящей через сечение x.

Если водоупорный слой залегает на очень большой глубине, то значение α_0 равно $\frac{\pi}{2}$, и, следовательно, приток грунтовых вод из области,

---

[1] Выше канала рассматривается кривая спада при прямом уклоне поверхности водоупора; ниже канала — кривая подпора при обратном уклоне; принимается, что имеет место неравенство $H > H_0$, причем $H = \frac{q}{ki}$, где q — приток грунтовых вод в $м^3/сут$ на 1 пог. $м$ длины канала с одной из сторон (он принимается одинаковым с обеих сторон), k — коэффициент фильтрации, в $м/сут$.

лежащей ниже уровня дрен, с одной стороны будет равен:

$$q_0 = k\frac{\pi}{2}x\frac{dy}{dx}.$$

Приток грунтовых вод в канал или дрену из области, лежащей выше уровня дна, можно определить следующим образом:

$$q_1 = k\beta_0 x\frac{dy}{dx},$$

где $\beta_0 = \frac{\pi}{2}\cdot\frac{\beta'}{90}$, причем величина угла β' приближенно определяется из условия $\sin\beta' = \frac{y}{x}$; значение пьезометрического уклона депрессионной поверхности грунтовых вод, помимо величины притока и гидрогеологических условий, зависит также от свойств почвы, возрастая с увеличением глинистых частиц и отсутствием структуры. Наблюдения над построенным систематическим неглубоким дренажем показали такие ориентировочные средние значения $\sin\beta'$ для разных почв: крупнопесчаные 0,003 — 0,006; песчаные 0,006 — 0,020; супесчаные 0,02 — 0,05; суглинки 0,05 — 0,10; глинистые 0,10 — 0,15; тяжелые глины 0,15 – 0,20; торфяные 0,02 — 0,12, в зависимости от вида торфа и степени разложения его [1]. Таким образом,

$$q_1 = \frac{\pi}{2}x\frac{\beta'}{90}k\frac{dy}{dx}.$$

На основании вышеизложенного общий приток грунтовых вод в канал или дрену с одной стороны выразится следующим уравнением:

$$q = q_0 + q_1 = \frac{\pi}{2}k\left(1+\frac{\beta'}{90}\right)x\frac{dy}{dx}.$$

При *внутреннем питании грунтовых вод* за счет просачивающихся атмосферных вод можно, согласно предыдущему, написать следующее уравнение притока в дрену с одной стороны:

$$\frac{\pi}{2}k\left(1+\frac{\beta'}{90}\right)x\frac{dy}{dx} = p(l-x),$$

где l — половина расстояния между каналами (дренами).

Интегрирование этого уравнения в пределах от $x = \frac{d}{2}$ (где d — ширина канала или дрены) до x и от $y = h_0$ до y дает следующее выражение [2]:

$$\frac{\pi}{2}k\left(1+\frac{\beta'}{90}\right)(y-h_0) = pl\ln\frac{2x}{d} - p\left(x-\frac{d}{2}\right).$$

Принимая $y = h$ при $x = l$ и учитывая, что $x \gg d$, из предыдущего уравнения получим следующее значение притока в дрену с одной стороны при глубоком залегании водоупора:

$$pl = \frac{\frac{\pi}{2}k\left(1+\frac{\beta'}{90}\right)(h-h_0)}{\ln\frac{2l}{d}-1}.$$

---

[1] Приведенные здесь значения средних уклонов поверхности грунтовых вод используются для определения поправочного (весьма незначительного по величине) члена в выражении притока; непосредственное использование этих значений для расчета понижения грунтовых вод недопустимо.

[2] При интегрировании условно принято постоянство значения β', хотя оно зависит от x.

В этом выражении $\frac{\beta'}{90} = \frac{2}{\pi}\frac{h+h_0}{l}\left(\ln\frac{2l}{d} - 1\right)$[1]. Приток в дрену с двух сторон будет вдвое больше.

Депрессионная поверхность грунтовых вод характеризуется следующим уравнением:

$$\frac{\pi}{2}k\left(1+\frac{\beta'}{90}\right)(h-y) = pl\ln\frac{l}{x} - p(l-x).$$

При *внешнем питании грунтовых вод* уравнение притока в канал или дрену с одной стороны можно написать в следующем виде:

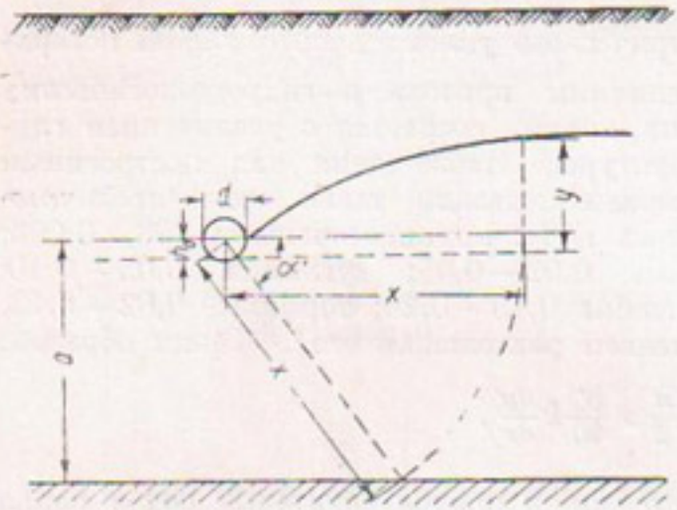


Рис. 247.

$$q = \frac{\pi}{2}k\left(1+\frac{\beta'}{90}\right)x\frac{dy}{dx}.$$

Интегрирование этого уравнения в пределах от $x = \frac{d}{2}$ до $x = l$ и от $y = h_0$ до $y = h$ дает следующую зависимость:

$$q = \frac{\frac{\pi}{2}k\left(1+\frac{\beta'}{90}\right)(h-h_0)}{\ln\frac{2l}{d}},$$

где q — внешний приток в дрену с одной стороны.

3. Промежуточное залегание водоупора. Если водоупор залегает на некоторой глубине a от уровня заложения дна (рис. 247), то по аналогии с изложенным приток грунтовых вод в дрену с одной стороны из области, лежащей ниже уровня дрены, может быть выражен так:

$$q_0 = k\alpha_0 x\frac{dy}{dx},$$

где $\alpha_0 = \frac{\pi}{2}\frac{\alpha'}{90}$, причем угол α' определяется из условия:

$$\sin\alpha' = \frac{a}{x}.$$

Таким образом,

$$q_0 = k\frac{\pi}{2}\frac{\alpha'}{90}x\frac{dy}{dx}.$$

Отсюда полный приток в дрену с одной стороны ее будет равен:

$$q_0 + q_1 = \frac{\pi}{2}k\left(\frac{\alpha'+\beta'}{90}\right)x\frac{dy}{dx}.$$

При *внутреннем питании грунтовых вод* можно написать:

$$p(l-x) = \frac{\pi}{2}k\left(\frac{\alpha'+\beta'}{90}\right)x\frac{dy}{dx}.$$

---

[1] Приводимое здесь выражение для $\frac{\beta'}{90}$ получается, если приток к дрене pl рассматривать как сумму независимых притоков $q_0 + q_1$, причем q_0 определять по предыдущему, а для притока из верхней зоны использовать формулу расхода воды при внутреннем питании:

$$q_1 = \frac{k(h^2 - h_0^2)}{l}.$$

Интегрирование этого уравнения в пределах от $x=\frac{d}{2}$ до $x=l$ и от $y=h_0$ до $y=h$ дает следующее выражение притока в дрену с одной стороны:

$$pl=\frac{\frac{\pi}{2}k\left(\frac{\alpha'+\beta'}{90}\right)(h-h_0)}{\ln\frac{2l}{d}-1},$$

где

$$\frac{\alpha'}{90}=\frac{a}{l}\left(1+0{,}8\ln\frac{l}{a}\right),$$

$\frac{\beta'}{90}$ определяется, как указано выше [1].

Приток в дрену с обеих сторон вдвое больше.

Уравнение депрессионной поверхности грунтовых вод будет иметь следующий вид:

$$\frac{\pi}{2}k\left(\frac{\alpha'+\beta'}{90}\right)(h-y)=pl\ln\frac{l}{x}-p(l-x).$$

При *внешнем питании* приток в канал или дрену с одной стороны q выразится так:

$$q=\frac{\frac{\pi}{2}k\left(\frac{\alpha'+\beta'}{90}\right)(h-h_0)}{\ln\frac{2l}{d}}.$$

При очень малой глубине водоупора a односторонний приток в канал или дрену может быть приближенно выражен следующим образом:
при внутреннем питании

$$pl=\frac{2k(h-h_0)}{l}\left(a+\frac{h+h_0}{2}\right)$$

и при внешнем притоке

$$q=\frac{k(h-h_0)}{l}\left(a+\frac{h+h_0}{2}\right).$$

Сетки притока грунтовых вод в дрену при глубоком и близком залегании водоупора показаны на рисунках 248 и 249. *Подпор воды в каналах или дренах, увеличивающий значение h_0, значительно снижает их водоотводную способность.*

Кроме внутреннего и внешнего питания грунтовых вод, поступающих в дрену, могут быть и случаи смешанного питания, которые здесь не рассматриваются, так как не представляют принципиально новых положений.

---

[1] Учитывая практическое значение формулы для расчета дренажа при промежуточном залегании водоупора, укажем, что при подстановке значений $\frac{\alpha'}{90}$ и $\frac{\beta'}{90}$ в формулу притока после несложных преобразований можно получить:

$$q=pl=q_0+q_1=\frac{k(h-h_0)a}{l}\alpha+\frac{k(h^2-h_0^2)}{l},$$

где α — коэффициент, учитывающий дополнительные потери на сужение потока при подходе его к дрене (по сравнению с каналом, прорезающим весь пласт).
Значение α равно:

$$\alpha=\frac{\pi}{2}\frac{1+0{,}8\ln\frac{l}{a}}{\ln\frac{2l}{d}-1}=1{,}256\frac{\lg\frac{3{,}5l}{a}}{\lg\frac{l}{1{,}36d}}.$$

Отметим, что всегда должно быть $\alpha\leqslant 1$, что приводит к приближенному условию для пределов применимости формулы $d<0{,}15a\sqrt[4]{\frac{a}{l}}$; обычно это неравенство соблюдается.

Распределение скоростей фильтрации воды в дренированную почву с поверхности на разных расстояниях от дрены, при внутреннем питании грунтовых вод, на основе гидромеханических методов рассмотрено В. В. Ведерниковым. Приложение методов гидромеханики к вопросам движения грунтовых вод и, в частности, дренажа получило крупное развитие в работах советских ученых — Н. Е. Жуковского, Н. Н. Павловского, В. В. Ведерникова, П. Я. Полубариновой-Кочиной, Ф. Б. Нельсон-Скорнякова, С. Ф. Аверьянова, В. И. Аравина, В. С. Козлова, Н. Н. Веригина, С. Н. Нумерова и др.

Предыдущее рассмотрение относилось к случаям *установившегося движения грунтовых вод* в дрену или канал, когда за рассматриваемый период работы дрены уровень грунтовых вод не изменялся на осушаемой площади. Однако при мелиорациях, когда нужно регулировать уровень грунто-

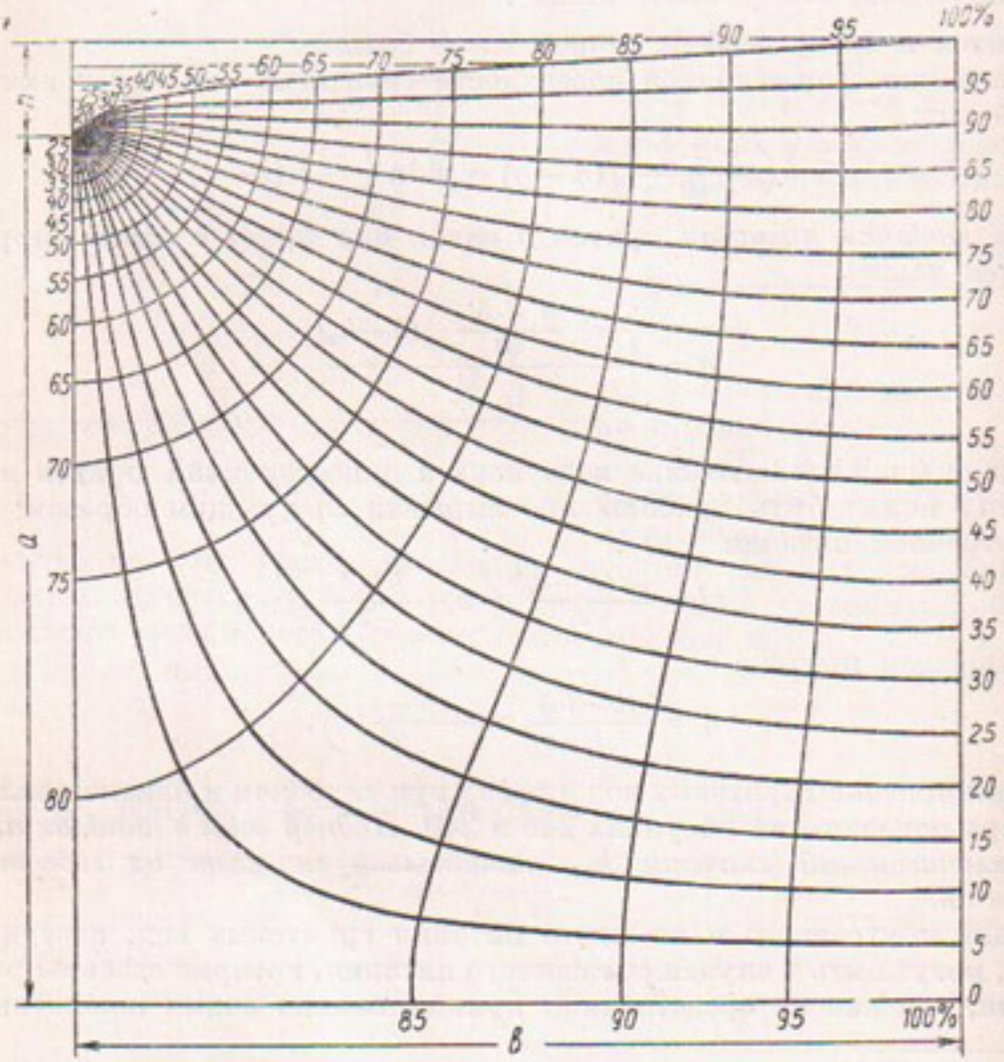


Рис. 248.

вых вод, большое значение имеют и случаи *неустановившегося движения грунтовых вод*, когда нет равновесия между притоком воды в дрену и поступлением (питанием) их на осушаемой площади, вследствие чего происходит изменение (подъем или опускание) уровня грунтовых вод на этой площади. Изменение поверхности грунтовых вод во времени схематично показано на рисунке 250.

Уравнение неустановившегося движения грунтовых вод в общем виде может быть написано так:

$$(pl + q_0)\,\Delta T - q\Delta T = \pm\,\delta\Delta h_0 l = \pm\,\delta\Delta F,$$

где p — внутреннее питание (просачивание минус испарение) грунтовых вод на полосе l от дрены;

q_0 — внешний приток грунтовых вод на единицу длины дрены, если он имеется;

q — отток в дрену с одной стороны на единицу длины;

δ — коэффициент водоотдачи грунта;

Δh_0 — среднее на полосе за рассматриваемый промежуток времени ΔT изменение уровня грунтовых вод (понижение или повышение их, в зависимости от соотношения питания и оттока).

Колебание уровня грунтовых вод на величину Δh влечет изменение напора их h и, следовательно, величины дренажного оттока q. Вопросы неустановившегося движения грунтовых вод имеют большое значение для характеристики динамики действия осушительных каналов или дрен и расчета и эксплуатации их. Так как скорость опускания грунтовых вод уменьшается по мере удаления от дрены, то Δh на разных расстояниях от дрены неодинаково. Если в какой-либо момент времени глубины грунтовых вод на расстояниях x_1 и x_2 от дрены составляют h_1 и h_2 (рис. 251), а через промежуток времени ΔT они увеличиваются соответственно на $\Delta h_1 = W_1 \Delta T$ и $\Delta h_2 = W_2 \Delta T$, где W_1 и W_2 — скорости опускания грунтовых вод в сечениях x_1 и x_2, то площадь осушенного разреза почвы на длине $(x_2 - x_1)$ увеличится за время ΔT на величину $\Delta F \approx 0{,}5\,(\Delta h_1 + \Delta h_2)\,(x_2 - x_1)$. Отношение $\frac{\Delta F}{\Delta T}$ характеризует интенсивность работы осушительного канала или дрены во времени. Беря разные значения x и соответствующие им значения Δh, можно характеризовать интенсивность действия дренажа как на всей осушаемой полосе, так и на отдельных участках ее, различно удаленных от дрены. При одинаковом питании грунтовых вод эта интенсивность пропорциональна величине удельного оттока грунтовых вод в дрену q.

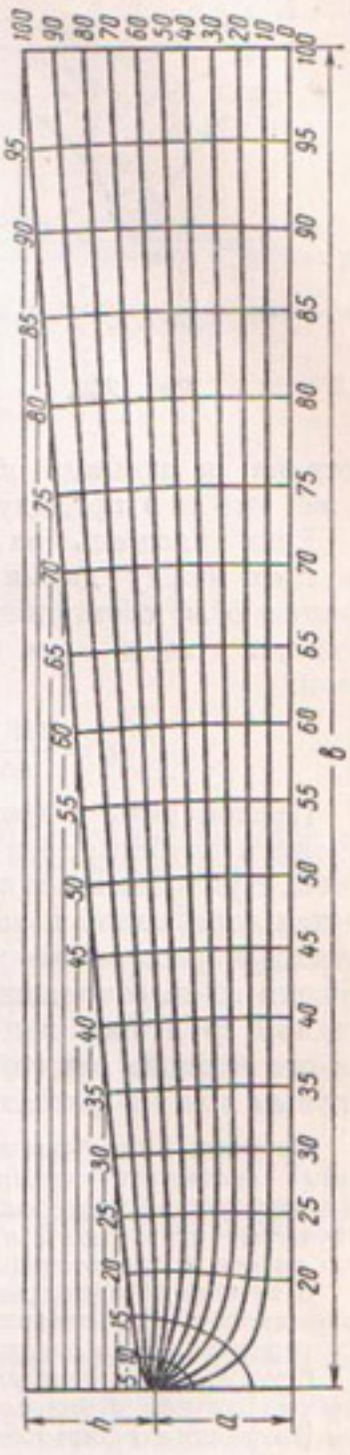


Рис. 249.

Величина ΔF возрастает с увеличением глубины дренирования и уменьшается с увеличением расстояния от дрены и во времени, если не происходит питания грунтовых вод.

Поэтому осушающее действие канала или дрены при прочих одинаковых условиях: а) увеличивается с увеличением глубины дренирования, водопроницаемости грунта и глубины залегания водоупора и б) уменьшается с удалением от канала или дрены и с понижением уровня грунтовых вод, если за это время нет питания. Причем при более глубоком дренировании это уменьшение осушающего действия канала происходит медленнее, чем при мелком. При одинаковом расстоянии между осушительными каналами на легких почвах достигается более равномерное распределение влажности по ширине осушаемой полосы, чем на тяжелых почвах.

Полевые наблюдения подтверждают полученные выводы и показывают, что способность дренажа снижать подъем грунтовых вод, происходящий вследствие превышения поглощения почвой осадков над испарением и других причин, увеличивается с глубиной заложения дренажа, так как это повышает напор грунтовых вод.

Если почва до осушения была насыщена водой до полной влагоемкости ее — A%, а после осушения в осушенном слое почвы остается количество воды, соответствующее ее потенциальной влагоемкости — C%, то $A - C$ будет

водоотдача почвы, т. е. часть воды, удаляемая из каждой единицы объема почвы в дрены.

Для торфяных почв влажность насыщенного водой торфа колеблется в среднем от 83% для низинных болот до 94% для верховых болот, т. е. до 500% по весу сухого вещества. Влажность осушенного торфа составляет для низинных болот 78—84%, а для верховых болот 85—88%. Таким образом, коэффициент водоотдачи $\delta = \frac{A-C}{100}$ для торфяных почв составляет 0,03—0,08, а для минеральных почв — от 0,07 до 0,20 в долях от объема грунта.

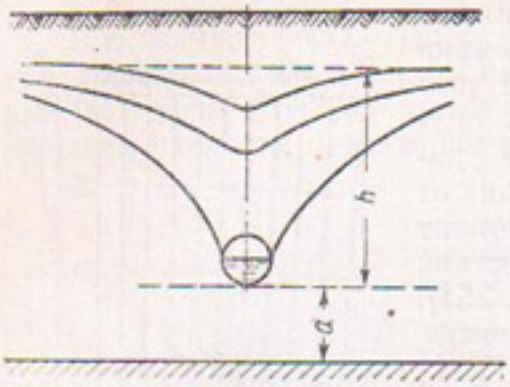


Рис. 250.

Коэффициент объемной водоотдачи определяется опытным путем; он повышается с увеличением коэффициента фильтрации грунта и высоты слоя грунта H. Г. Д. Эркиным получено такое значение коэффициента водоотдачи минеральных грунтов: $\delta = 16{,}5\sqrt{k}\sqrt[3]{H}$, где k выражено в *м/сек* и H в *м*. Для торфяных почв, по опытам А. И. Ивицкого (Институт болотного хозяйства БССР), удельная водоотдача (к единице объема) составляет: $\delta = 8{,}2k^{3/8} \cdot H^{3/4}$, где обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

Если площадь разреза почвы, осушенной за известный период ΔT в сутках между двумя канавами или дренами, расположенными на расстоянии b *м*, составляет ΔF *м*^{2}, то приток воды, поступающей в дренаж с площади 1 *га* в *л/сек* (в этот период) будет равен:

$$q = \frac{116\Delta F\delta}{b\Delta T}.$$

Приток воды в дрену возрастает с увеличением глубины дрен и водопроницаемости почвы, с уменьшением влагоемкости ее и снижается (при одной и той же глубине) с увеличением расстояний между дренами и во времени из-за сокращения ΔF. При наличии питания грунтовых вод в течение рассматриваемого периода значение q может быть стабильным или возрастать.

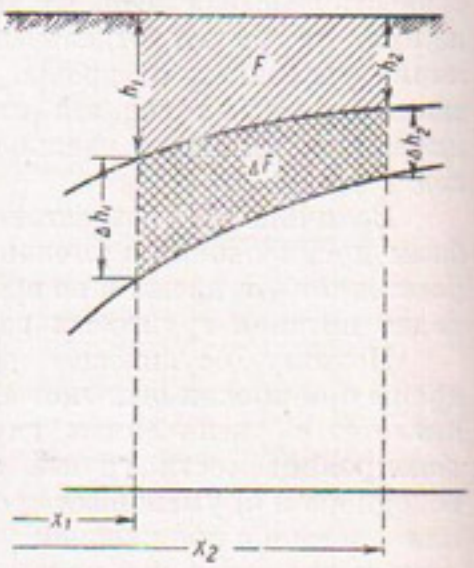


Рис. 251.

Величина k (коэффициент фильтрации, определяемый соответствующими опытами) для разных почв меняется в весьма больших пределах, но чаще встречается от 0,1 до 5 *м/сут*, т. е. от 0,0001 до 0,005 *см/сек*, а для песчаных почв еще выше.

В таблице 66 приведены для примера значения коэффициентов фильтрации для торфов разной степени разложения, по данным лабораторных опытов.

С углублением от поверхности водопроницаемость торфа уменьшается (в силу большего разложения и уплотнения).

Коэффициент фильтрации торфа можно определить в полевой обстановке по методу изучения времени заполнения шурфов водой. Этот способ применяется при высоком стоянии грунтовых вод; его преимущество, по сравнению с широко распространенным способом откачек из более глубоких скважин, заключается в том, что, принимая глубину шурфа близкой к намечаемой глубине заложения дрен, моделируют условия, приближающиеся к будущим условиям работы сооружения (дренажа), и определяют проницаемость той зоны, в которой будет работать дренаж.

Значение k при этом методе, по данным Г. Д. Эркина и К. П. Лундина (Институт болотного хозяйства в Минске), определяется следующей формулой:

$$k = \frac{3{,}5r^2}{(H+D)\,t} \lg \frac{y_0}{y_1},$$

Таблица 66

Торф	Коэффициент фильтрации (в см/сек)	
	в начале	в конце
Осоковый		
малоразложившийся	0,0050	0,000100
среднеразложившийся	0,0005	0,000010
сильноразложившийся	0,0002	0,000001
Сфагновый		
малоразложившийся	0,0020	0,000010
сильноразложившийся	0,0001	0,000001

где r — радиус шурфа или скважины; D — диаметр; H — толщина водоносного слоя от уровня грунтовых вод до дна скважины; t — время подъема воды в скважине с уровня y_0 до уровня y_1 (рис. 252).

Значение k может быть определено также по следующей формуле:

$$k = \frac{1{,}15F}{aHt} \lg \frac{y_0(2H - y_1)}{y_1(2H - y_0)},$$

где $F = \pi r^2$ — поперечное сечение шурфа;

$$a = \frac{\pi}{\ln \frac{R}{r}};$$

t — время, в течение которого повышается уровень воды в шурфе с h_0 до h_1;
H — первоначальная глубина грунтовых вод.

Приведенное выражение получено из условия:

$$q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}} = F \frac{dh}{dt}.$$

Для обеспечения наилучшего водного и воздушного режимов на осушаемых землях необходимо соблюдение определенного соотношения между расстояниями и глубиной регулирующих канав или дрен или, иначе, определенной степени осушения. Она обусловливается: 1) нормой осушения или влажностью почвы и глубинами грунтовых вод, которые нужно поддерживать на данной площади; 2) свойствами осушаемой почвы; 3) условиями питания и залегания грунтовых вод.

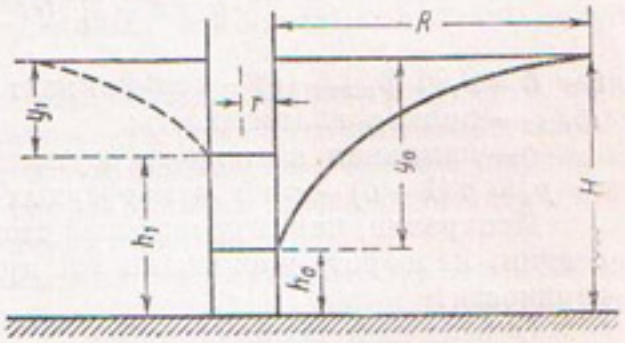


Рис. 252.

Так как норма осушения для одной и той же культуры в течение вегетационного периода изменяется в определенных размерах, то при установлении степени осушения необходимо достижение не стабильного положения, а динамики режима грунтовых вод, обеспечивающей вместе с правильной агротехникой высокий урожай возделываемых на данной осушаемой площади сельскохозяйственных культур. Та или иная степень осушения обусловливает не только определенное абсолютное понижение грунтовых вод, но и определенные амплитуды колебания их между дренами и продолжительность стояния различных уровней грунтовых вод в течение вегетационного периода.

Наблюдения показывают, что чем глубже залегание грунтовых вод и чем меньше амплитуда колебаний их уровня, тем благоприятнее развитие культур и больше урожайность их. Поэтому при осушении важно регулировать не только глубину, но и амплитуду колебаний грунтовых вод.

В весеннее и осеннее время влияние расстояний на продолжительность стояния разных уровней грунтовых вод сказывается более резко, так как в эти периоды ослаблено влияние испарения, сильно проявляющееся летом.

Зависимость продолжительности стояния уровней грунтовых вод от расстояний между дренами можно иллюстрировать данными наблюдений на Сульском опорном пункте Украинского НИИГиМ (А. М. Янголь), представленными на рисунке 253.

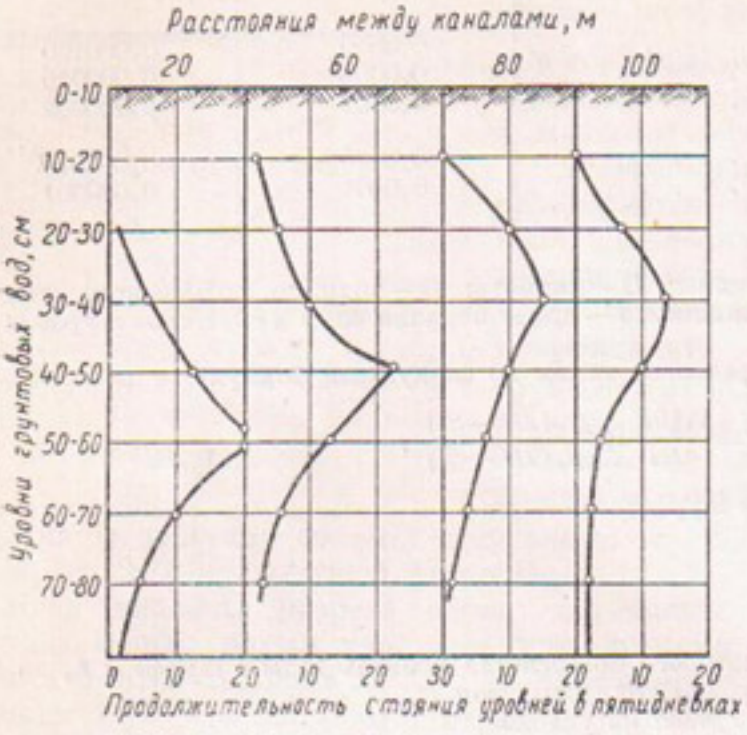


Рис. 253.

Уровень грунтовых вод между дренами под влиянием метеорологических и гидротехнических факторов (стока в дрены) изменяется следующим образом. Положим, что наличный уровень грунтовых вод стоял на глубине a *см* от поверхности почвы (рис. 254). За рассматриваемый промежуток времени t суток выпал слой осадков в p *мм*, испарение составляло в среднем e *мм* в сутки, поступление воды в регулирующие дрены равнялось q *л/сек* с 1 *га*, что эквивалентно слою воды $0{,}0086\ q \cdot t$ *м* $= 0{,}86\ q \cdot t$ *см*.

В результате (первоначальный) уровень грунтовых вод опускается с глубины a до h *см* от поверхности, причем величина h определится следующим образом:

$$h = a + \frac{0{,}1}{\delta}(et - p_0 + 8{,}6qt)\ см,$$

где $\delta = 0{,}01\,(\beta_{max} - \varrho)$ — коэффициент водоотдачи грунта;

β_{max} — полная влагоемкость;

ϱ — наличная влажность осушаемого слоя почвы (в объемных %);

$p_0 = p\,(1 - \sigma)$ — слой атмосферных осадков, просачивающихся в почву.

Испарение, как и дренажный сток, увеличивает глубину грунтовых вод; осадки, наоборот, уменьшают ее, приближая уровень грунтовых вод к поверхности.

О величине испарения болотных почв, чистых и занятых культурами, можно привести опытные данные Новгородской болотной станции. В таблице 67 показано среднее испарение (в миллиметрах) за вегетационный период май — сентябрь и за одни сутки (за 8 лет наблюдений).

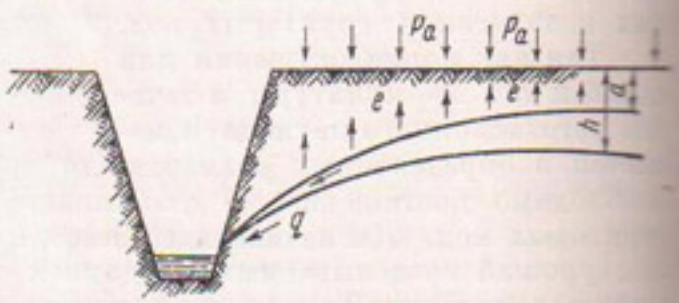


Рис. 254.

Если период преобладания испарения над осадками продолжается более или менее долго, то грунтовые воды могут настолько опуститься, что поверхность их становится горизонтальной или даже опускается ниже уровня дрен, что иногда наблюдается в засушливые годы.

Но если в засушливые периоды поверхность грунтовых вод между двумя дренами и принимает горизонтальное или вогнутое положение, то это наблю-

Таблица 67

Угодья и культуры	Всего	В 1 сутки
Торфяная почва	281	1,9
Болото торфяное осушенное	405	2,7
» сфагново-осоковое	335	2,2
» сфагново-моховое	395	2,7
Луг искусственный	414	3,4
Вико-овсяная смесь	331	3,7
Рожь озимая	378	3,8
Овес	298	3,0
Ячмень	329	4,0
Пшеница яровая	343	3,4

дается по отношению к абсолютному стоянию уровня по высоте в каждый данный момент времени. Амплитуды же колебаний грунтовых вод по ширине полосы между двумя дренами заметно изменяются в зависимости от близости дрен: они возрастают по мере удаления к середине полосы; а вместе с этим изменяется и урожайность культур по ширине полосы, уменьшаясь в направлении от д ен к середине полосы между ними.

РАСПОЛОЖЕНИЕ РЕГУЛИРУЮЩИХ ДРЕН; ГЛУБИНА И РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ НИМИ

Сеть для регулирования почвенно-грунтовых вод делается главным образом закрытой, в виде так называемого дренажа (гончарного или других видов), так как открытые каналы для регулирования почвенно-грунтовых вод требуют сравнительно частых расстояний между ними и поэтому крайне стесняют механизацию, вызывают большие потери полезной площади и обычно очень быстро зарастают. Гончарный или другие виды дренажа с креплением стенок особенно необходимы при грунтовом и напорно-грунтовом водном питании.

Влияние глубины заложения и расстояний между регулирующими дренами на режим грунтовых вод на осушаемых землях тесно связаны между собой.

Глубина регулирующих дрен должна быть больше требуемого понижения грунтовых вод или нормы осушения, вследствие падения депрессионной поверхности от середины к каналам, и тем больше, чем меньше расстояние между ними. *Минимальная глубина* регулирующих дрен обычно составляет на лугах 0,5—0,6 *м*, на полях —0,8— 0,9 *м*.

Гончарный трубчатый дренаж должен закладываться ниже глубины промерзания грунта в данной местности, во избежание сдвига труб при замерзаниях и оттаиваниях почвы, т. е. не меньше 0,8—1,1 *м*.

Заглубление регулирующих дрен позволяет увеличивать расстояния между ними, однако это усиливает неравномерность водного режима на осушаемых землях; поэтому при достаточной глубине проводящих осушительных каналов, поддерживающих основной режим грунтовых вод на осушаемой площади, глубина регулирующей сети может быть сравнительно небольшой, что позволяет осуществлять ее кротовыми машинами.

Частое, но мелкое заложение дрен отвечает тем условиям, когда дренаж предназначается для улучшения физических свойств тяжелых глинистых почв (повышения скважности, водопроницаемости и аэрации этих почв) и более быстрого снижения избыточной влажности верхних слоев этих почв весной, после обильных осадков и т. д., так как при частом расположении дрен энергичнее их действие на аэрацию и улучшение физических свойств почвы. Более глубокое заложение дрен отвечает условиям понижения уровня грунтовых вод при близком длительном их стоянии, например в почвах на тяжелой морене и др.

Глубина заложения дрен должна сообразоваться и со строением почвенного разреза: если почва неоднородна по водным свойствам, то надо стремиться закладывать дрены в более водопроницаемом слое и не под водоупорными прослойками.

Уровень грунтовых вод между дренами и требуемая норма понижения их изменяются во времени, в зависимости от характера использования осушаемой площади, климатических условий, состояния культур, агротехники. Поэтому *расстояния между регулирующими каналами или дренами нужно определять исходя из рассмотрения динамики работы дрен и неустановившегося движения грунтовых вод*. Такой метод и был применен нами (1932 г.); в основу его положен *принцип определения расстояний исходя из нужных темпов понижения грунтовых вод между дренами* (сообразно характеру использования осушаемой площади).

Расстояние между дренами b должно быть таково, чтобы оно позволяло (при данных почвенных, гидрогеологических и климатических условиях и глубине дрен) достигать нужных темпов понижения уровня грунтовых вод (с уровня H_1 до уровня H_2 за определенное требуемое время T).

Необходимые темпы опускания грунтовых вод на осушаемых землях зависят главным образом от условий хозяйственного использования данной площади и времени года. При осушении сельскохозяйственных земель необходимо, чтобы к началу полевых работ и к посевному периоду и затем в течение всего вегетационного периода грунтовые воды, влажность и аэрация пахотного и активного слоя почвы поддерживались на нужных для развития растений и ведения сельскохозяйственных работ уровнях и все подъемы грунтовых вод выше этих уровней достаточно быстро устранялись.

Зная фактическую глубину грунтовых вод на данной площади весной (после спада весеннего паводка) и требуемую глубину грунтовых вод к началу посевного периода, нетрудно установить тот слой грунтовых вод ΔH, на который должен быть понижен их уровень, и то время ΔT, в течение которого это понижение должно быть достигнуто; это время определяется числом дней между началом посевного периода на данной площади и сроком спада паводка, когда осушительная сеть может нормально работать. Сроки того и другого зависят от хозяйственных и климатических условий местности; разность их (величина ΔT) составляет обычно от 7 до 20 суток.

В южных и юго-западных районах решающим для работы осушительной системы в отношении понижения грунтовых вод является весенний период, в силу большого влияния испарения в летние месяцы. В центральных и особенно в северных районах существенное значение имеют также летний и осенний периоды, когда может оказаться необходимым более или менее быстрое понижение временных подъемов (пик) уровня грунтовых вод после дождливых периодов. В этих случаях необходимая скорость опускания грунтовых вод в верхнем слое почвы (0 — 40 *см*) составляет 10 — 30 *см* в сутки, в зависимости от требований культуры; в более низких слоях скорость может быть меньше. Положим, что в какой-то момент времени уровень грунтовых вод посредине между дренами (и напор их) (рис. 255) определяется величиной h; за время dT грунтовые воды опускаются на величину dh (под влиянием оттока в дрены и испарения), на что идет объем воды, равный $\varphi\delta b dh$ на единицу длины дрены, где $\delta = \frac{A-C}{100}$ — коэффициент водоотдачи грунта или разница между полной и потенциальной влагоемкостью его; φ — коэффициент, зависящий от формы депрессионной поверхности грунтовых вод и понижения их над дренами и посредине между ними; величина его близка к 1.

Если отток воды в дрены, соответствующий напору h, составляет q *м*³/*сек* на единицу длины, а поглощение атмосферных осадков минус испарение равно bp_0, где $p_0 = p - e$, то можно написать такое уравнение:

$$-\varphi\delta b dh = (q - bp_0)\, dT.$$

Подставляя в это уравнение соответствующее значение q и решая его, можно определить время T опускания грунтовых вод на нужную величину — при разных расстояниях b между дренами, а также и необходимые расстояния b.

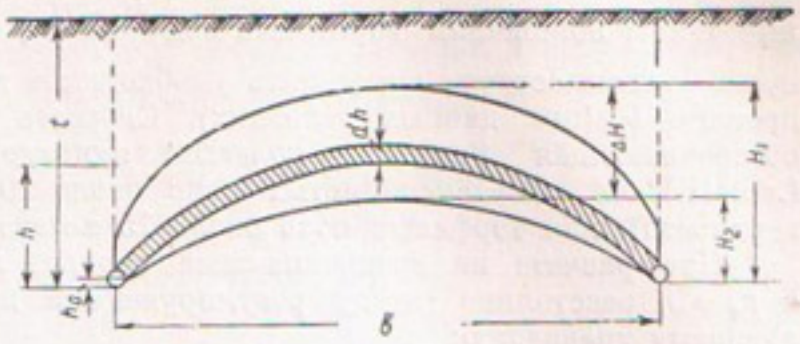


Рис. 255.

Рассмотрим два случая заложения дрен: а) при глубоком и промежуточном залегании водоупора и б) на водоупоре.

а) Определение расстояний при глубоком и промежуточном залегании водоупора. В этом случае приток воды в дрену (с двух сторон) при внутреннем питании равен:

$$q = (h - h_0)\, q_1,$$

где $q_1 = \dfrac{\pi k \dfrac{(\alpha' + \beta')}{90}}{\ln \dfrac{b}{d} - 1}$ — удельный отток воды в дрену при единице напора грунтовых вод для промежуточного залегания водоупора; при глубоком залегании водоупора $\dfrac{\alpha'}{90} = 1$; значения α' и β' — см. стр. 405; d — диаметр дрены; $b = 2l$ — расстояние между дренами; h_0 — слой воды в дрене.

Подставляя это значение q в предыдущее уравнение, получим:

$$dT = \frac{-\varphi \delta b\, dh}{q_1 (h - h_0) - p_0 b}.$$

Интегрируя[1] это уравнение в пределах от $h = H_1$ при $T = 0$ до $h = H_2$ при $T = T$, получим время опускания грунтовых вод T посредине между дренами на величину $(H_1 - H_2)$ равным:

$$T = \frac{\varphi \delta b}{q_1} \ln \frac{(H_1 - h_0) q_1 - p_0 b}{(H_2 - h_0) q_1 - p_0 b}.$$

Если принять, что внутреннее питание грунтовых вод уравновешивается испарением, т. е. $p = e$ и $p_0 = 0$, и подставить значение q_1, то получим следующее значение T:

$$T = \frac{\varphi \delta b}{\pi k \left(\dfrac{\alpha' + \beta'}{90} \right)} \left(\ln \frac{b}{d} - 1 \right) \ln \frac{H_1 - h_0}{H_2 - h_0}.$$

Полученные выражения позволяют определять, в течение какого времени T при расстоянии между дренами b грунтовые воды понижаются на величину $H_1 - H_2$, и устанавливать среднюю скорость опускания грунтовых вод $\dfrac{H_1 - H_2}{T}$ посредине между дренами, которая характеризует интенсивность действия дренажа; как видим, при одинаковых прочих условиях

[1] При интегрировании условно принято, что $\dfrac{\beta'}{90}$ не зависит от h.

скорость опускания грунтовых вод увеличивается с увеличением коэффициента фильтрации k и с уменьшением расстояний между дренами b. Поэтому, зная, сообразно характеру использования осушаемой площади, нужные темпы понижения грунтовых вод $\frac{H_1-H_2}{T}$, можно, пользуясь предыдущими зависимостями, определить необходимое для этого расстояние между дренами b (при данных условиях). Скорость опускания грунтовых вод, обеспечивающая развитие полевых культур, составляет, по данным СевНИИГиМ, для суглинистых почв около 20 *см* в сутки (считая от поверхности), для торфяных почв около 15 *см/сут*.

При расчете на средневлажный период, когда можно принять $p=e$ и $p_0=0$, расстояние между регулирующими дренами определится по следующему уравнению:

$$b=\frac{\pi kT\left(\frac{\alpha'+\beta'}{90}\right)}{\varphi\delta\left(\ln\frac{b}{d}-1\right)\ln\frac{H_1-h_0}{H_2-h_0}}\ м.$$

Так как значение δ приблизительно пропорционально $\sqrt{k}$ (см. стр. 408), то, подставляя значение δ в вышеприведенную формулу и делая соответствующие сокращения[1], получим, что расстояние между дренами b при глубоком водоупоре пропорционально *не первой степени, а квадратному корню из величины коэффициента водопроницаемости* грунта k, т. е. $b=A\sqrt{k}$, где коэффициент A зависит от прочих факторов.

На основании обобщения фактических данных по дренажу на орошаемых землях в разных районах Т. Н. Преображенский получил эмпирические зависимости расстояний между дренами (в метрах) от коэффициента фильтрации грунта (k) в *м/сут* (табл. 68).

Таблица 68

Залегание водоупора от уровня заложения дрен	Модуль дренажного стока (в *л/сек* с 1 *га*)	
	0,20—0,25	0,075—0,10
Глубокий водоупор	$b=180\sqrt{k}$	$b=300\sqrt{k}$
Близкий водоупор	$b=90\sqrt{k}$	$b=150\sqrt{k}$

Модуль дренажного стока, зависящий от количества отводимой дренажем воды в единицу времени, характеризует интенсивность дренирования. В зависимости от этой интенсивности, глубины водоупора и свойств грунта (k), расстояния между дренами по вышеуказанным формулам получаются разными от 40 до 900 *м*, при $k=0{,}05-0{,}10$ *м/сут* до $k=6-10$ *м/сут*.

Таким образом, расстояние между дренами может быть принято тем больше, чем больше $\sqrt{k}$, чем больше допустимое время T понижения грунтовых вод на величину (H_1-H_2) и глубина залегания водоупора $a\left(\text{и }\frac{a'}{90}\right)$ и чем меньше нужная величина понижения грунтовых вод $\Delta H=(H_1-H_2)$.

Так как $\frac{H_1-h_0}{H_2-h_0}=1+\frac{\Delta H}{t-H-h_0}$, то расстояние между дренами b, при прочих одинаковых условиях, увеличивается с увеличением глубины заложения дрен t и с уменьшением нормы осушения H. Значения $\frac{\alpha'}{90}$ и $\frac{\beta'}{90}$

[1] Здесь принято, что изменение зависящих от расстояния между дренами b членов $\left(\ln\frac{b}{d}-1\right)$, а также $\frac{\alpha'}{90}$ и $\frac{\beta'}{90}$ мало отражается на результатах.

определяются по предыдущему (стр. 405) при $l=\frac{b}{2}$; величина $\frac{a'}{90}$ позволяет учесть влияние глубины залегания водоупора a: с увеличением этой глубины расстояние между дренами b увеличивается. Определение b по предыдущему выражению делается путем последовательных приближений, так как величина $\ln\left(\frac{b}{d}\right)$ слабо изменяется с изменением b [1].

б) Определение расстояний при заложении дрен на водоупоре. Когда дрены заложены на водоупоре, приток воды в дрену q при внутреннем питании грунтовых вод на единицу длины дрены равен:

$$q=\frac{2k\,(h^2-h_0^2)}{l}=\frac{4k\,(h^2-h_0^2)}{b},$$

где $b=2l$.

Поэтому уравнение баланса грунтовых вод может быть написано следующим образом:

$$-\varphi\delta b\,dh=\left[\frac{4k\,(h^2-h_0^2)}{b}-p_0 b\right]dT.$$

Интегрирование этого уравнения в пределах от $h=H_1$ при $T=0$ до $h=H_2$ при $T=T$ дает следующее значение времени T опускания грунтовых вод на величину H_1-H_2:

$$T=\frac{\varphi\delta b^2}{8kH_0}\ln\frac{(H_2+H_0)(H_1-H_0)}{(H_2-H_0)(H_1+H_0)},$$

где $-H_0=\sqrt{h_0^2+\frac{p_0 b^2}{4k}}$.

При $p_0=0$ получим:

$$T=\frac{\varphi\delta b^2}{8h_0}\ln\frac{(H_2+h_0)(H_1-h_0)}{(H_2-h_0)(H_1+h_0)}.$$

При весьма малом h_0, взяв $h_0=0$ и раскрывая неопределенность, имеем:

$$T=\frac{\varphi\delta b^2}{4k}\left(\frac{1}{H_2}-\frac{1}{H_1}\right).$$

Поэтому при расчете на средневлажный период, когда $p=e$, расстояние между дренами, заложенными на водоупоре, определится следующим выражением:

$$b=\sqrt{\frac{4kTH_1H_2}{\varphi\delta\,(H_1-H_2)}}=\sqrt{\frac{4kT\,(t-H)(t-H+\Delta H)}{\varphi\delta\Delta H}}\ м,$$

где t — глубина заложения дрен от поверхности;

H — норма осушения, равная $H=t-H_2$;

$\Delta H=(H_1-H_2)$ — понижение грунтовых вод за время T.

Как видим, при заложении дрен на водоупоре расстояние между ними, дающее одинаковую скорость опускания грунтовых вод $\frac{\Delta H}{T}$, должно быть меньше, чем при глубоком залегании водоупора. Затем оно увеличивается с увеличением глубины заложения дрен t и с уменьшением нормы осушения H.

---

[1] Напомним, что:

$$\frac{a'}{90}=\frac{2a}{b}\left(1+0{,}8\ln\frac{b}{2a}\right),\quad \frac{\beta'}{90}=\frac{4}{\pi}\,\frac{h+h_0}{b}\left(\ln\frac{b}{d}-1\right),$$

т. е. коэффициенты α' и β' зависят от b, что надо учитывать при определении расстояний между дренами подбором; кроме того, коэффициент β' зависит от напора h, который, по-видимому, следует принимать средним за время T, т. е. $h+h_0=\frac{H_1+H_2}{2}$.

Полученные выше выражения показывают, что скорость опускания грунтовых вод $\frac{\Delta H}{T}$ (как при глубоком, так и при близком водоупоре) уменьшается с уменьшением напора грунтовых вод h, т. е. при высоком стоянии грунтовых вод они опускаются быстрее, и затем по мере снижения напора скорость дальнейшего опускания грунтовых вод уменьшается.

Для иллюстрации этого положения в таблице 69 приводятся (по данным СевНИИГиМ) величины среднесуточного понижения грунтовых вод (в сантиметрах) посредине между дренами на супесчаных почвах, подстилаемых тяжелым суглинком, в дни без осадков.

Таблица 69

Интервалы глубины грунтовых вод (в см)	Дрены через 25 м	Без дренажа
20—40	15	6
40—60	6	3
60—80	3	—
80—100	2,5	—

При напорном питании грунтовых вод расстояние между дренами может определяться на основе следующих соображений. Положим, что дрены заложены в суглинке, подстилаемом напорным водоносным слоем (рис. 256). Уровень непонижженного напора грунтовых вод стоит на высоте H над поверхностью земли. Дрены заложены на глубине t от поверхности. Расстояния между ними b должны быть таковы, чтобы дрены понижали напор грунтовых вод (посредине между ними) на величину $H+\Delta H$. Приток воды в дрену при напорном питании на единицу длины составляет по предыдущему:

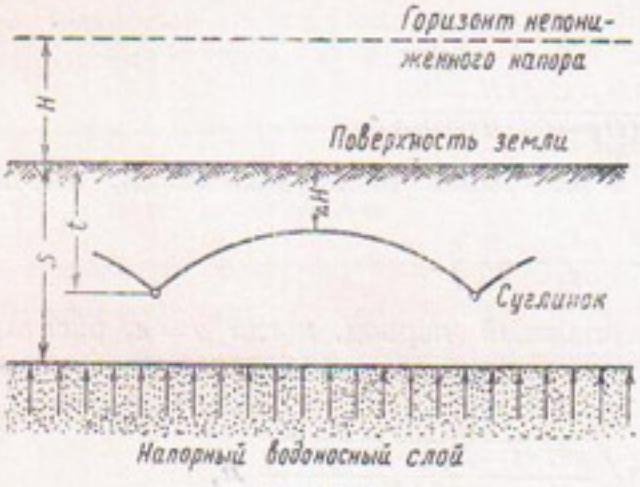


Рис. 256.

$$q=\frac{2\pi k(t-\Delta H)}{\ln\frac{b}{d}-1},$$

так как $\frac{\alpha'+\beta'}{90}=2{,}0$.

Этот приток питается поступлением грунтовых вод из напорного водоносного слоя, равным $bk\frac{H+\Delta H}{S-\Delta H}$. Определяя b из этого равенства, получим:

$$b\approx\frac{(t-\Delta H)(S-\Delta H)2\pi}{(H+\Delta H)\left(\ln\frac{b}{a}-1\right)}.$$

Из этого выражения видно, что расстояния между дренами при осушении заболоченных земель с напорно-грунтовым питанием водой могут быть тем больше, чем больше глубина заложения дрен t, чем меньше напор грунтовых вод H и требуемое понижение его ΔH, чем больше толща покровного суглинка S. Однако при напорном водном питании расстояния между дренами, заложенными в суглинистый слой, должны быть сравнительно небольшими. Поэтому осушение заболоченных земель напорно-грунтового питания при более или менее значительном напоре грунтовых вод во многих случаях эффективнее достигается не путем устройства систем-

тической дренажной регулирующей сети, а путем общего перехватывания грунтового потока и снижения его напора при помощи глубоких ловчих каналов (при более или менее близком залегании напорного водоносного слоя) или системы вертикальных колодцев с откачкой (при глубоком залегании его). Эти вопросы будут рассмотрены ниже.

Определение расстояний между регулирующими каналами или дренами на основе рассмотрения динамики их действия получило в советской мелиоративной литературе значительное освещение. За последние 25—30 лет был выполнен ряд работ, как теоретических, так и экспериментальных, продвинувших вперед изучение этого вопроса; кроме работ автора, отметим здесь работы Г. Д. Эркина, А. И. Ивицкого, Х. А. Писарькова, В. В. Ведерникова, С. Ф. Аверьянова, С. К. Абрамова, В. Д. Степанова, Е. С. Маркова, В. С. Козлова, А. М. Янголь и др. Не имея возможности останавливаться на результатах всех работ, приведем здесь только некоторые из них.

В. В. Ведерников (1936—1939 гг.) определяет расстояния между дренами, исходя из скорости фильтрации воды атмосферных осадков с поверхности почвы или с подошвы пахотного слоя в середине поля между дренами; автор дает как точные, так и приближенные формулы определения расстояний; приведем здесь последние.

При заложении дрены на водоупоре:

$$l = 2{,}93T \lg \frac{2hk}{TAv_a} \text{ м};$$

при более или менее глубоком водоупоре:

$$l = 2{,}93T \lg \frac{2hk\alpha}{TAv_a} \text{ м}.$$

В этих формулах: T — глубина залегания водоупора от поверхности; k — коэффициент фильтрации грунта; h — глубина верха дрены от поверхности; v_a — скорость фильтрации воды (осадков и др.), покрывающей поверхность (посредине между дренами); коэффициент $A = f\left(\frac{h}{h+d}, \frac{h+d}{T}\right)$ и определяется по даваемым автором формулам или по графику; коэффициент $\alpha = \sin\left(\pi \frac{2h+d}{4T}\right)$. Приближенные формулы применимы при $l > 5h$, $l > 2{,}56\,T$ и $h + d > 0{,}25\,T$. При $l > 5h$, но $l < 2{,}56\,T$ и $h + d < 0{,}25\,T$ автором дается такая приближенная формула: $l = h\sqrt{\frac{\pi k}{Av_a}}$, как и при $T = \infty$[1]. В указанных формулах расстояния между дренами определены из условия — увеличить скорость просачивания выпадающих атмосферных осадков в почву до величины v_a, необходимой по условиям сельскохозяйственного использования данной площади, чтобы *уменьшить период затопления и насыщения почвы водой при выпадении осадков.*

Х. А. Писарьков дает следующие формулы расстояний между дренами:

$$E_x = 0{,}5E_{0{,}8}\sqrt{\frac{a_x}{1-a_x}} \quad \text{и} \quad E_x = N\frac{t-h}{\sqrt{p}},$$

где E_x — искомое расстояние, в *м*;

$a_x = \frac{H_2}{H_1}$ — коэффициент, зависящий от необходимой скорости понижения грунтовых вод в течение суток, где H_1 — начальная и H_2 — конечная глубина грунтовых вод над дреной (спустя t суток);

$E_{0{,}8}$ — расстояние между дренами, отвечающее отношению $\frac{H_2}{H_1} = 0{,}8$; оно зависит от свойств почвы и климатических условий; для условий Ленинградской области $E_{0{,}8}$ составляет, по наблюдениям автора (в *м*):

% содержания глины в почве	18	25	31	37	43	50
$E_{0{,}8}$	43	26	20	16	14	13

N — коэффициент, зависящий от свойств почвы и равный: для тяжелого суглинка 1,2; для легкого суглинка 1,6; для супеси 1,9; для песка 2,5;

t — глубина дрен, в *см*;

h — норма осушения, в *см*, равная для полей 50—60 *см*, для лугов и пастбищ 30—40 *см*;

p — среднесуточная интенсивность осадков, в *мм*.

---

[1] Отметим, что для каналов аналогичные формулы В. В. Ведерникова существенно упрощаются:

$l = 2{,}93\,T \lg \frac{8k}{\pi v_a}$ — для каналов на водоупоре;

$l = 2{,}22h\sqrt{\frac{k}{v_a}}$ — при весьма глубоком водоупоре.

А. М. Яноль (УкрНИИГиМ) на основании данных опытно-осушительных станций Украины дает такую формулу расстояний между регулирующими канавами:

$$E = A + B(t - H)\ м,$$

где E — расстояние между канавами;
t — глубина канавы;
A и B — постоянные величины; для условий УССР автор дает такие значения их: для низинных болот грунтового питания с торфом слабой и средней степени разложения при безнапорном питании $A = 19$ и $B = 144$; при напорном питании $A = 39$ и $B = 120$.

Если дренаж закладывается в неоднородном почвогрунте, состоящем из нескольких слоев различной водопроницаемости, расстояния между дренами определяются на основе изложенных выше принципов, но значение коэффициента фильтрации k берется средневзвешенное для слоев, в которых происходит движение воды к дрене[1] (с учетом направления движения).

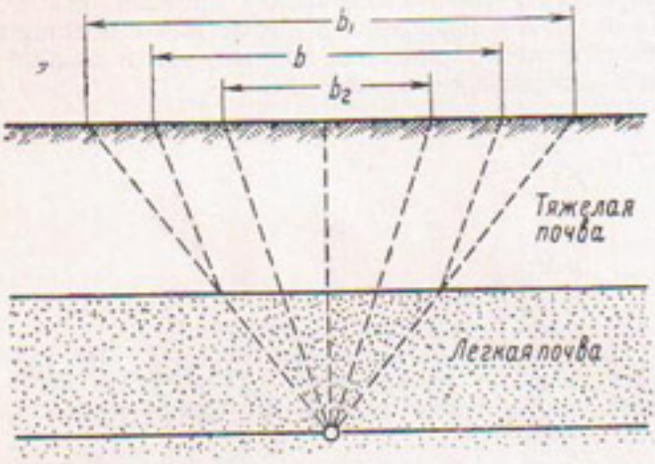


Рис. 257.

Иногда расстояния между дренами в неоднородных грунтах устанавливают следующим образом: для грунта каждой водопроницаемости по существующим формулам определяют соответствующее расстояние (при условии однородности грунта); затем из этих расстояний берется средневзвешенное расстояние, учитывающее мощность и расположение слоев разной водопроницаемости; для этого может быть применен графический метод, показанный на рисунке 257, где b_1 — расстояние, отвечающее водопроницаемости нижнего легкого почвогрунта; b_1 — расстояние, отвечающее водопроницаемости верхнего тяжелого почвогрунта; b — искомое расстояние; остальное построение понятно из рисунка.

Необходимое соотношение расстояний между дренами b и их глубин t сильно зависит от свойств осушаемой почвы. Чем меньше влагоемкость, больше водопроницаемость и меньше водоотдача почвы, чем глубже залегание водоупора от уровня заложения дрен, тем больше, при одинаковой глубине, может быть принято расстояние между регулирующими каналами или дренами.

Соответствующая обработка и известкование, позволяющие поддерживать надлежащую структуру почвы и изменяющие в благоприятную сторону ее водные свойства, нередко влияют сильнее, чем механический состав почвы. Опыты показывают, что на структурных почвах расстояния между дренами могут быть увеличены в 1½ раза по сравнению с бесструктурными почвами при том же механическом составе.

На торфяных почвах существенное значение при выборе расстояний между регулирующими элементами имеет степень разложения торфа и тип болот.

Торф плотный, хорошо разложившийся, представляет большее сопротивление движению воды. Поэтому на разложившихся торфах расстояния между дренами должны быть меньше, чем на слаборазложившихся (при прочих одинаковых условиях).

На низинных болотах с торфом большей зольности и меньшей влагоемкости допускают бóльшие расстояния между постоянными дренами (от 25 до 45 *м*), чем на верховых, моховых болотах (от 12 до 25 *м*), в зависимости от степени разложения торфа.

---

[1] Из последних работ по этому вопросу см. В. И о н а т. Расчет совершенного дренажа в двухслойном грунте в условиях неустановившегося движения. Бюллетень научно-технической информации Эстонского н.-и. ин-та земледелия и мелиорации. № 3, 1959.

При установлении расстояний между регулирующими дренами нужно учитывать также: а) влияние уклона местности — с увеличением уклона возрастает сток и уменьшается просачивание воды в почву p, вследствие чего расстояния между дренами могут увеличиваться[1]; б) влияние климатических условий — с увеличением осадков, влажности воздуха и с уменьшением испарения и температуры, расстояния, при прочих одинаковых условиях, уменьшаются (так как увеличивается значение фактора p_0); на южных склонах допускают бóльшие расстояния, чем на северных; в) расположение регулирующих дрен в плане по отношению к направлению горизонталей местности или грунтовых вод — при поперечном расположении (в направлении горизонталей) расстояния могут быть увеличены (на 20—25%) по сравнению с продольным расположением (по наибольшему уклону), так как в первом случае регулирующие дрены лучше перехватывают поток почвенно-грунтовых вод, чем при продольном расположении.

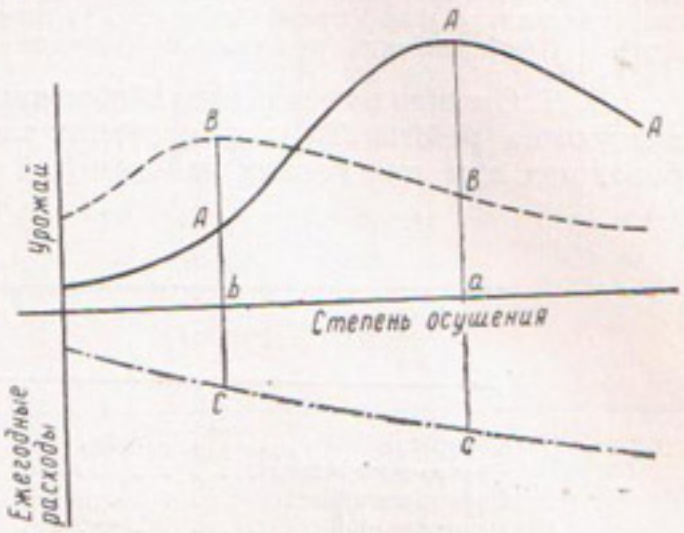


Рис. 258.

На установление значений b и t влияют также и экономические соображения. С увеличением расстояний между регулирующими дренами b, при определенной глубине их t, с одной стороны, может снижаться урожайность культур, а с другой стороны, сокращается длина и уменьшается стоимость регулирующей сети на единицу площади.

Основные культуры, входящие в севообороты на осушенных землях, по их требованиям к водному режиму можно разделить на две главные группы: 1) травы, для которых нужна меньшая норма осушения; 2) корне- и клубнеплоды, овощные и технические культуры, для которых требуется бóльшая норма осушения. Зерновые хлеба занимают промежуточное положение.

Вследствие различия требований двух указанных групп культур к водному режиму почв различна и необходимая степень осушения для этих культур. Поэтому возникает вопрос, на какую же степень осушения, т. е. соотношение расстояний и глубин дрен, следует вести проектирование регулирующей сети при осушении земель под кормовые и полевые севообороты. Положим, что продукция полевых культур севооборота на 1 *га* при определенной агротехнике с увеличением степени осушения изменяется по кривой AA (рис. 258), а продукция трав (на 1 *га*) по кривой BB. Ежегодные расходы на 1 *га* (амортизация, ремонт, содержание), соответствующие разным степеням осушения (a, b и т. д.), изменяются по кривой C.

Эффективность осушения полевого севооборота (если травы в нем составляют, например, 20% площади) будет характеризоваться:

1) при степени осушения a — отношением $\frac{0{,}80\,Aa + 0{,}20\,Ba}{Ca}$ или $\frac{0{,}80\,Aa + 0{,}20\,Bb}{aC + r}$, где r — стоимость регулирования грунтовых вод на полях, занятых травами, в соответствии с их требованиями большей влажности;

2) при степени осушения b — отношением $\frac{0{,}80\,Ab + 0{,}20\,Bb}{Cb}$.

Нужно принять степень осушения, дающую наибольшую эффективность при данных условиях, с учетом стоимости регулирования водного режима нерасчетных культур.

На режим грунтовых вод между дренами, как видно из изложенного выше, при данных s и t сильно влияют метеорологические факторы — осадки и испарение. В силу этого связь между ними, с одной стороны, и понижением уровня грунтовых вод, с другой, изменяется во времени и может быть более сложной, чем это определяется расчетами.

---

[1] См. также Х. А. Писарьков. Влияние уклона поверхности осушаемых земель на расстояния между осушителями. Труды СевНИИГиМ, т. XIV, Л., 1958.

Поэтому при установлении расстояний между регулирующими дренами, кроме теоретических соображений, следует учитывать также и опытные данные, относящиеся к соответствующим условиям. Эти данные могут быть получены на опытно-мелиоративных станциях и в передовых хозяйствах, применяющих осушение на своих землях.

Опытные станции по осушению имеются в СССР в различных районах: в Белоруссии (станции Института мелиорации и болотного хозяйства БССР), в северо-западных районах РСФСР (станции Северного института гидротехники и мелиорации, Новгородская и Кировская опытные станции), в центральных районах (Московская опытная станция и др.), на Украине (станция Украинского института гидротехники и мелиорации), в Прибалтийских республиках (станции академий наук республик).

Б. Д. Оношко на основании обобщения данных опытных учреждений дает следующие расстояния регулирующих элементов при осушении низинных болот под луга для разных районов (табл. 70).

Таблица 70

Районы	Расстояния (в м)
Северный	20—30
Северо-восточный	20—50
Северо-западный	40—60
Центральный	50—75
Западный	60—100
Юго-западный	80—120

Для технических культур принимаются расстояния в 1½—2 раза меньшие. А. М. Янголь по данным Украинского института гидротехники и мелиорации приводит следующие расстояния между осушителями при разных условиях (табл. 71).

Таблица 71

Глубина осушителей (в м)	Болота безнапорного грунтового питания			Болота напорного грунтового питания		
	норма осушения (в м)			норма осушения (в м)		
	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
1,0	125	110	100	120	105	90
0,9	110	100	90	105	90	75
0,8	100	90	75	90	75	60
0,7	90	75	60	75	60	50

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (СевНИИГиМ) также дает рекомендации по расстояниям между осушителями (в метрах) при интенсивном осушении болот (для понижения грунтовых вод) в нечерноземной полосе РСФСР (табл. 72).

Расстояния между дренами (при глубине их около 1 м) на минеральных почвах при мощности пахотного слоя не менее 25 см, даваемые (1953 г.) тем же институтом (СевНИИГиМ), представлены в таблице 73.

При напорно-грунтовом водном питании, при близком водоупоре и слабом уклоне заболоченных земель расстояния между дренами уменьшаются; при проведении дополнительных агромелиоративных мероприятий и поддержании хорошей комковатой структуры почв, а также в случаях подстилания водопроницаемыми грунтами расстояния между дренами могут быть увеличены на 10—20%.

Таблица 72

Севообороты	Типы болот	Районы: северные	Районы: средние	Районы: южные (южнее линии Брянск—Москва—Свердловск)
Луговой	Низинное	40—60	60—100	100—150
	Переходное	30—50	50—80	80—110
	Верховое	25—40	40—60	60—80
Лугопастбищный	Низинное	35—50	50—80	80—120
	Переходное	25—40	40—65	65—90
	Верховое	25—35	35—50	50—70
Полевой	Низинное	30—45	50—70	70—100
	Переходное	20—35	35—60	50—80
	Верховое	20—35	30—45	40—60

Таблица 73

Почвы подпахотного слоя	Коэффициент фильтрации подпахотного слоя (в *см/сек*)	Центральная зона: полевой севооборот	Центральная зона: лугопастбищный севооборот	Северо-восточная зона: полевой севооборот	Северо-восточная зона: лугопастбищный севооборот	Северо-западная зона: полевой севооборот	Северо-западная зона: лугопастбищный севооборот	Северная зона: полевой севооборот	Северная зона: лугопастбищный севооборот
Глины	0,00005	22	26	20	24	18	22	16	19
Суглинки:									
тяжелые	0,00010	23	28	21	25	19	23	17	20
средние	0,00050	28	34	25	30	23	28	25	30
легкие	0,00100	31	37	28	34	26	31	28	33
Супеси	0,00200	38	46	35	42	32	38	32	38

В США для расчета и устройства дренажа на заболоченных землях во влажных (неорошаемых) районах Обществом сельскохозяйственных инженеров (*ASAE*) в 1953 г. предложены следующие нормативы.

1. Расход дрен рассчитывается на отвод в сутки (24 часа) количеств воды, приведенных в таблице 74 (выраженных в виде слоя в дюймах).

Таблица 74

Почвы	Полевые культуры	Овощные культуры
Минеральные	$^3/_8 \div ^1/_2$	$^1/_2 \div ^3/_4$
Торфяные	$^1/_2 \div ^3/_4$	$^3/_4 \div 1^1/_2$

Если в дрены, кроме грунтовых вод, поступают поверхностные воды, то количества отводимой воды повышаются и могут доходить до $1^1/_2$—2 дюймов в 24 часа и более, в зависимости от местных условий.

2. Скорость воды в дренах определяется по формуле Jarnell — Wood : $v = 138\, R^{2/3} I^{1/2}$, где v — средняя скорость, в футах в сек.; R — средний гидравлический радиус и I — уклон дрен, в футах на один фут длины.

3. Диаметр дренажных труб делается не меньше 4—5 дюймов, в зависимости от свойств грунта.

4. Наименьшая глубина заложения дрен на минеральных почвах принимается 3—4 фута, причем на торфяных почвах дренажные трубы закладываются только после предварительной осушки торфа и осадки его, на что требуется 3—5 лет.

5. Расстояния между закрытыми дренами принимаются[1] по следующим данным (табл. 75).

Таблица 75

Почвы	Проницаемость	Расстояния между дренами (в футах)
Глинистые и тяжелые суглинки	Очень слабая	30— 70
Суглинистые илистые и пылеватые	Слабая	60—100
Супесчаные	Средняя и достаточная	100—300
Торфянистые	—	50—200

Меньшие расстояния соответствуют меньшей глубине заложения дрен, большей уплотненности почвы, а также овощным и техническим культурам. Надо отметить, что в практике дренажа в США преобладают расстояния между дренами не больше 120—150 футов.

Из данных таблиц 70—73 видно, что требуемые расстояния между дренами часто меньше 40—50 *м* и редко превышают 100 *м*; поэтому регулирующие элементы, как сказано выше, делаются в виде закрытых дрен, чтобы не стеснять механизации сельскохозяйственных работ.

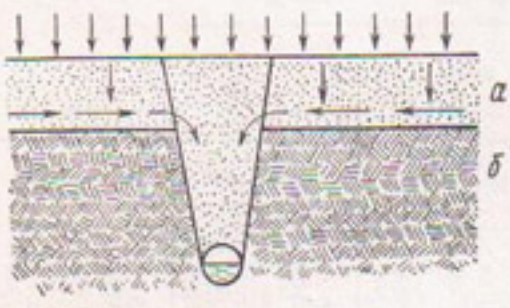


Рис. 259.

В тех случаях, когда питание грунтовыми водами заболоченной площади обусловлено местным притоком их или носит пестрый характер в силу более или менее сложного тальвегового рельефа дренируемой площади и других причин, дрены располагаются не систематически, а выборочно, в зависимости от характера изогипс грунтовых вод, микрорельефа поверхности и расположения наиболее страдающих от избытка влаги земельных участков.

Нужно отметить, что приведенные данные о глубине и расстояниях между регулирующими дренами в большинстве относятся к тем методам осушения, когда проводящие осушительные каналы имеют сравнительно небольшую глубину (порядка 1,3—1,5 *м*), не сильно отличающуюся от глубины регулирующих дрен (0,9—1,2 *м*).

При более значительной глубине проводящих осушительных каналов (2—2,5 *м* и более), обеспечивающей возможность надлежащего падения напора грунтовых вод, снижения их уровня и поддержания необходимой регулирующей емкости вышележащего слоя почвы, регулирующая осушительная сеть получает иное осуществление и другие глубины и расстояния. В этих случаях она делается в виде гончарных или деревянных дрен, но более редко расположенных, а также в виде временного, так называемого кротового дренажа, нарезаемого механизированным путем и состоящего в устройстве в почве на нужной глубине и расстояниях подземных дренажных ходов определенного диаметра с земляными стенками (наподобие кротовин), выполняемых при помощи специальных машин, без предварительного устройства траншей.

Особенно важное значение имеет кротовый дренаж при осушении (мелиорации) глинистых маловодопроницаемых почв, имеющих атмосферное водное питание. В этих почвах более или менее структурным и водопроницаемым является обычно только пахотный слой: по нему в главной массе и поступают избыточные почвенно-грунтовые воды в дрену, обычно через рыхлый слой засыпки (рис. 259). Вода через подпахотные слои в глинистых почвах поступает только в том случае, если они хорошо трещиноватые, что не всегда имеет место, или если эти слои насыщены водой (при напорно-грунтовом водном питании). При питании грунтовых вод атмосферными осадками

[1] Agricultural Engineering, Vol. 34, № 7, Design and Construction of tile drains, 1953. *Прим. автора.*

наибольшее переувлажнение почвы и образование почвенно-грунтовой верховодки происходит в пахотном слое со скоплением ее на малопроницаемом подпахотном слое весной в период снеготаяния и после него и осенью в период выпадения большого количества осадков. Образующаяся грунтовая вода стекает к дренам главным образом по плужной подошве пахотного слоя и лишь небольшая часть поступает по подпахотному слою (в зависимости от величины коэффициента фильтрации его или степени трещиноватости). При очень обильных осадках часть воды стекает по поверхности и поступает в дрены через рыхлую засыпку, особенно если она гумусирована.

При таком положении, чтобы ликвидировать переувлажнение пахотного слоя, ускорить сток избыточной (гравитационной) воды из него и таким образом увеличить расстояния между постоянными дренами (и траншеями дренажной засыпки), очень полезно проведение кротования почвы, т. е. устройство ниже пахотного слоя (на глубине 0,4—0,5 *м*) кротовых дрен, поглощающих скопляющуюся в пахотном слое избыточную воду. Эти дрены, кроме того, способствуют образованию трещин, разрыхлению вышележащего слоя почвы *а*, увеличению его аэрации и водопроницаемости, ускорению отвода верховодки (рис. 260).



Рис. 260.

Кротовые дрены, располагаемые относительно неглубоко и часто, соединяются с постоянными гончарными (или другими) дренами, более глубоко и редко расположенными, и позволяют благодаря этому увеличить расстояния между последними (до 40—60 *м*), что удешевляет дренирование глинистых почв. Особенно увеличиваются расстояния между постоянными дренами в том случае, если кротование почвы соединяется с узкозагонной вспашкой по уклону, ускоряющей удаление избыточных поверхностных вод весной и осенью. Такая система мелиораций тяжелых почв была испытана СевНИИГиМ и показала хорошие результаты. Кротование позволяет весной раньше начать сельскохозяйственные работы на тяжелых переувлажненных почвах.

Кротование увеличивает скорость фильтрации выпадающих атмосферных осадков и предохраняет почву от застоев воды и избыточного увлажнения; поэтому расстояния между неглубокими дренами при кротовании определяются из условия создания нужной скорости удаления воды осадков с поверхности поля (посредине между дренами). Если условно произвести такой расчет по формуле В. В. Ведерникова, то, например, при глубине заложения кротовых дрен $t=0{,}5$ *м* получаются следующие расстояния между ними (в метрах), необходимые для получения заданной скорости поглощения осадков при разной водопроницаемости почвы (табл. 76).

Таблица 76

Показатели	Проницаемость почвы (в *м/сут*)							
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	1,0
При скорости поглощения осадков 10 *мм/сут*	1,75	2,20	2,45	2,65	2,80	3,00	3,10	3,25
При скорости поглощения осадков 3,3 *мм/сут*	2,50	2,95	3,20	3,35	3,50	3,70	3,80	4,00
При понижении верховодки на 0,25 *м/сут*	2,60	3,10	3,45	3,75	4,00	4,25	4,50	5,00

Если кротовые дрены (в торфах) должны понижать уровень грунтовых вод, то расстояния между дренами можно определять по вышеприводимой формуле (стр. 414), исходя из нужной скорости понижения грунтовых вод.

При понижении грунтовых вод глубину заложения кротовых дрен обычно принимают около 0,7—1,1 *м*, т. е. больше 0,5 *м*, и соответственно

увеличиваются расстояния между ними до 10—20 *м*. Например, на торфяных почвах Институт болотного хозяйства БССР рекомендует расстояния между дренами согласно данным таблицы 77.

Таблица 77

Севооборот	Глубина дрен (в *м*)	Расстояния между дренами (в *м*)	
		на болотах напорного грунтового питания	на болотах безнапорного грунтового питания
Лугопастбищный	0,7—0,9	15	20—25
Полевой	0,8—1,0	10	15—20
Овощной	0,9—1,1	5	10—15

Длину кротовых дрен в зависимости от рельефа местности принимают от 100 до 250 *м*.

Кротовый дренаж способствует рыхлению и усилению аэрации почвы и подпочвы; повышает теплопроводность тяжелых почв. Вследствие повышенной циркуляции воздуха и конденсации водяных паров воздуха в почве кротовый дренаж в засушливый период повышает влажность почвы по сравнению с недренированной, причем особенно усиливается этот процесс в дни с высокой относительной влажностью воздуха; во влажные же периоды кротовый дренаж понижает влажность верхних слоев почвы по сравнению с недренированной. Осушающее действие кротового дренажа сказывается главным образом в весенние и осенние месяцы; в летнее же время он оказывает главным образом регулирующее влияние на влажность почвы и усиливает ее аэрацию.

Благодаря указанному действию кротовый дренаж способствует более глубокому развитию корневой системы растений, усиливает процессы нитрификации в почве, повышает ее плодородие и урожаи. Влияние кротового дренажа на содержание нитратов (NO_3) в пахотном слое почвы (в миллиграммах на 1 *кг* почвы), по опытам СевНИИГиМ в колхозах Ленинградской области, видно из следующих данных.

Расстояние между дренами (в *м*)	2	4	8
Содержание NO_3 в *мг* на 1 *кг* почвы	61,0	36,3	26,4

Без дренажа содержание NO_3 было 19,15 *мг*

Благоприятное влияние кротового дренажа на усиление нитрификации наблюдается и на торфяных почвах (Институт болотного хозяйства БССР). Урожаи сельскохозяйственных культур на кротодренированных землях повышаются на 20—60% по сравнению с урожаями на недренированных землях.

На подзолистых почвах подпахотный подзолистый горизонт отличается, как известно, большой дисперсностью и водонепроницаемостью (проницаемость его в 10—15 раз меньше пахотного слоя). Вследствие этого весной и осенью пахотный слой подзолистой почвы оказывается сильно переувлажненным, между тем как нижележащие подпахотные слои почвы имеют недостаточную влажность. По данным опытного поля Сельскохозяйственной академии имени Тимирязева, распределение весеннего запаса влаги в слое почвы 0,75 *м* отражено в таблице 78 (по М. Н. Глотову).

Таблица 78

Слои	Мощность слоя (в *см*)	Средний % влажности по весу	Запас влаги в слое (в $м^3/га$)	Пористость почвы (в %)
Пахотный	15	55,9	1006	52
Подпахотный	20	17,5	595	37
Подзолистый	40	13,4	724	48

Из данных таблицы 78 видно, что в пахотном слое почвы все поры ее полностью заняты водой, между тем как в подпахотном горизонте занято водой только 28% всего объема пор. Для глубокого поглощения и более равномерного распределения влаги в почве очень важно углубление пахотного слоя, опускание плужной подошвы (до 40—50 *см*) и заложение кротового дренажа.

Кротовый дренаж, образуя вертикальные щели и кротовины в почве, весной и осенью (после осадков) понижает влажность пахотного слоя и повышает запас влаги в подпахотном, т. е. способствует более равномерному распределению влажности почвы по глубине, что показано на рисунке 261.

В центральных районах неустойчивого увлажнения, где испаряемость в летние месяцы превышает количество осадков, целесообразно не сбрасывать избыток влаги из

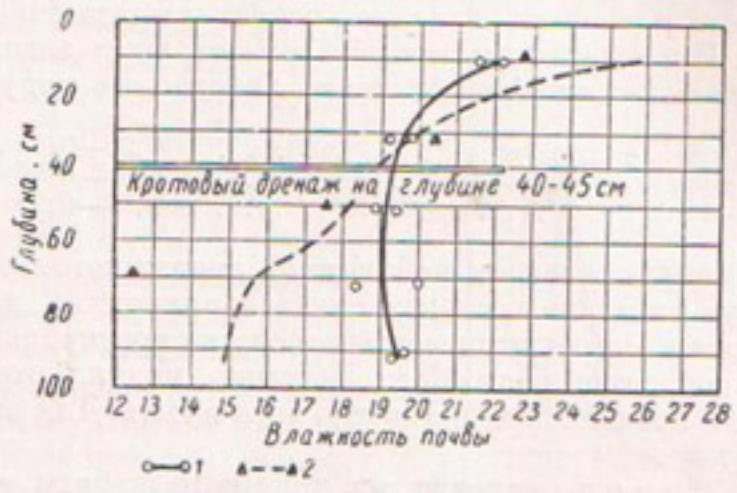


Рис. 261.

1 — кротованная почва; *2* — не кротованная почва.

пахотного слоя, а отводить его в недостаточно увлажненный подпахотный слой и аккумулировать там; для этого М. Н. Глотовым предложена система двойного кротового дренажа: глухих поперечных дрен, закладываемых поперек склона на глубине 0,7 *м* через 1—2 *м*, служащих для увлажнения подпахотного горизонта, и продольных дрен, закладываемых вдоль склона на глубине 0,40—0,45 *м* через каждые 25—30 *м* и имеющих выпуски в открытые канавы или закрытые собиратели. Эти дрены должны не допускать переувлажнения пахотного слоя, если поступающие в него воды (обильные осадки и др.) не успевают удаляться из него в подпахотный слой поперечными дренами.

РАЗМЕРЫ РЕГУЛИРУЮЩИХ ДРЕН

Размеры дрен определяются наибольшим количеством избыточных грунтовых вод, которые им приходится отводить, и нужными темпами понижения их.

Количество грунтовых вод, поступающее в регулирующую сеть с единицы площади, при данных гидрогеологических и почвенных условиях и при определенном расстоянии между дренами b зависит от напора h грунтовых вод над горизонтом воды в регулирующей дрене.

Сообразно условиям заложения дрен, эта зависимость, как было указано выше, может быть выражена в двух основных видах: $q = Ch^2$ и $q = C_1 h$, где коэффициенты C и C_1 обусловливаются свойствами грунта, глубиной водоупора, расстояниями между дренами. По наблюдениям СевНИИГиМ (Х. А. Писарьков), значения коэффициентов C и C_1 на минеральных почвах в условиях Ленинградской и смежных областей составляют $C = 0{,}24$—$0{,}45$ и $C_1 = 0{,}87$—2 (при выражении q в *л/сек* с 1 *га* и напора h в *м*) при расстояниях $d = 10$—30 *м*.

Величина h изменяется во времени под влиянием не только действия дрен, но и климатических факторов — осадков и испарения, а следовательно, изменяется и величина q. При питании грунтовых вод за счет просачивающихся в почву атмосферных осадков максимальный приток воды в регулирующие дрены начинается обычно спустя 3—10 часов после выпадения осадков, когда уровень грунтовых вод над плоскостью дрен становится наиболее высоким; чаще это наблюдается осенью; а затем, по мере уменьшения величины h,

уменьшается и q. Осадки и испарение, повышая или понижая h, обусловливают значительные колебания величины q.

При меняющихся значениях внутреннего стока за расчетное при определении пропускной способности регулирующих дрен должно быть принято то значение, которое позволяет достаточно быстро удалять из осушаемой почвы *избытки* влаги, получающиеся в результате притока грунтовых вод или обильного просачивания в почву осадков или талых весенних вод; это устраняет наиболее высокие подъемы (пики) грунтовых вод и поддерживает на осушаемой площади *нужный режим влажности* в тот период, который важен по условиям сельскохозяйственного использования этой площади: для полей — после весеннего паводка, чтобы достаточно осушить почву к началу посева. Имеющиеся данные показывают, что в зависимости от почвенных и климатических условий значения дренажного модуля колеблются:

для тяжелых глинистых почв	0,30—0,50	*л/сек* с 1 *га*
» средних почв	0,40—0,65	» » 1 »
» легких »	0,60—0,90	» » 1 »

Однако данные фактических наблюдений дренажного стока не многочисленны и не могут охватить всех тех случаев природных и хозяйственных условий, с которыми приходится встречаться при проектировании дренажа. Поэтому к установлению расчетного значения модуля дренажного стока часто приходится подходить и аналитическим путем. Для этого могут быть приняты два метода.

Первый метод исходит из динамики работы дрен и нужных при данных сельскохозяйственных и гидрогеологических условиях темпах понижения уровня грунтовых вод на осушаемой площади. В зависимости от этих условий и питания грунтовых вод, согласно вышеизложенному, могут быть определены: а) приток грунтовых вод в дрену на единицу длины ее (q *л/сек*) и б) расстояния между дренами b. Тогда дренажный сток с 1 *га* составит величину, равную $q_0 = \frac{q10^4}{b}$ *л/сек* с 1 *га*. При этом могут быть найдены и размеры колебаний этой величины q_0 в зависимости от изменений режима грунтовых вод. Этот метод может быть применен при различных условиях питания грунтовых вод на данной осушаемой площади.

Второй метод исходит из динамики питания грунтовых вод за счет просачивания в почву атмосферных осадков и применим при этом типе питания грунтовых вод на данной осушаемой площади.

Положим, что за период времени t суток поступает количество осадков, равное P *мм*. Из этого количества σP стекает по поверхности, остальное $P(1-\sigma) = P\eta$ остается и просачивается в почву. Коэффициент поглощения η, равный единице минус коэффициент стока, изменяется в широких пределах от 0,1 до 0,9; меньшая величина относится к талым весенним и летним ливневым водам. Остающаяся на поверхности часть осадков испаряется (почвой и растительным покровом) и просачивается в почву, причем не вся просочившаяся в почву вода поступает в дрены: часть воды увеличивает влажность почвы, и только то количество, что не удерживается почвой, поступает в регулирующую сеть.

Если потенциальная влагоемкость данной почвы равна $\varrho\%$ (приближенно эта величина составляет 0,70—0,85 полной скважности данной почвы), а наличная влажность почвы в рассматриваемый момент времени составляет $r\%$, то при глубине дренируемого слоя в H *м* объем воды, задерживающийся в слое почвы H для насыщения его до потенциальной влагоемкости, будет равен $100\,H\,(\varrho - r)$ *м*^{3}. Следовательно, в дрены может поступить количество воды, равное разности:

$$10\,P\eta - 100\,H\,(\varrho - r)\ м^3.$$

Это количество воды будет отводиться дренажем в течение βt суток, где коэффициент β зависит от скорости просачивания воды в почву при дан-

ной степени осушения. Таким образом, в 1 сек. в среднем за период t в дренаж будет поступать количество воды, равное:

$$q_0 = \frac{P\eta - 10H(\varrho - r)}{8{,}64\beta t} = \frac{P\eta\alpha}{8{,}64\beta t} л/сек \text{ с } 1\ га,$$

где $\alpha = 1 - \frac{10H(\varrho - r)}{P\eta}$; P — выражено в *мм*; α и η — в десятых долях; t — в сутках.

Коэффициент α можно назвать дренажным коэффициентом просачивания: он показывает отношение между количеством осадков, просачивающихся в дренаж и впитавшихся в почву. Он зависит от двух главных факторов: 1) сухости почвы и времени года: чем меньше r, тем меньше воды поступит в дренаж, и 2) от влагоемкости данной почвы ϱ.

Когда величина $10H(\varrho - r) > P\eta$, *вода в дренаж не будет поступать.* Значение коэффициента α на практике для разных почв и времени года может быть определено путем соответствующих лизиметрических наблюдений. Эти наблюдения исключают сток и потому дают коэффициент просачивания по отношению к P, а не $P\eta$, т. е. несколько преувеличенный.

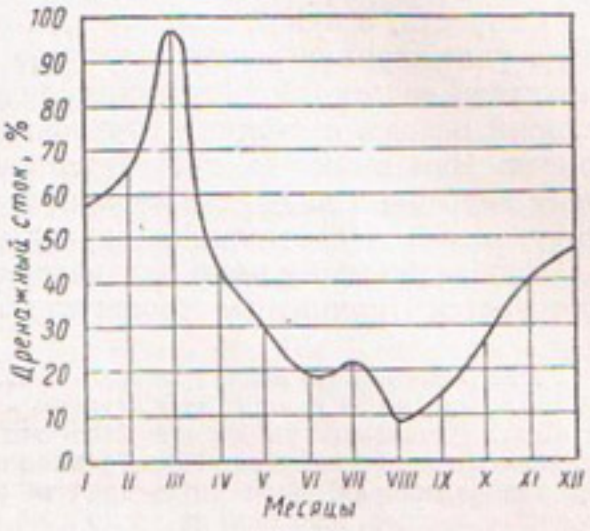


Рис. 262.

Данные о значениях α при разных условиях собраны в книге автора «Основные элементы расчета осушительных систем» (М., 1916). Приведем среднемесячные ориентировочные значения α для минеральных и торфяных почв, выраженные в процентах (табл. 79).

Таблица 79

Месяцы	Почвы		Месяцы	Почвы	
	минеральные	торфяные		минеральные	торфяные
Январь	57	80	Июль	20	11
Февраль	66	96	Август	8	12
Март	97	100	Сентябрь	14	19
Апрель	43	57	Октябрь	27	43
Май	30	35	Ноябрь	39	37
Июнь	22	10	Декабрь	47	60

Как видно из данных таблицы 79, величина α больше весной, затем падает, достигая минимума в конце лета.

Весной почва насыщена влагой, испарение сравнительно невелико, и потому почти вся вода весенних осадков за вычетом стока просачивается в дренаж. Наоборот, в конце лета почва сильно иссушена и почти вся вода выпадающих осадков расходуется на испарение и на поглощение самой почвой.

Кривая на рисунке 262 показывает колебания коэффициента α для минеральных почв.

Если принять за величину P месячное количество осадков и t — число дней с осадками в соответствующем месяце, то величина $\frac{P}{t} = p$ дает

среднюю суточную интенсивность осадков. При расчете на отвод весенних вод P есть сумма осадков к началу таяния, t — длина периода таяния и p — средняя интенсивность таяния.

Принимая, что суточное количество осадков, за вычетом стока и поглощения почвой, должно удаляться в течение суток, получим следующее значение дренажного модуля:

$$q_0 = \frac{P\eta\alpha}{\beta t 864} = \frac{p\eta\alpha}{864\beta}\ л/сек \text{ с } 1\ га.$$

Коэффициент $\beta \leqslant 1$ отражает поправку на ускорение отвода, просачивающегося в дрены суточного количества осадков ($p\eta\alpha$); α — в %, p — в *мм/сут*.

Скорость, с какой должны удаляться осадки $p\eta$, поступающие в избыточно увлажненную почву и идущие на питание грунтовых вод, зависит от характера сельскохозяйственного использования осушаемой площади, от условий погоды и стояния грунтовых вод на осушаемой площади в данный момент. Чем культура требовательнее к воде, чем суше погода, чем ниже стоят грунтовые воды, тем медленнее надо удалять воду и вовсе прекращать это удаление в засушливые периоды.

Сообразно этому расчетное значение дренажного модуля повышается или понижается (принятием соответствующего значения β).

Для расчета надо взять среднюю наибольшую суточную интенсивность просачивания воды в почву $p\eta\alpha$ за критические периоды года и сельскохозяйственного сезона для данной площади. Интенсивность должна быть выведена из продолжительных (не менее 10 лет) метеорологических наблюдений для данной местности. Надо определить значения: 1) средней наибольшей суточной интенсивности осадков для разных месяцев, равной сумме месячных осадков, деленной на число дней с осадками в данном месяце; 2) средней наибольшей суточной интенсивности таяния, равной сумме зимних осадков, деленной на продолжительность периода таяния в данном году, так как внутренний сток зимних осадков происходит у нас весной, главным образом после оттаивания почвы. Расчет на интенсивность ливней можно не делать, так как ливни наблюдаются сравнительно редко и расчет на них дал бы совершенно неэкономичное сечение осушительной сети.

Затем надо установить значения коэффициентов поглощения η и просачивания осадков α для соответствующих месяцев с учетом влияния структуры почв. Комковатая структура почвы повышает значения коэффициента η и оказывает таким образом влияние на значение q_0. Коэффициенты η и α изменяются во времени[1]. В результате для каждого месяца, а также для весеннего периода должны быть установлены максимальные значения $p\eta\alpha$ (за весь цикл рассмотренных годов).

Наибольшее из них берется за расчетное. Наибольшее значение q часто имеет место поздней осенью (малые испарение и сток и большое поглощение), а иногда и весной (большие значения α и p, но малые η).

При определении расчетной величины дренажного модуля стока Х. А. Писарьков считает необходимым исходить из нужной при данных сельскохозяйственных условиях скорости понижения грунтовых вод (например, 20 *см* в сутки) и удельной водоотдачи данного грунта δ в долях объема.

Тогда

$$q_0 = \frac{200\ \delta}{8{,}64}\ л/сек \text{ с } 1\ га.$$

Питание и подъем уровня грунтовых вод на осушаемой площади могут происходить не только под влиянием просачивания атмосферных осадков, но и в силу поступления грунтовых вод на данную площадь извне (приток грунтовых вод с соседних вышележащих площадей, поступление напорных подземных вод снизу, инфильтрация вод из водохранилищ или рек при высоком стоянии горизонта воды в них и др.).

В этих случаях размер дренажного модуля определяется величиной внешнего притока грунтовых вод, приходящегося на 1 *га* данной площади, т. е.

---

[1] Величина $\eta = 1 - \sigma$ изменяется во времени, потому что коэффициент стока σ весной достигает максимума, к концу же лета и зимой он падает; кроме того, значение σ изменяется вместе с количеством осадков (чем больше количество стекающих осадков, тем больше значение σ). *Прим. автора.*

$q_0 = \frac{Q}{\omega}$, причем приток грунтовых вод Q на данную площадь ω должен быть определен на основании соответствующих гидрогеологических исследований; величина q_0 в этих случаях может доходить до 1,0 — 2,0 *л/сек* с 1 *га* и выше.

Установив значение модуля внутреннего стока для данных условий q_0 и зная величину площади, обслуживаемой каждой регулирующей дреной ω, получим тот секундный расход воды, на который должна быть рассчитана пропускная способность дрены: $Q = q_0\omega$ *л/сек*.

3. РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Когда источником водного питания заболоченных земель являются избыточные поверхностные воды (продолжительные дожди, талые весенние воды и т. п.), действие регулирующей сети должно быть направлено на перехватывание стока этих вод с таким расчетом, чтобы стекание их (после окончания выпадения осадков) с осушаемой площади продолжалось не дольше известного допустимого времени. Это время определяется в зависимости от характера использования осушаемой площади, степени допустимого увлажнения почвы, затопления растений и др.

В этом случае регулирующая сеть может быть как открытой, так и закрытой. Если по гидрологическим условиям стока и хозяйственным требованиям регулирующая сеть должна быть довольно частой, то в целях удобств механизации сельскохозяйственных работ ее делают или закрытой, с заполнением траншей фильтрующим материалом, позволяющим поверхностным водам проникать сверху, или же открытой временной, в виде глубоких борозд, ежегодно нарезаемых и заравниваемых (перед обработкой или уборкой), или, наконец, в виде проходимых сельскохозяйственными машинами открытых канав или борозд. При осушении лугов и лесов применимы постоянные открытые каналы. Перехватывающие сток регулирующие устройства должны быть расположены нормально к направлению стока и на определенных расстояниях друг от друга.

Если принять, что вода стекает тонким слоем, то скорость стока в расстоянии x от верха водосбора v_x может быть выражена уравнением: $v_x = C_1\sqrt{yI}$, где y — толщина слоя воды в расстоянии x от верха водосбора; I — уклон поверхности.

Так как $R = y$, то, согласно предыдущему (стр. 89), пользуясь формулой Базена и имея в виду, что $\frac{\gamma}{\sqrt{y}} \gg 1$, можно принять:

$$C_1 = \frac{87}{\gamma}\sqrt{y} = \alpha\sqrt{y},$$

откуда получим:

$$v_x = \alpha\sqrt{y}\ \sqrt{yI} = \alpha y\ \sqrt{I} = Cy,$$

где $C = \alpha\sqrt{I}$ — коэффициент, характеризующий уклон и шероховатость поверхности водосбора.

В период выпадения осадков (или таяния) между двумя смежными сечениями x и $x + dx$ происходит: 1) поглощение воды на длине dx и 2) приращение расхода вследствие прибавления осадков, выпавших на этой длине. Рассматривая продольную полосу шириной, равной единице, получим изменение расхода:

$$\frac{dQ}{dx} = h - k,$$

где h — слой выпадающих осадков в единицу времени;
k — поглощение воды в почву в единицу времени.

Подставляя в это уравнение значение:

$$Q = v_x \omega = Cy \cdot y1 = Cy^2,$$

получим

$$2Cy\,dy = (h-k)\,dx.$$

Интегрируя это уравнение, будем иметь:

$$Cy^2 = (h-k)\,x,$$

откуда получим:

$$y = \sqrt{\frac{x}{C}(h-k)} \text{ и } v_x = Cy = \sqrt{Cx\,(h-k)}.$$

Подставляя $C = \alpha \sqrt{I}$, получим:

$$v_x = \sqrt{\alpha x\,(h-k)\,\sqrt{I}},$$

что подтверждается и полевыми опытами[1].

Величины y и v_x дают значения толщины слоя и скорости стекающей воды в сечении x (от верха водосбора) в период выпадения осадков. Продолжительность стекания выпадающих осадков на расстоянии x от верха водосбора (время добегания) определится таким образом:

$$t_x = \int \frac{dx}{v_x} = \int \frac{dx}{\sqrt{Cx\,(h-k)}} = 2\sqrt{\frac{x}{C\,(h-k)}}.$$

И, следовательно, средняя скорость стекания воды во время выпадения осадков составит:

$$\frac{x}{t_x} = 0{,}5\sqrt{Cx\,(h-k)}.$$

В этих выражениях величина k есть средняя скорость поглощения воды в почву за время прохождения воды на длине x за время t_x[2].

Если длина склона равна l, то время добегания осадков от верха склона до конца его будет равно:

$$\frac{l}{v} = 2\sqrt{\frac{l}{C\,(h-k)}}.$$

Если продолжительность выпадения осадков t равна времени добегания $\frac{l}{v}$, т. е. $t = \frac{l}{v}$, то в момент окончания осадков сток достигнет наибольшей величины $q_{max} = Cy^2 = l\,(h-k)$ и сейчас же начнет уменьшаться. В момент t на склоне l останется объем воды, равный $\frac{2}{3}ly$, на единицу ширины, где $y = \sqrt{\frac{l(h-k)}{C}}$. Этот объем воды стечет за время T (после прекращения осадков), которое определится из следующего балансового уравнения:

$$\frac{2}{3}ly = T\,(q + k_1 l),$$

где q — средний за время T сток воды со склона на единицу ширины;

---

[1] Приведенные соображения относятся к установившемуся движению (при длительном выпадении осадков).

[2] Если принять $v_x = Cy^{0,7}$ (вместо $v_x = Cy$), то получим следующие приближенные выражения:

$y = \left[\frac{x}{C}(h-k)\right]^{0,6}$, $v_x = C^{0,6}x^{0,4}(h-k)^{0,4}$ и $t_x = 1{,}7\,\frac{x^{0,6}}{C^{0,6}(h-k)^{0,4}}$. *Прим. автора.*

k_1 — поглощение в почву оставшейся на склоне воды после прекращения осадков[1].

Средний слой стекающей по склону воды после прекращения осадков по наблюдениям можно принять равным:

$$y_0 = 0{,}5\sqrt{\frac{i}{C}(h-k)^n},$$

где $n < 1$ и, следовательно, $q = Cy_0^2 = \frac{i}{4}(h-k)^n$. Подставляя значения q и y в предыдущее уравнение и делая необходимые преобразования, получим:

$$T = \frac{\frac{8}{3}\sqrt{\frac{i}{C}(h-k)^n}}{(h-k)^n + 4k_1} = \frac{\frac{4}{3}\frac{l}{v}(h-k)}{(h-k)^n + 4k_1}.$$

Если продолжительность выпадения осадков больше времени добегания $t > \frac{l}{v}$, то в момент добегания сток достигнет наибольшей величины $q_{max} = (Cy^2) = i(h-k)$; с этой величиной сток будет продолжаться до конца выпадения осадков, т. е. в течение времени $t - \frac{l}{v}$, после чего сток начнет убывать и спустя время T после окончания осадков прекратится совсем.

Общий баланс воды на склоне при $t > \frac{l}{v}$ за все время $t+T$ от начала осадков до полного прекращения стока сложится следующим образом:

$$\frac{l}{v}\frac{2}{3}Cy^2 + \left(t - \frac{l}{v}\right)Cy^2 + T\left[\frac{i}{4}(h-k)^n + k_1 l\right] = lt(h-k).$$

В левой части уравнения первый член выражает сток за время, равное времени добегания $\left(\frac{l}{v}\right)$, которое меньше продолжительности дождя t, причем средний расход воды за этот период принят равным $\frac{2}{3}q_{макс}$; второй член представляет сток с максимальным расходом $q_{макс}$ за время $\left(t - \frac{l}{v}\right)$ до момента окончания дождя; третий член равен объему стока и впитывания за время T после окончания дождя. Продолжительность стока T после прекращения осадков в этом случае будет та же, что и в первом случае (см. выше).

Если продолжительность выпадения осадков t меньше времени добегания, т. е. $t < \frac{l}{v}$, то в момент t окончания осадков длина добегания будет равна $x < l$, сток достигнет наибольшей величины $Cy^2 = (h-k)\,tv$.

Средний расход стока по окончании осадков в этом случае при $t < \frac{l}{v}$ будет равен $q = \frac{tv}{4}(h-k)^n$. Продолжительность стока T по окончании осадков определится из следующего балансового уравнения:

$$t\frac{2}{3}Cy^2 + T\left[\frac{tv}{4}(h-k)^n + k_1 l\right] = tl(h-k),$$

откуда после подстановки значения:

$$y = \sqrt{\frac{tv}{C}(h-k)}$$

---

[1] В левой части уравнения — объем воды, накопившейся на поверхности земли, равный

$$\int_0^t y\,dx = \sqrt{C(h-k)}\int_0^l \sqrt{x}\,dx = \frac{2}{3}ly.$$

получим:

$$T=\frac{4\,\frac{l}{v}\,(h-k)\left(1-\frac{2}{3}\,\varphi\right)}{(h-k)^n+\frac{4k_1}{\varphi}}=\frac{\frac{8}{3}\sqrt{\frac{l}{C\varphi}\,(h-k)\,(3-2\varphi)}}{(h-k)^n+\frac{4k_1}{\varphi}},$$

где φ — коэффициент запаздывания стока, равный отношению $\frac{tv}{l}$; при $t<\frac{l}{v}$ значение $\varphi<1$; при $t>\frac{l}{v}$ значение $\varphi=1$, так как он не может быть больше единицы и, следовательно, величина T определяется той же формулой, что и при $t=\frac{l}{v}$ (см. стр. 431)[1].

Из полученных выражений для T видно, что продолжительность стока после прекращения осадков тем больше, чем больше длина склона l, т. е. расстояние между регулирующими каналами или бороздами, и чем меньше скорость стекания воды по склону v; обработка почвы по уклону увеличивает скорость v, но при значительных уклонах может повлечь эрозию и обеднение почвы питательными веществами. Продолжительность стекания T увеличивается также с увеличением шероховатости поверхности и с уменьшением водопроницаемости почвы k, k_1 и уклона.

Величины k и k_1 — средние скорости поглощения воды в почву за время t и T; чем больше продолжительность выпадения осадков t и стока T, тем меньше значения k и k_1 (при прочих одинаковых условиях). При ливневых дождях интенсивность их h и продолжительность t находятся обычно в обратной зависимости.

Разделяя осушаемый склон регулирующими элементами на отдельные водосборные площадки длиной l (по уклону), можно влиять на продолжительность стока по поверхности после окончания осадков и, следовательно, на степень увлажнения почвы или затопления данной площади.

РАСПОЛОЖЕНИЕ И РАЗМЕРЫ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СЕТИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Чем меньше расстояния между элементами регулирующей сети, тем быстрее (при прочих одинаковых условиях) удаляются с осушаемой площади поступающие на нее поверхностные воды; поэтому указанные расстояния должны быть определены, исходя из условия, чтобы воды атмосферных осадков, остающиеся на осушаемой площади после выпадения дождей или весеннего таяния, не задерживались, а стекали бы с нее в течение определенного времени, допустимого по условиям сельскохозяйственного использования этой площади.

Из выведенного выше (стр. 431) выражения для продолжительности стока на водосборе следует, что при расстоянии между регулирующими элементами (т. е. длине водосбора) l продолжительность стока на этой длине после окончания осадков равна:

$$T=\frac{2{,}67\sqrt{\frac{l}{C}\,(h-k)}}{(h-k)^n+4k_1},$$

где $n\simeq 0{,}75$.

Из этого выражения можно получить то расстояние l между регулирующими элементами, при котором продолжительность стока воды, оставшейся

[1] Во всех приведенных формулах неустановившееся движение заменяется установившимся, осредненным для отдельных периодов. Учитывая слабую изученность элементарного поверхностного стока и характеристик, его определяющих (таких как C, k, k_1), указанные допущения можно принять для первого приближения.

на водосборе после окончания осадков, будет равна T, именно[1]:

$$l = \frac{CT^2\,[(h-k)^{0,75} + 4k]^2}{7{,}1\,(h-k)}.$$

Обозначая $(h-k) = \sigma h$, выражая T в часах, интенсивность осадков и поглощения воды в почву k и k_1 в *мм/час* и вводя коэффициенты перевода мер, получим следующее выражение расстояния между элементами регулирующей сети при ускорении поверхностного стока (при $n = 0{,}75$):

$$l = \frac{0{,}5\,CT^2\,[43{,}5\,(\sigma h)^{0,75} + 4k_1]^2}{\sigma h}.$$

Продолжительность стока с длины водосбора l уменьшается, если обработка почвы на нем ведется по уклону (вследствие увеличения скорости стока $\sqrt{I}$ и коэффициент (2,67) в вышеприведенной формуле для T может быть уменьшен. Поэтому на полях при продольной обработке их по уклону расстояние между осушителями l может быть больше, т. е. значение коэффициента 0,5 в вышеприведенной формуле для l может быть увеличено (на 20—30%) в зависимости от рельефа и качества обработки.

Уклон и шероховатость поверхности водосбора в этом выражении характеризуются значением коэффициента $C = \alpha\sqrt{I}$ (стр. 430). Имеющиеся определения коэффициента шероховатости для сильно заросших русел и речных пойм показывают, что значения его в этих условиях составляют от 0,08 до 0,20 (в формуле Н. Н. Павловского)[2].

При этих значениях шероховатости коэффициент C равен от $20\sqrt{I}$ до $10\sqrt{I}$. При очень шероховатых поверхностях (например, кочковатые болота) значение коэффициента C может быть и меньше.

Значение коэффициента $\sigma = 1 - \frac{k}{h}$, где k — средняя за время t скорость поглощения воды в почву; с увеличением продолжительности осадков t значение k уменьшается, а коэффициент σ возрастает. Коэффициент k_1 характеризует среднюю скорость поглощения воды в почву в течение периода T.

Обеспечение комковатой структуры почв увеличивает поглощение влаги почвой и потому позволяет увеличивать расстояние l.

Б. Г. Гейтманом дана следующая формула расстояний между каналами для ускорения поверхностного стока:

$$l = \frac{8{,}1AT^2C}{\operatorname{arctg}^2\sqrt{\frac{h}{A}}}\ м,$$

где h — интенсивность осадков, в *мм/час*;
A — потери на испарение и просачивание, в *мм/час*;
T — время стока в часах;
C — коэффициент, зависящий от уклона и шероховатости, равный $\alpha\sqrt{I}$.

Отметим также формулу, предложенную А. Д. Дубахом[3]:

$$l = \frac{24T\sqrt{I}}{n}\left[\frac{(\sigma H)^{2/3}}{(\sigma H)^{2/3} - 1}\right] м.$$

---

[1] Отметим, что коэффициент C имеет здесь размерность $\frac{1}{сек}$, в отличие от коэффициента в формуле квадратичного сопротивления C_1, имеющего размерность $\frac{м^{0,5}}{сек}$ (см. стр. 430).

[2] По полевым исследованиям Д. П. Юневича при стоке малым слоем с поверхности луга значения n в показательных формулах вида $C = \frac{1}{n}R^y$ достигают величин $n = 0{,}80$—2,3 (Д. П. Юневич. Мелиорация минеральных заболоченных земель. СХГ, М., 1948, стр. 36).

[3] При выводе формулы весьма условно принято, что сток прекращается при толщине слоя воды 1 *мм* (А. Д. Дубах. Гидротехнические мелиорации лесных земель. Гослестехиздат, М, 1945, стр. 137).

В этой формуле l — расстояние между каналами, в *м*; T — время отвода воды с осушаемой площади, в часах; σ — коэффициент стока; I — уклон поверхности; n — коэффициент шероховатости ее (по Куттеру); H — слой воды к моменту окончания дождя, в *мм*; $H = 0{,}65\,ht$; t — продолжительность дождя в часах; h — интенсивность дождя, в *мм/час*.

Допустимая продолжительность стока воды на осушаемой площади после прекращения осадков T зависит от характера сельскохозяйственного использования площади.

При расчете расстояний между каналами на лугах и сенокосах надо исходить из наибольших летних осадков, так как временное затопление лугов полыми весенними водами допустимо.

При осушении полей расчеты необходимо вести: на летние наибольшие осадки, исходя из условия незатопляемости культур, а также на весенние полые воды — освобождение полей от воды к началу полевых работ и незатопляемость озимых культур.

Влияние продолжительности стока после окончания осадков (величины T) на насыщение водой активного слоя почвы зависит от следующих условий.

Поглощение воды в почву за время стока после окончания осадков равно:

$$k_0[(t+T)^{1-a} - t^{1-a}],$$

а поглощение за время выпадения осадков $k_0 t^{1-a}$. Таким образом, отношение поглощения влаги за время T к поглощению за время выпадения осадков равно:

$$\left[\left(1+\frac{T}{t}\right)^{1-a} - 1\right],$$

откуда следует, что поглощение возрастает с увеличением T или длины водосбора l и с уменьшением скорости стока v или уклона и увеличением шероховатости поверхности водосбора. Кроме того, часть выпадающих осадков при неровном микрорельефе водосбора застаивается в низинках, не стекает и поглощается почвой (после прекращения стока). Чтобы из выпадающего количества осадков ht поглощение их в почву не превышало определенной величины, допустимой по условиям насыщения данной почвы водой ηht, необходимо соблюдение следующего неравенства:

$$k_0(t+T)^{1-a} + W \leqslant \eta ht,$$

где W — средний слой воды, задерживающийся на поверхности водосбора после окончания стока (в микропонижениях поверхности), а ηht — допустимое поглощение части осадков почвой, равное разности предельно допустимой и наличной влажности активного слоя почвы (после и до выпадения осадков). Для этого нужно, чтобы продолжительность стока (после окончания осадков) T была бы не больше:

$$T = \left(\frac{\eta ht - W}{k_0}\right)^{\frac{1}{1-a}} - t.$$

Подставляя допустимое при данных условиях значение T в формулу l, приведенную на стр. 433, получим необходимое расстояние между открытыми регулирующими канавами.

Методы усиления и регулирования поверхностного стока применяются при осушении: 1) лугов и полей в тех случаях, когда избыточное увлажнение их обусловлено недостаточным стоком поверхностных вод; 2) сенокосов на болотах; 3) лесных насаждений на болотах. Если расстояния между открытыми регулирующими каналами для перехватывания поверхностного стока на полях получаются меньше допустимых по условиям механизации сельскохозяйственных работ, то вместо открытых каналов делаются или временные борозды, нарезаемые для отвода воды и заравниваемые на время механизированных сельскохозяйственных работ, или же закрытые собиратели с поверхностным заполнением.

Закрытые собиратели располагаются реже и могут служить собирателями для сети более часто расположенных временных водоотводных борозд.

Заболоченные леса обычно осушаются редкой сетью, рассчитанной по преимуществу на отвод поверхностных вод.

Осушение улучшает рост лесных насаждений не только вследствие улучшения воздушного, водного, теплового и питательного режимов почвы, но и в результате увеличения плотности и устойчивости торфа, как субстрата для правильного развития корневой

системы и устойчивости деревьев; чем скорее и легче достигается это уплотнение торфа в результате осушения, тем больше эффект осушения в смысле роста лесных насаждений. А это лучше достигается на мелких болотах и на болотах, подстилаемых песком.

На болотах, подстилаемых песком (на глубине не более 1,5 *м*), глубину каналов доводят до песка в расчете на отвод не только поверхностных, но и почвенно-грунтовых вод. На болотах, подстилаемых глинами, а также на глубоких болотах каналы рассчитывают только на отвод поверхностных вод и дают регулирующим каналам глубину 0,8—1,2 *м*

Расстояния между регулирующими каналами при осушении лесных насаждений на болотах делаются бо́льшими: 1) на низинных болотах по сравнению с верховыми сфагновыми и при увеличении степени разложения торфа; 2) на неглубоких болотах, подстилаемых песками, по сравнению с болотами, лежащими на глинах; 3) на болотах, имеющих больший уклон поверхности; при грунтовом водном питании расстояния уменьшаются.

В Технических указаниях по осушению лесных площадей Главного Управления лесного хозяйства Министерства сельского хозяйства СССР (1955) даются расстояния между осушителями для различных видов болот (атмосферного водного питания и подстилаемых глинистыми грунтами), приведенные в таблице 80.

Таблица 80

Характер болот	Мощность торфа (в *м*)	Уклон поверхности	Расстояния между осушителями (в *м*)
Осоковые и сфагново-травяные	0,5 *м* и более	0,001—0,005	150—220
		0,005—0,01	200—250
Долгомошниково-сфагновые	0,2—0,5 *м*	0,001—0,005	140—200
		0,005—0,01	180—250
Сфагновые сосняки	0,5 *м* и более	0,001—0,005	120—180
		0,005—0,01	180—200

Для болот, подстилаемых песчаными грунтами, расстояния между осушителями увеличиваются на 20—30% и более; при грунтовом водном питании болот расстояния, наоборот, уменьшаются.

Проводящие каналы на осушаемых лесных землях должны обеспечивать своевременное удаление воды, не допускать затопления лесных насаждений в течение всего их вегетационного периода. Глубину проводящих каналов принимают на 0,15—0,30 *м* больше глубины впадающих в них осушителей, причем при проектировании глубины надо учитывать осадку торфа, составляющую от 15 до 40% исходной мощности его, в зависимости от плотности строения. Расстояния между проводящими каналами в лесах составляют от 400—500 до 800—1000 *м* и более, в зависимости от характера болот, рельефа и хозяйственных условий. Проводящая сеть при осушении лесов, по возможности, согласуется с квартальными просеками.

Размеры регулирующей сети, рассчитанной на ускорение стока поверхностных вод, определяются сообразно значению модуля стока q с единицы площади, зависящему от интенсивности осадков, поглощения воды в почву, от уклона поверхности, расстояний между каналами l и величины площади обслуживания каждого канала, равной произведению длины канала L на расстояние l.

Согласно изложенному выше, значение модуля стока (с единицы площади $L \cdot l$) в общем виде может быть выражено:

$$q = (h - k)\frac{tv}{l};$$

при $t > \frac{l}{v}$ принимается значение $\frac{tv}{l} = 1$; при $t < \frac{l}{v}$ значение $\frac{tv}{l} < 1$.

Таким образом, расчетный расход для определения пропускной способности каналов, регулирующих поверхностный сток, равен:

$$Q = Ll\,(h - k)\frac{tv}{l}.$$

Глубина каналов, регулирующих поверхностный сток, определяется гидравлическими и конструктивными соображениями и может быть сравнительно небольшой, поэтому при малых l они могут делаться в виде временных борозд.

4. УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Регулирующая осушительная сеть, как было уже сказано, бывает открытой — при осушении лугов и лесов, и закрытой или временной — на полях, чтобы не стеснять механизации сельскохозяйственных работ на осушенных землях и не терять полезной площади под каналы. Закрытая сеть делается в виде дрен для удаления излишних почвенно-грунтовых вод или в виде так называемых закрытых пористых собирателей для отвода поверхностных вод. Временная осушительная сеть для удаления поверхностных вод делается открытой, в виде временных осушителей — канав или борозд, нарезаемых и заравниваемых в зависимости от срока механизированных сельскохозяйственных работ, или же в виде кротовых дрен, прокладываемых при помощи особых машин. Основные виды регулирующей осушительной сети перечислены в таблице 81.

Таблица 81

Виды регулирующей сети	Регулирование почвенно-грунтовых вод	Регулирование поверхностного стока
Временная	Кротовые дрены	Временные осушители
Закрытая	Траншейный дренаж	Закрытые собиратели

Открытые осушительные каналы или борозды быстрее отводят поверхностный сток, не давая образоваться застоям воды; устройство их возможно при меньших уклонах местности, они более доступны для осмотра, обычно дешевле, чем закрытые, на единицу площади, но в качестве постоянных они допустимы только в том случае, если расстояния между ними не стесняют механизации сельскохозяйственных работ.

Влияние расстояний между открытыми канавами на затрату времени для тракторной обработки осушаемой почвы примерно следующее.

Расстояния (в *м*)	250	200	150	100	75	50	25
Затрата времени (в %)	100	110	125	135	150	165	200

Отсюда видно, что допустимые по условиям механизации сельскохозяйственных работ расстояния между постоянными открытыми осушительными каналами должны быть не меньше 200 *м*. Такие расстояния между регулирующими каналами возможны при осушении лесов и на лугах с очень проницаемыми почвами. При осушении же большинства сельскохозяйственных угодий расстояния между регулирующими каналами должны быть меньше и потому в крупном механизированном хозяйстве открытый (в виде постоянных каналов) может быть только проводящая, сравнительно глубокая и редко расположенная сеть водоотводных каналов, служащих коллекторами для закрытой или временной регулирующей сети, расположенной между ними. Для регулирования же грунтовых вод сеть делается закрытой в виде дренажа, а для регулирования поверхностного стока — в виде закрытых собирателей или же временных, ежегодно нарезаемых и заравниваемых канав либо борозд-осушителей.

Таким образом—современная осушительная система, рассчитанная на возможность широкой механизации сельскохозяйственных работ, состоит из достаточно глубоких, но редких открытых проводящих каналов и впадающей в нее закрытой или временной регулирующей сети.

Определение необходимых расстояний между регулирующими канавами и дренами было рассмотрено выше.

Длина регулирующих канав, борозд или дрен при трассировании их в направлении горизонталей местности определяется из условий обеспечения: а) надлежащего уклона и нужной скорости течения воды; б) равномерных и возможно постоянных глубин и сечений по длине канала и в) наивыгоднейшей работы тракторов и сельскохозяйственных машин.

Так как количество воды, поступающей в регулирующий канал (или дрену), прямо пропорционально длине его, то условие постоянства глубины и сечения регулирующего канала (или дрены) по длине ограничивает возможность увеличения последней: именно длина L не должна превышать величины $\frac{F \cdot v}{q}$, где F — наибольшее принятое живое сечение канала (или дрены), v — допустимая скорость движения воды в нем и q — сток на единицу длины канала (или дрены). Таким образом, длина канала (или дрены) L может быть тем больше, чем больше принятые размеры живого сечения F и чем меньше значение модуля стока на единицу длины.

Для каналов, регулирующих поверхностный сток, допустимое F больше, чем для каналов, регулирующих уровень почвенно-грунтовых вод, и потому длина L при этих формах осушения может доходить до 1,5—2 *км*. В целях удобств механизации длина должна быть не меньше 600—800 *м*.

При дренаже $F = \frac{\pi d^2}{4}$, где d — диаметр дрены и потому длина регулирующих дрен $L = \frac{\pi d^2 v}{4 \cdot q_0 b}$, где q_0 — модуль внутреннего стока, b — расстояние между дренами.

По этому уравнению длина дренажных линий обычно получается от 150 до 300 *м*. Длина коллекторов допускается до 1000 *м*.

Кроме перечисленных факторов, длина регулирующих каналов или дрен сильно зависит от рельефа местности. Регулирующие каналы или дрены трассируются в направлении горизонталей местности с нужным уклоном. Если местность по направлению канала или дрены имеет меньший уклон i, чем нужный уклон их по гидравлическому расчету I, т. е. $i < I$, необходимо создать искусственное падение дна, равное $h = L(I - i)$, и, следовательно, на такую величину возрастает неравномерность глубины каналов или дрен по длине. Поэтому если не допускать указанную неравномерность больше известного предела (например, $h = 0{,}30 - 0{,}40$ *м*), то допустимая длина регулирующих каналов должна быть не больше $L \leqslant \frac{h}{I - i}$ *м*.

Если рельеф местности по длине канала или дрены очень неровный, длину их, чтобы выдержать более или менее равномерную глубину, приходится укорачивать.

ОТКРЫТАЯ РЕГУЛИРУЮЩАЯ СЕТЬ

Открытая регулирующая сеть служит главным образом для регулирования стока избыточных поверхностных вод; постоянные каналы для регулирования поверхностного стока на лугах и пастбищах и при осушении лесов могут быть открытыми. На полях же регулирующую сеть для поверхностного стока в большинстве случаев приходится делать или в виде закрытых собирателей, т. е. каналов с пористым заполнением, идущих поперек уклона, или же в виде временных выводных борозд, ежегодно заравниваемых (при обработке или уборке) и вновь нарезаемых для стока воды, чтобы открытая регулирующая сеть, которая на полях должна быть более частой, не препятствовала механизации сельскохозяйственных работ.

Выводные временные борозды проводятся также для отвода воды из отдельных западин рельефа. Устройство временных борозд на минеральных избыточно увлажненных почвах сочетается на полях с углублением пахотного слоя (для аккумуляции воды) и с узкозагонной вспашкой вдоль склона (для стока избытков воды). При продольном расположении борозд перехватывающие из них воду выводные борозды располагаются в поперечном направлении и соединяются с проводящими каналами непосредственно или с помощью промежуточных редких, не стесняющих механизации открытых каналов.

Расстояния между разъемными бороздами при узкозагонной вспашке принимают 12—20 *м*, в зависимости от уклона местности и степени увлажнения. Расстояния между временными открытыми канавами или поперечными

выводными бороздами делаются от 70 до 100 *м*, возрастая с увеличением уклона (примерно на 10—15 *м* на каждые 0,0005 уклона).

Расположение поверхностной регулирующей сети (выводных борозд, редких открытых каналов, пористых собирателей) тесно связано с микрорельефом осушаемой местности, исходя из задачи ликвидировать поверхностные застои воды (сверх необходимой и достаточной аккумуляции влаги в пахотном слое).

Водоотводные борозды и открытые неглубокие каналы на заболоченных лугах делают канавокопателями или другими машинами, с шириной по дну 0,20—0,30 *м*, откосы принимают от половинных (в связных торфяных грунтах) и одинарных (в обычных минеральных грунтах средней вязкости) до полуторных (в легких грунтах). Вынутую землю следует разравнивать слоем 10 *см*, если она не имеет вредных для сельскохозяйственных культур веществ; в последнем случае она складывается в кавальеры, в которых делаются воронки (прорези) для стока воды. Уклон дна каналов делается 0,0003—0,0005 и не больше 0,001.



Рис. 263.

Если расположение регулирующих каналов таково, что тракторы и другие сельскохозяйственные машины должны пересекать их, то приходится делать: а) временные осушители-борозды или же засеваемые каналы с очень пологим сечением (рис. 263) (что применяют реже и лишь в прочных грунтах) или б) водопоглощающие либо так называемые закрытые собиратели, т. е. заполнять траншеи ниже пахотного слоя фильтрующим материалом, а на дно траншеи укладывать трубы. Если обработка почвы ведется вдоль склона, то машины проходят через закрытые собиратели (рис. 264). Устройство закрытых собирателей, как они были сначала предложены, показано на рисунке 265, в дальнейшем, однако, практика показала, что пористый материал интенсивно заиляется, а сама конструкция весьма дорога (особенно с привозной засыпкой); в связи с этим в настоящее время в качестве закрытых собирателей применяют траншейные дренажи (например, гончарный) с более рыхлой засыпкой.

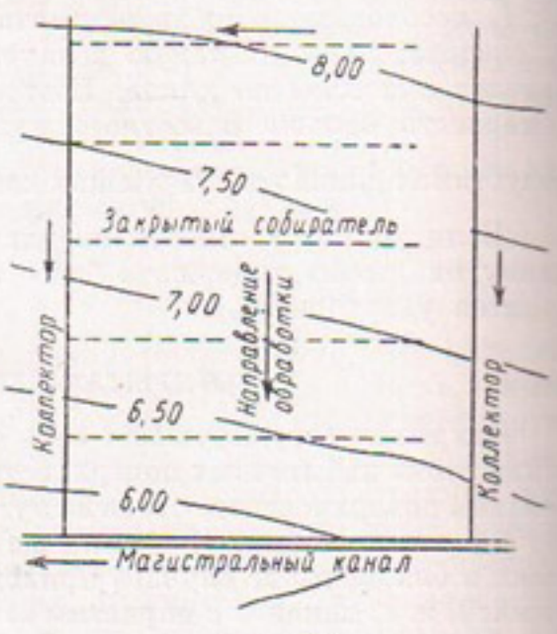


Рис. 264.

Длина регулирующих каналов определяется на основе изложенных выше принципов. Дороги для сообщения со всеми участками проводятся вдоль главных каналов.

Гидравлический расчет открытых регулирующих каналов обычно не ведется. Гидравлический расчет закрытых собирателей рассматривается ниже.

Открытая регулирующая сеть, как отмечалось выше, имеет много недостатков: стеснение механизации сельскохозяйственных работ; потери полезной площади (до 10—15%); быстрое зарастание каналов с последующим распространением сорняков на поля; более позднее начало отвода грунтовых вод весной вследствие промерзания откосов; на пастбищах открытая сеть легко повреждается животными. Дренаж работает и зимой и поддерживает в почве нужный водный, воздушный и биологический режим; особенно важно зимнее понижение грунтовых вод (на 0,7—1 *м*) на интенсивно используемых землях. Дренаж регулирует влажность почвы: понижает ее в очень влаж-

ные периоды и повышает в более сухие, отводит грунтовую воду, не отнимает площади, не препятствует механизации сельскохозяйственных работ. Но дренаж дороже, требует достаточного уклона, слабее отводит поверхностные

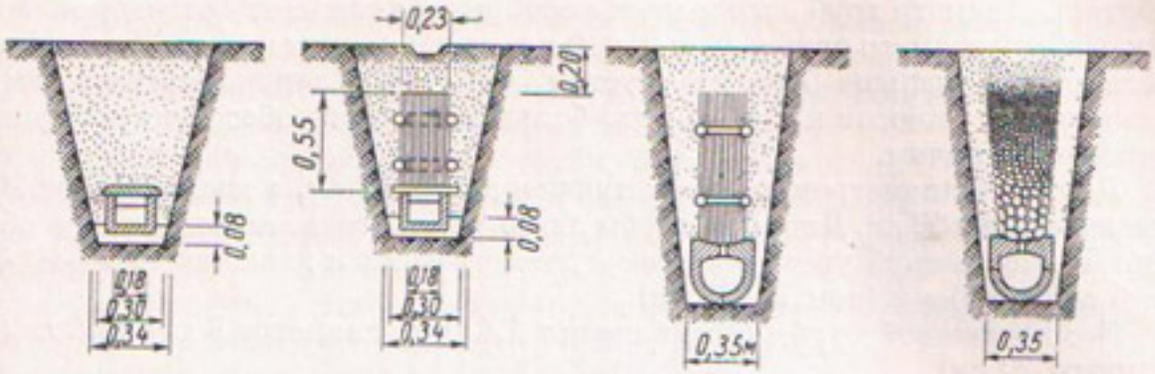


Рис. 265.

воды. Эти недостатки дренажа перекрываются его достоинствами, и потому устройство закрытой регулирующей сети, особенно на полях, имеет важнейшее значение.

ЗАКРЫТАЯ РЕГУЛИРУЮЩАЯ СЕТЬ (ДРЕНАЖ)

Закрытая регулирующая сеть — дренаж — служит главным образом для регулирования почвенно-грунтовых вод и состоит из расположенных на определенных глубине и расстояниях друг от друга подземных каналов небольшого размера, стенки которых укрепляют тем или иным материалом или оставляют земляными, но уплотненными.

В условиях крупного механизированного хозяйства дренаж является наиболее подходящим видом устройства регулирующей сети.

Регулирующие дрены впадают в проводящие, чаще открытые, достаточно глубокие и более или менее редко расположенные каналы (коллекторы).

Иногда проводящие каналы (коллекторы) для отвода избыточных грунтовых вод делаются также в виде закрытых дрен.

Проводящие глубокие закрытые или открытые коллекторы не только принимают воды, поступающие из впадающих в них регулирующих дрен, но и сами влияют на режим грунтовых вод прилежащих к ним земель на полосе определенной ширины. Влияние коллекторов на грунтовые воды происходит на основе рассмотренных выше принципов, но количественно выражается в иных размерах, вследствие большей глубины коллекторов и понижения грунтовых вод, создаваемого регулирующей сетью.

Виды дренажа

По характеру отверстия подземных каналов и их размерам дренаж можно разделить на два типа: 1) с отверстиями дрен в виде свободной воздушной полости с креплеными или некреплеными стенками; 2) с отверстиями дрен, заполненными каким-либо грубопористым водопроводящим материалом, таким как щебень, хворост и др., с последующей засыпкой траншей сверху вынутой землей.

По материалу крепления или заполнения отверстий различают дренаж гончарный, деревянный, каменный, бетонный. Земляные дрены без крепления называются «кротовыми».

Гончарный трубчатый дренаж наиболее распространен и состоит из укладываемых впритык в дренажной траншее гончарных круглых дренажных труб нужного диаметра; главное достоинство этого дренажа в его прочности (рис. 266). Причиной расстройства работы трубчатого гончарного дренажа

является обычно не порча самих труб, а сдвиги труб или заиление их отлагающимися наносами и зарастание корнями растений, вследствие незначительности отверстий. Срок службы гончарного дренажа около 40—50 лет; но известны случаи, когда гончарный дренаж, заложенный свыше 70 лет назад, исправно работает. Диаметр труб определяется сообразно количеству отводимой воды. Внутренний диаметр труб в дренажной практике принят от 5 до 25 *см* и более; диаметр труб меньше 5 *см* недопустим, вследствие закупоривания сечения отложениями наносов и потому, что больший диаметр обеспечивает лучшую вентиляцию почвы.

Для труб диаметром до 16 *см* лучшая длина 33 *см*, а диаметром от 20 *см* лучшая длина 60 *см*. Длинные трубы легче укладывать, но их труднее обжигать. Толщина труб увеличивается с диаметром их и делается от 9—10 (при $d = 5$ *см*) до 20 *мм* (при $d = 20$ *см*).

Вес дренажной трубы составляет от 1,4 (при диаметре 5 *см*) до 8 *кг* (при диаметре 20 *см*).

Дренажные трубы делаются глиняные или бетонные. Глиняные, хорошо обожженные трубы дают отличные результаты. Бетонные трубы (отношение цемента к песку от 1 : 5 до 1 : 3), несмотря на ряд достоинств (гладкость стенок, правильность размеров, крепость, изготовление на месте), все же не дали пока хороших результатов, особенно на торфяных почвах. Причины этого заключаются в разрушающем действии на бетон сернистого железа, гумусовых кислот и растворимых солей; бетон разрушается при содержании 0,1% сернокислых солей; хлориды и карбонаты менее вредны; поэтому на торфяных и на засоленных почвах бетонные трубы не рекомендуются.

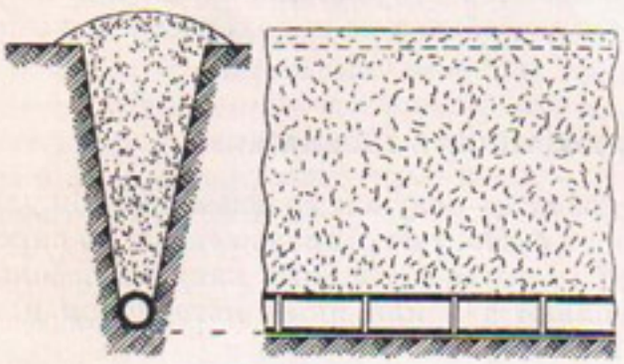


Рис. 266.

Трубы должны изготовляться из глины, не содержащей много извести и не слишком жирной. Основные требования, которые следует предъявлять к качеству труб, это: 1) равномерный излом, не содержащий камешков, гнезд, пустот; 2) хороший обжиг; узнать его можно по высокому звуку, какой должны издавать трубы при легком ударе по ним; кроме того, хорошо обожженные трубы, пролежав сутки в воде, не должны увеличиваться в весе больше чем на 10—15%; 3) гладкая внутренняя поверхность труб и правильная форма их.

Отклонения диаметра отдельных труб от среднего диаметра всей партии допускаются в размере от 50 до 70% толщины стенок труб. Высота дуги искривления не должна превышать 2—4% длины трубы.

Трубы укладываются впритык одна к другой с зазором в 0,5—1 *мм; дрены отводят воду через эти стыки, а не через стенки труб.* Площадь отверстий этих стыков по длине дрен оказывается достаточной для пропуска воды, поступающей в дрены. В самом деле, если диаметр дрены равен d, то площадь сечения трубы $\frac{\pi d^2}{4}$, толщина щели 0,5 *мм*, длина щели πd; следовательно, число стыков, дающее в сумме площадь отверстий, равную площади сечения трубы, определится из условия $\frac{\pi d^2}{4} = 0{,}5\pi dn$, откуда $n = \frac{d}{2}$ (в *мм*); это и есть то число стыков, общая пропускная способность которых равняется пропускной способности самой дрены. В действительности же число стыков по всей длине дрены будет гораздо больше.

Глубина заложения трубчатых дрен должна быть ниже горизонта промерзания (0,9—1,2 *м*) почвы в данной местности, так как замерзание и оттаивание грунта может вызвать расстройство линии труб.

Верхние концы дрен при недостаточном естественном уклоне, что часто имеет место на регулирующих дренах при поперечном расположении их, можно закладывать на несколько меньшей глубине (0,8—0,9 *м*), так как сдвиг труб в этой части дренажной линии менее опасен для всей системы.

Сопряжение боковых дрен с коллектором выполняется либо в одной плоскости, либо в разных плоскостях (рис. 267 и 268). По первому способу трубы соединяются через отверстия в трубе коллектора впритык, причем место соединения обмазывается глиной; по второму способу дрена накладывается на трубу коллектора сверху, для чего в трубах делаются отверстия; конец впадающей дрены закладывается глиной или камнем.

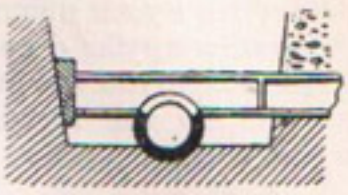


Рис. 267.

Второй способ соединения надежнее; недостаток его — потеря полезного падения, равная полусумме диаметров соединяемых труб; это вынуждает при малых уклонах обращаться к соединению в одной плоскости; в последнем случае во избежание отложения наносов следует соединять дренажные линии под углом 60—70°. При впадении в коллектор дрен с двух сторон нужно стремиться, чтобы они не входили в него в одном сечении, а чередовались.

Слабое место гончарного дренажа — заиление труб, которое зависит прежде всего от характера грунта, где заложены дрены: наиболее сильное заиление в пылеватых грунтах, имеющих свыше 40—50% пылеватых частиц (d =0,25—0,01 *мм*), а наиболее слабое — в торфяных грунтах. Заиление наиболее сильно идет в первые годы работы дрен, а затем стабилизируется.

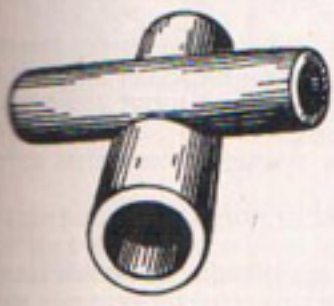


Рис. 268.

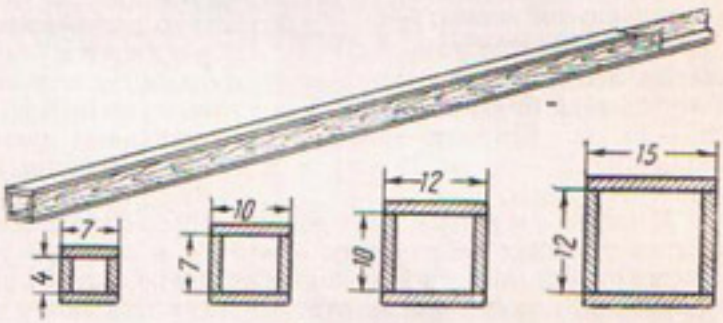


Рис. 269.

Меры борьбы с заилением дрен следующие: а) закрытие стыков труб рогожей, толем, мхом, гравием; б) проектирование надлежащих скоростей течения воды в трубах; в) недопущение застоев воды на поверхности земли над трубами.

Деревянный дренаж — трубчатый, жердяной и фашинный — применяется главным образом на торфяных почвах, где дерево дольше сохраняется благодаря консервирующему действию гумусовых кислот.

Дренаж из прямоугольных деревянных труб. Из досок толщиной 1—2 и шириной 7—15 *см* сколачивают длинные трубы прямоугольного сечения, которые укладывают на дно дренажной траншеи и перекрывают сверху дерном, а затем засыпают землей (рис. 269). В трубах остаются продольные швы, а кроме того, между верхней доской и боковыми стенками оставляют щели путем постановки прокладок через каждые 0,5 *м* по длине трубы; через эти щели и поступает вода. Трубы сколачивают во всю длину дренажных линий непрерывно на берегу траншеи и при укладке осторожно опускают в траншею. Применяется этот вид дренажа преимущественно на глубоких торфяных болотах, дающих сильную осадку. Боковые трубы с коллектором соединяются посредством наложения боковой трубы на коллекторную трубу сверху, с устройством отверстий в той и другой трубах.

Дощатый дренаж не расстраивается при замерзании и оттаивании грунта и может закладываться более мелко и со сравнительно небольшими уклонами: он хорошо сохраняется (свыше 15 лет). Ближайшие к устью трубы быстро загнивают, во избежание чего их надо смолить.

Дренаж из круглых деревянных труб. Применяются два вида труб: 1) составленные из двух половинок бревен, распиленных по длине с вырезанным желобом посредине; 2) согнутые из фанеры (толщиной 3 *мм*). Листы фанеры разрезают на куски длиной 50, шириной 25—32 *см*; эти куски пропитываются водой (в течение 6—7 часов) и затем из них сгибаются трубы с нахлесткой продольных краев на 2 *см*. Для сохранения формы на трубы (на стыках и посредине) надеваются муфты или кольца, сделанные из той же фанеры. Фанерные трубы укладываются продольным швом вниз.

Фашинный дренаж состоит в укладке фашин (одной или нескольких более мелких) на дно траншеи или на крестовины из кольев, поставленных на расстоянии около 1 *м* друг от друга по длине траншеи. Последняя конструкция применяется для увеличения площади отверстия, а также на топких грунтах для предохранения фашин от погружения. Концы фашин должны быть вдвинуты один в другой. Фашины перекрываются сверху дерном, мхом, вереском. Ширина траншей по дну делается 30—35 *см*; высота заполнения 30—35 *см*. Достоинства фашинного дренажа: 1) не требует больших затрат средств в местностях, богатых лесом; 2) не заплывает и не требует больших уклонов; 3) не расстраивается при осадке грунта и потому может закладываться более мелко и на торфяных болотах, дающих сильную осадку. Недостатком фашинного дренажа, как всякого деревянного, является его недолговечность, вследствие быстрого загнивания, особенно если дренаж работает не постоянно, подвергаясь действию то воды, то воздуха.

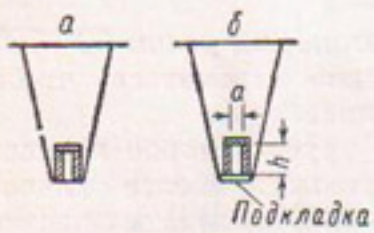


Рис. 270. Поперечное сечение деревянных дрен с открытым дном:

а—дощатой дрены без дна; *б*—то же, на подкладке.

Жердяной дренаж применяется в местностях, богатых лесом. Жерди укладывают пуками по нескольку штук, чаще на крестовины или на поперечные бруски. Жерди берут диаметром от 6 до 8 *см* и связывают в пуки диаметром в 25—30 *см*. Ширина траншеи при жердяном дренаже делается около 30 *см*, высота заполнения 25—35 *см*. И жерди и хворост (фашины) кладут в траншеи комлями вверх по течению воды.

Каменный дренаж делается: 1) со сплошным заполнением, когда предварительно вырытая траншея на глубину около 30 *см* заполняется щебнем или плитчатым камнем, а сверху перекрывается мелким щебнем и дерниной, после чего траншея засыпается вынутой землей; 2) со свободным отверстием, когда внизу траншеи (из ровных плитчатых камней) делается канал прямоугольного или треугольного (вершиной вниз) сечения, засыпаемый сверху более мелким камнем или щебнем и затем закрываемый вынутой землей. Размеры поперечного сечения каменного дренажа принимают около 0,3×0,3 *м*.

Достоинства каменного дренажа: 1) прочность, устойчивость при заложении на небольшой глубине; 2) возможность устройства большого сплошного отверстия и потому меньшая опасность заиления. Недостатки каменного дренажа: 1) дороговизна и трудность доставки большой массы камня, если его нет поблизости; 2) значительный вес и потому неприменимость на торфяных почвах.

Кроме описанных выше видов трубчатого дренажа, следует отметить также два новых вида его устройства:

а) трубчатый дренаж с открытым дном[1] (рис. 270), в котором вода поступает в дрену снизу через узкую продольную щель в дренажной трубе или же через открытые отверстия прямоугольного или треугольного деревянного или гончарного лотка, укладываемого на земляное дно траншеи (отверстием вниз). Звенья дренажного лотка делаются из досок или фрезованными из бревен. Так как вода поступает в такую дрену главным образом снизу, через дно, то водопоглощающая способность дрены должна увеличиваться, опасность заиления и закупорки дрены должна уменьшаться[2].

---

[1] Ф. В. Игнатенок. Закрытый дренаж почв. Кировское книжное издательство, 1955.

[2] Данный вид дренажа проходит испытания, дающие пока как положительные, так и отрицательные результаты.

б) дренаж из пластмассовых (бумажных, битумизированных) труб системы проф. Янерта (ГДР). Трубы изготовляются из листов поливинила и делаются круглой формы диаметром 3,5 *см* с продольной щелью в нижней стенке; они изготовляются и укладываются в траншею на глубине 0,8 *м* с помощью специальной, сконструированной проф. Янертом, машины[1] (рис. 271).

Кротовый дренаж имеет большое значение в дренировании избыточно увлажненных почв. Он состоит в устройстве в почве на нужной глубине подземных дренажных (наподобие кротовых) ходов определенного диаметра, выполняемых при помощи специального орудия, так называемого дренажного плуга — без предварительного устройства траншей.

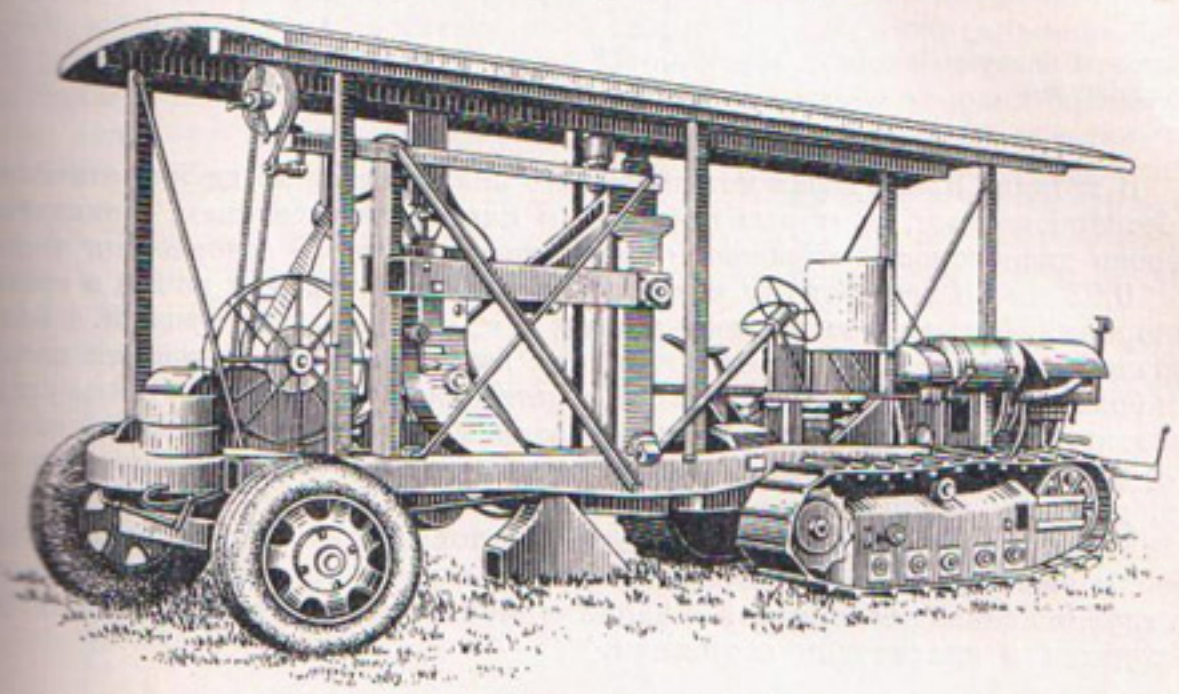


Рис. 271. Дренажный плуг проф. Янерта в транспортном положении.

Кротовые дрены делаются: 1) без крепления отверстий, т. е. со стенками из естественного грунта более или менее уплотненного дренером, и 2) с искусственным креплением отверстий. Это зависит главным образом от свойств дренируемой почвы.

Почвы, наиболее подходящие для кротового дренажа без крепления стенок,— глинистые, суглинистые и притом однородного состава, без песчаных прослоек, крупных камней, древесных остатков.

Наиболее устойчивые кротовые дрены без крепления стенок получаются на почвах: иловатых аллювиальных суглинках, подзолистых суглинках, дерново-перегнойных суглинках. Некоторые виды торфяных почв оказываются также довольно благоприятными для устойчивости кротовых дрен.

Главные причины разрушений кротового дренажа в торфе, как показали исследования Ф. И. Саковича, состоят в малой прочности торфа на растяжение и образовании торфяной крошки под влиянием термических условий. Чем больше степень разложения торфа, тем меньше растягивающее напряжение в торфе, которые колеблются от 8 до 68 *г/см*^{2}; при растягивающих напряжениях, т. е. сопротивлении торфа разрыву меньше 10 *г/см*^{2}, устройство кротового дренажа в нем нецелесообразно, так как внешние нагрузки орудий обработки могут создавать в ключе дрены растягивающие напряжения большей величины. Минеральные почвы, на которых кротовые дрены в той или иной степени устойчивы, по исследованиям М. Н. Гло-

[1] Описание этого вида дренажа и машины проф. Янерта для изготовления и укладки труб см. в книге А. В. Лаврова. Осушение болот и заболоченных земель в Германской Демократической Республике. Изд. МСХ СССР, М., 1956, стр. 38—41. *Прим. автора.*

това и С. В. Астапова, должны обладать свойствами, указанными в таблице 82.

Таблица 82

Степень устойчивости кротовых дрен	Отношение % содержания фракций 0,05—0,005 мм по микроагрегатному анализу данной почвы к содержанию тех же фракций по механическому анализу ее	Содержание частиц (в % по механическому анализу)		Степень дисперсности почвы	Теплота смачивания почвы (в малых граммкалориях)
		<0,01 мм	<0,001 мм		
Устойчивая	<0,3	50—25	20—10	<5	4,0
Средне- и малоустойчивая . .	0,3—0,7	25—15	10— 5	5—10	3,0—2,5
Неустойчивая	>0,7	<5	<2	>10	2,0

В таблице 82 в графах механического анализа первые цифры относятся к бескарбонатным, а вторые цифры — к карбонатным почвам. Показатель степени дисперсности выражает отношение процентного содержания частиц $d < 0{,}02$ *мм* по агрегатному анализу к теплоте смачивания почвы в граммкалориях. Чем меньше процент частиц $d < 0{,}02$ *мм*, тем лучшей и более прочной структурой обладает почва, чем выше теплота смачивания почвы, тем больше ее удельная поверхность, являющаяся также показателем устойчивости кротовых дрен; поэтому чем меньше отношение процента частиц $d < 0{,}02$ *мм* к теплоте смачивания данной почвы, тем устойчивее кротовые дрены в такой почве.

Устойчивость грунта для закладки кротовых дрен может быть определена и опытным путем. Устраивать дрены следует при влажности грунта на глубине закладки, близкой к капиллярной влагоемкости его, когда грунт находится в пластичном состоянии.

Кротовый дренаж с креплением стенок может применяться на различных, в том числе и на легких почвах, но без камней. Крепление стенок осуществляется: 1) последовательными инъекциями в слои грунта, окружающие дренажную полость, суспензии хорошо разложившегося торфа и раствора железного купороса в количестве 2—8% каждого закрепителя от веса грунта в слое 2 *см* толщины по периметру дрены; 2) в очень легких грунтах — введением в кротовины дренажных трубок, соломенных жгутов или других пористых материалов.

Полость кротовой дрены образуется путем раздвигания частиц грунта (вверх и в стороны) рабочим органом дренажного плуга — дренером за счет сокращения крупных некапиллярных пор грунта, а также уплотнения грунта вокруг стенок дрен (за счет сокращения мелких пор и выжимания капиллярной влаги). Дренер — круглый снаряд обтекаемой формы, нужного диаметра, с заостренной носовой частью. Дренажный плуг при своем движении по направлению дренажной линии особым ножом делает узкий вертикальный разрез почвы (щель) на требуемую глубину дренирования; в нижней части этого разреза протаскивается дренер, образующий в почве кротовый ход нужного диаметра. Дренер в почве протаскивается одновременно с разрезанием грунта и в этом случае дренер непосредственно соединен с нижней частью вертикального ножа плуга (работа на прямой тяге), или же дренер протаскивается отдельно (на тросе при помощи лебедки)— после образования вертикального разреза грунта и заглубления в него троса (расчлененная работа).

При прямой тяге работа совершается быстрее и производительность выше, но зато уклон дрен копирует все неровности профиля дневной поверхности и придание дренам нужного единообразного уклона очень трудно; полости дрен получаются менее устойчивыми и менее прочными вследствие сотрясений, передаваемых от машины; наличие обратных уклонов и застой воды в кротовых дренах способствует их заплыванию и засорению.

При расчлененном дренировании и протаскивании дренера на тросе дрены получаются лучшего качества, более устойчивые и с равномерным уклоном; здесь требуются меньшие тяговые усилия (до $2^1/_2$ раз), благодаря чему возможно более глубокое дренирование (до 1,2—1,3 *м*), но зато работа идет с меньшей производительностью.

По данным исследований УкрНИИГиМ и Института болотного хозяйства БССР, за восьмичасовой рабочий день может быть сделано кротовых дрен: при прямой тяге 4,5—4,5 *км*, при расчлененной работе на тросе от 0,80 до 3 *км*, в зависимости от степени механизации отдельных операций.

Диаметр дренера должен быть больше нужного диаметра кротового хода, так как после прохода дренера и прекращения его давления полость дрены в силу упругих свойств грунта сжимается, особенно сильно это сжатие происходит в торфяных грунтах. Поперечное сечение кротовой полости составляет в торфяных грунтах 33—52% от площади сечения дренера и имеет овальную форму сначала с большей вертикальной осью, а затем, под влиянием давления сельскохозяйственных машин, с большей горизонтальной осью; сообразно этому диаметр дренера должен быть в торфяных грунтах 20—25 *см*, а в минеральных грунтах 6—10 *см* (на более тяжелых почвах диаметр уменьшается). Увеличение диаметра кротовых дрен усиливает приток воды в дрены.

Зависимость притока воды в кротовые дрены, заложенные в торфе, от их диаметра можно иллюстрировать, например, данными опытов Г. Д. Эркина (Минск) (табл. 83).

Таблица 83

Диаметр дренера (в *см*)	Сток по годам (в *л*/*час*)			Среднее
	1938	1939	1940	
10	0,42	0,16	0,09	0,12
20	0,44	0,48	0,25	0,39
30	0,81	0,72	0,58	0,70

В таблице 83 показан среднегодовой сток (кроме зимы) в *л*/*час* на 1 пог. *м* длины дрен. Как видим, сток в дрены увеличивается интенсивнее, чем диаметр. Однако с увеличением диаметра возрастают тяговые усилия и стоимость дренажа. Для устойчивости работы дрен заполнение их водой не должно превышать $^1/_3$ диаметра их. Уклон кротовых дрен должен быть не меньше 0,005—0,010.

Для устройства кротовых дрен прямой тягой используются дренажные орудия следующей конструкции. На более или менее длинной и узкой горизонтальной раме расположен в вертикальной плоскости широкий нож, разрезающий при движении плуга почву на всю глубину дренирования (ширина ножа 14—20 *см*, толщина 10—14 *мм*); на нижнем конце этого ножа укреплен дренер с режущей носовой частью, образующий в почве дренажный ход диаметром, равным диаметру дренера. К заднему концу дренера на короткой цепи (в 2—3 звена) прикреплен особый, конической формы, уширитель, имеющий диаметр больше диаметра дренера при проходке в минеральных грунтах на 15—20 *мм*, при проходке в торфе в 2—$2^1/_2$ раза.

Нож может переставляться на бо́льшую или меньшую высоту, и тем самым определяется глубина кротового хода. Передний конец горизонтальной рамы имеет крюк, которым плуг присоединяется к двигателю; на заднем конце его в ряде плугов расположен аппарат, позволяющий менять глубину погружения ножа в почву для изменения уклона дренажного хода. При дренировании площадей с достаточным уклоном дренажная линия может быть параллельна поверхности земли.

Для облегчения передвижения плуга по поверхности почвы во время работы и по окончании ее основная рама или грядиль плуга соединен с одной или двумя парами колес (небольшие плуги простейшей конструкции не имеют колес).

Отдельные типы дренажных орудий различаются деталями конструкции.

На рисунке 272 показан дренажный плуг ДК-2 системы ВНИИГиМ для устройства дрен на минеральных почвах без регулирования глубины на ходу; на рисунке 273 представлена дренажная машина ДКН-2 Н. С. Иг-

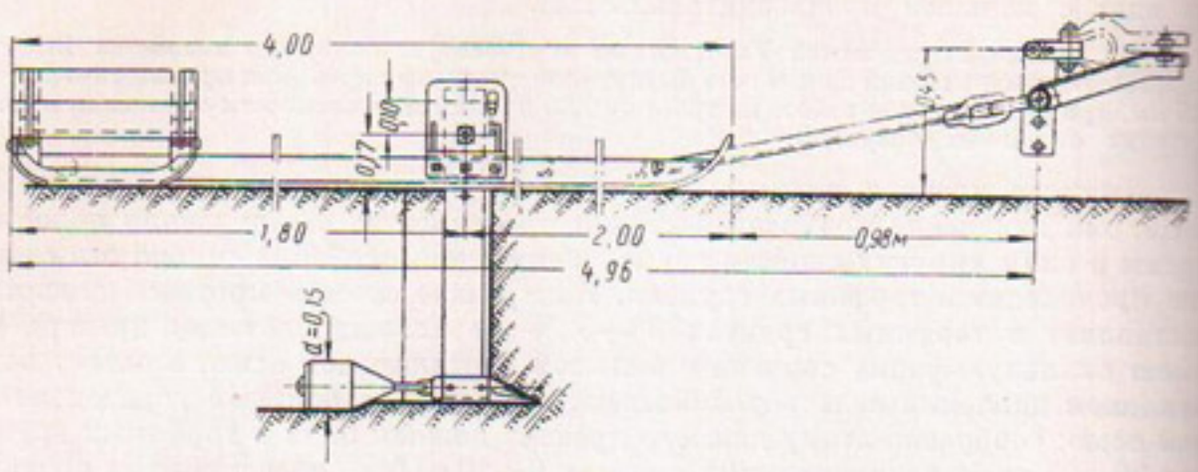


Рис. 272.

натовича (ВНИИБХ) с регулированием глубины опускания ножа; машина навесного типа к трактору СТЗ-НАТИ.

Кротовые дрены закладываются на глубине от 40 до 130 *см*, с расстоянием между ними от 2 до 20 *м*, в зависимости от глубины дрен, свойств почвы, уклонов и характера осушаемого угодья.

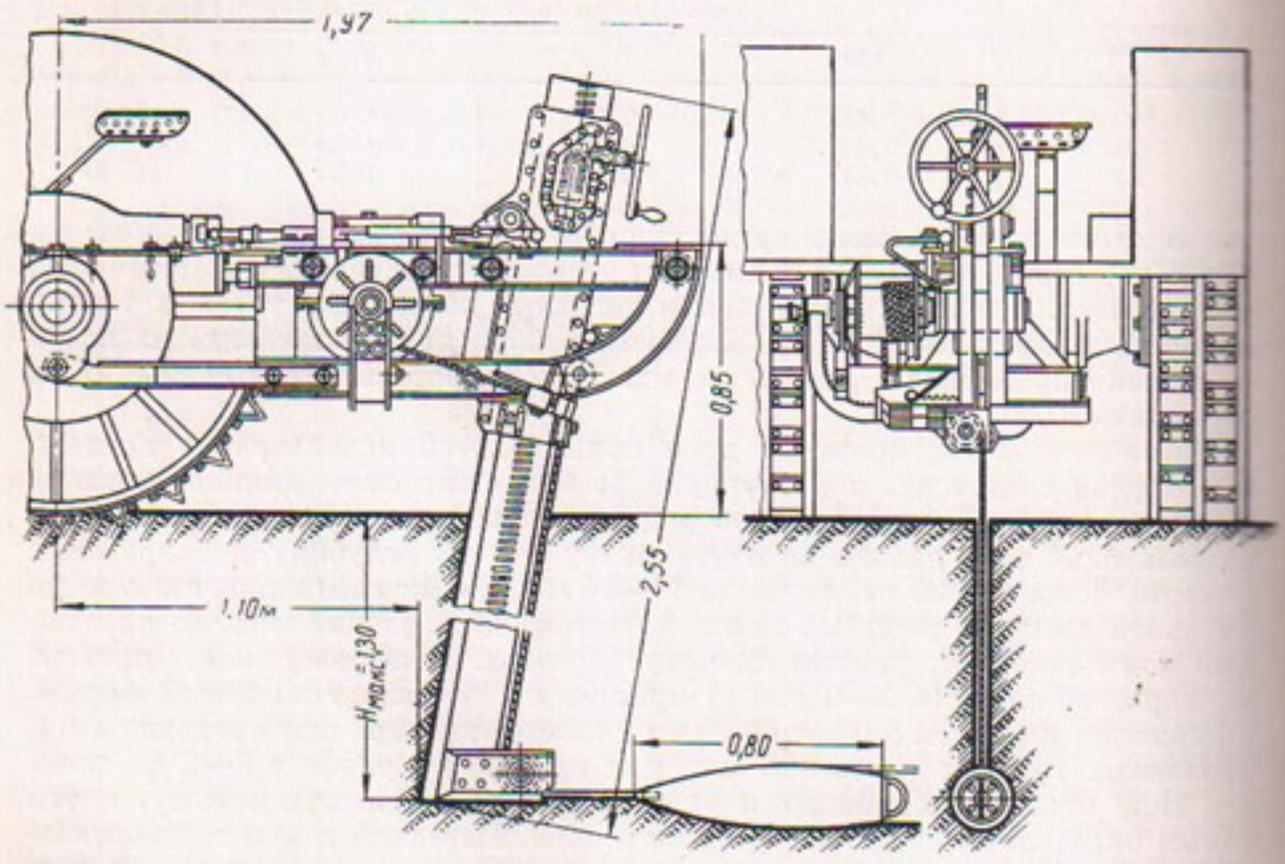


Рис. 273.

Потребное тяговое усилие для производства дренирования возрастает с глубиной; поэтому при работе на прямой тяге увеличивать глубину невыгодно и вследствие этого, делая небольшую глубину, приходится уменьшать расстояние между дренами.

Кроме того, кротовый дренаж, заложенный неглубоко, но часто, быстрее действует на улучшение физических свойств тяжелых почв. Поэтому

кротовый дренаж без крепления стенок обычно закладывается на глубине 50—60 *см*, на 20 *см* ниже пахотного слоя. Эта глубина позволяет осуществлять дренирование прямой тягой, непосредственно от трактора; при большей глубине требуется уже тяга с помощью тракторной лебедки, чтобы уменьшить тяговое усилие.

Тяговое усилие, необходимое для работы кротового плуга, слагается из трех основных частей: 1) усилие на перемещение самого плуга, которое тем больше, чем больше вес плуга; 2) усилие на преодоление сопротивлений почвы работе ножа; оно тем больше, чем больше заглубление, ширина и толщина ножа и чем больше коэффициент сопротивления почвы резанию; 3) усилие на работу дренера; оно тем больше, чем больше диаметр, длина и глубина погружения дренера[1]. Удельное сопротивление резанию уменьшается с глубиной от 5 до 3,5 *кг/см*². Удельное сопротивление движущегося дренера с глубиной увеличивается от 1,5 до 3,5 *кг/см*².

Тяговое усилие возрастает с увеличением глубины дренирования t (пропорционально t в степени $n>1$) и размеров дренера.

В таблице 84 приведены для примера данные опытов ВНИИГиМ по определению тягового усилия (в килограммах) при проходке кротовым плугом суглинистых почв в Московской области.

Тяговое усилие зависит также от свойств и состояния почвы: на торфяных почвах оно меньше, на минеральных больше. Влияние влажности почвы неодинаково в верхнем и нижнем слоях почвы: верхний слой должен быть достаточно сухим, чтобы обеспечивать лучшее движение колес трактора; нижний же слой, в котором проходит дренер, должен быть достаточно влажным. Корни, дернина, остатки растений и корневищ в почве представляют большое препятствие работе плуга. Поэтому в некоторых дренажных плугах впереди ножа помещен острый диск для разрезания корневищ. В зависимости от всех этих условий потребное тяговое усилие при дренировании на одну и ту же глубину может отклоняться от среднего на —40% и на +60%.

Таблица 84

Диаметр дрены (в *см*)	Глубина t (в *см*)				
	30	45	60	90	120
Без уширителя $d = 6{,}5$	900	1240	2270	4310	5310
С уширителем $d = 20{,}0$	1550	2820	4150	6000	—

Пути для снижения тяговых усилий (помимо усовершенствования конструкции плугов) могут быть следующие:

а) движение кротового плуга на тросе с помощью тракторной лебедки. Сила тяги при работе с лебедкой равна:

$$P = \frac{Zr}{\eta Ri},$$

где Z — тяговое усилие для движения кротового плуга при прямом соединении с двигателем;

r — радиус барабана лебедки;

R — радиус ведущего колеса лебедки;

η — коэффициент полезного действия лебедки;

i — передаточное число между валом ведущего колеса и валом барабана, равное от 2 до 6.

Работа с помощью тракторной лебедки обычно применяется при более или менее глубоком дренировании $t > 0{,}5$ *м*;

б) разделение общего рабочего процесса дренирования на два слагающих: 1) разрезывание ножом вертикального слоя грунта на глубину дренирования t и 2) выполнение самого кротового хода путем протаскивания дренера на тросе с помощью лебедки. Тяговое усилие на каждый слагающий процесс значительно уменьшается, как отмечено выше. Принцип раздельного дренирования, предложенный в СССР В. Р. Ридигером, был развит Всесоюзным институтом болотного хозяйства и Белорусской станцией механизации сельского хозяйства, давшими методы механизации отдельных операций дренирования[2]. Нож кротовой машины устанавли-

[1] А. Н. Костяков. Механическое дренирование почвы. Сообщение 2-е. М., 1935.

[2] См. сборник «Кротовый дренаж», под редакцией А. Н. Костякова. ВНИИГиМ — Сельхозгиз, М., 1945. *Прим. автора.*

вается на необходимую глубину. После этого машина приводится в движение по установленному направлению, нож разрезает грунт и одновременно заглубляет трос, который сматывается с барабана лебедки; на конце троса закреплен дренер, который остается лежать в начале дрены. Движение трактора и заглубление троса происходят со скоростью 0,9—1,2 *м/сек*. После того как машина заглубит трос на участке длиной до 50 *м*, она останавливается; нож ставится на нужной глубине, сообразно с заданным по проекту уклоном дренажной линии, включается барабан лебедки машины и вал отъема мощности трактора, и лебедка приводится в движение (со скоростью 0,2—0,5 *м/сек*). Барабан лебедки наматывает на себя трос, который, проходя по направляющим блокам машины, сперва выравнивается

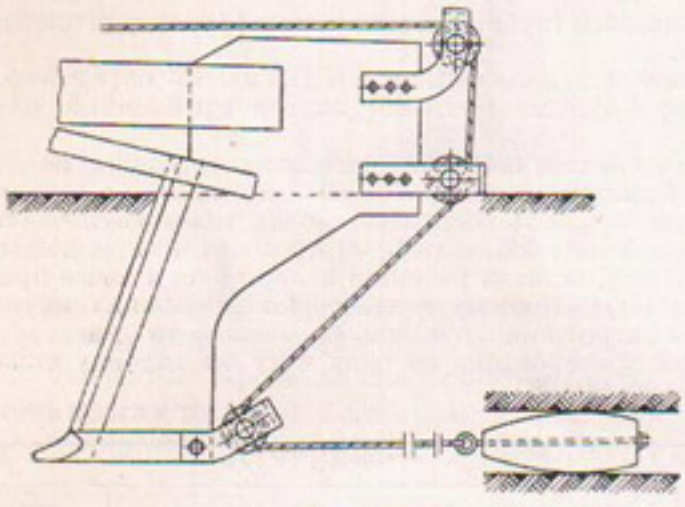


Рис. 274.

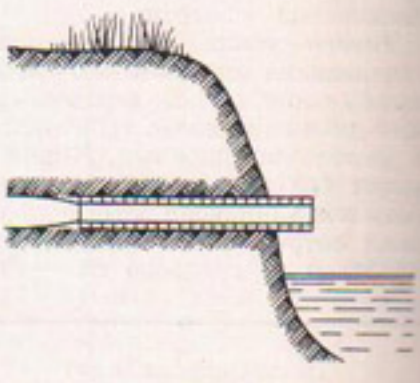


Рис. 275.

и натягивается в щели, а затем начинает тянуть за собой прикрепленный на его конце дренер—по оси дрены на установленной глубине, с заданным уклоном.

Закончив работу на первом участке, продолжают ее таким же образом на втором — по длине дрены и т. д. Схема движения троса представлена на рисунке 274, где показано приспособление канавокопателя для производства кротового дренажа раздельным методом (А. А. Кадовский).

Кротовые дрены выпускаются либо в открытые каналы (рис. 275), либо в закрытые трубчатые гончарные коллекторы, или в рыхлую гумусированную засыпку траншей над дренами. При выпуске в открытые каналы или в засыпку над дренами концыкротовин вводятся в деревянные или гончарные трубы (рис. 275). Соединение кротовин с закрытым коллектором производится при помощи дренажных труб.

При соединении кротовых дрен с гончарными сначала делают открытую траншею коллектора, затем проводят кротовые дрены, впадающие в эту траншею; после этого укладывают в нее гончарные трубы, соединяют их с выходами кротовых дрен поперечными трубами и затем уже засыпают траншею.

В глинистых и торфяных почвах кротовый дренаж может сохраняться ряд лет. В песчаных почвах, в плывучих и в жидких торфяных грунтах кротовый дренаж без крепления стенок неприменим (заплывает).

Кротовый дренаж по сравнению с трубчатым гончарным менее прочен, однако стоимость 1 пог. *м* кротового дренажа во много раз меньше стоимости других видов дренажа. В то же время, с учетом срока службы, кротовый дренаж менее экономичный, чем траншейный (трубчатый). За 1 час работы трактора НАТИ может быть выполнено до 4—5 *км* кротовых дрен на поле, при затрате топлива 3,5—4 *кг* на 1 *км* длины дрен.

На пнистых торфяных болотах вместо описанного типа кротового дренажа устраивается так называемый щ е л е в о й д р е н а ж при помощи дренажно-дисковой машины ДДМ-5 или дренажно-винтовой — ДВМ-5. Ма-

шина ДДМ-5 (рис. 276, *а*) на гусеничном ходу, прицепная к трактору ХТЗ-НАТИ. Рабочим органом ее является дисковая фреза диаметром 2,4 *м* с 72 зубьями, равномерно расположенными по окружности.

Эта фреза вырезает в торфе щель трапецеидальной формы глубиной 90—95 *см*, шириной по дну 16 и по верху 5 *см* (рис. 276, *б*). Сверху щель на глубину около 40 *см* закрывается торфом при помощи специального аппарата из двух дисков, прикрепленных к раме сзади машины. Устройство щели машиной ДДМ-5 возможно при глубине торфа не меньше 1 *м*. Работа производится на скорости не выше третьей (0,295 *км/час*), а на очень пнистых болотах меньше. Производительность машины за смену составляет от 800 до 1200 пог. *м* дрены в зависимости от пнистости болота. Вес машины (без трактора) 6,5 *т*, удельное давление 0,28 *кг/см*^{2}.

С помощью ДДМ-5 можно нарезать щелевые дрены как от открытого коллектора вверх по течению дрены, так и к коллектору — вниз по течению дрены, чтобы не было холостых ходов машины.

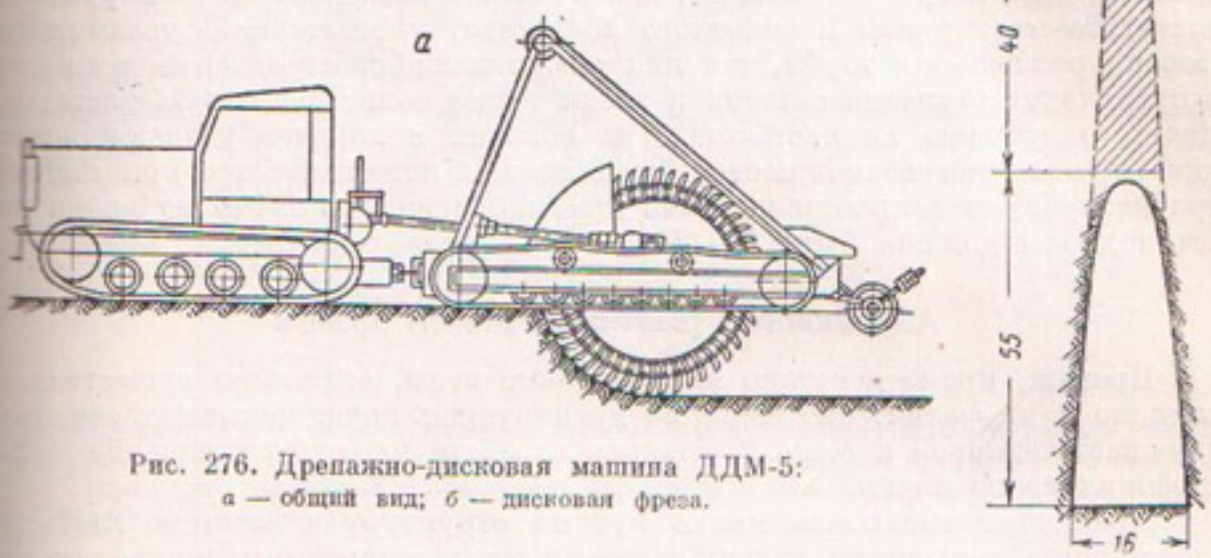


Рис. 276. Дренажно-дисковая машина ДДМ-5:
а — общий вид; *б* — дисковая фреза.

Более совершенной является дренажно-винтовая машина ДВМ-5 системы В. Р. Ридигера и конструкции ВНИИТП (Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности). ДВМ-5 может делать дрены глубиной от 0,70 до 1,5 *м*, но она тяжелее и требует подвода электроэнергии на поля.

Машина ДВМ-5 предназначена для закладки глубоких закрытых дрен на полях добычи и сушки торфа и для осушения. Она представляет собой электрифицированный агрегат, состоящий из гусеничного хода и навесного оборудования.

Рабочим органом является навесная винтовая фреза, по наружной поверхности которой укреплены сменные режущие зубцы. Нижняя часть фрезы имеет насадную винтовую головку увеличенного диаметра. Фреза при вращении вырезает в торфе щель, а торфяную крошку извлекает на поверхность.

Вращается фреза от индивидуального вертикально-фланцевого электродвигателя и соединена с ним зубчатой муфтой. Для подъема фрезы в транспортное положение имеется отдельный механизм, приводящийся в движение от электродвигателя. Конструкция фрезы также рассчитана для работы на пнистой торфяной залежи при замедленной поступательной скорости.

Машина имеет специальное устройство для закрытия дрены и особый механизм, обеспечивающий закладку дрен с заданным продольным уклоном.

Питание машины электроэнергией осуществляется от передвижного трансформатора, гибким кабелем.

Основные технические показатели ДВМ-5, по данным В. Р. Ридигера, следующие.

Производительность за один час чистой работы (при влажности до 2%)		300 пог. *м*
Глубина дрены		от 0,7 до 1,5 *м*
Скорость передвижения:		
Рабочие скорости	I	203 *м/час*
	II	280 »
	III	428 »
	IV	522 »
Задний ход		165 »
Транспортные скорости	Вперед	3100 »
	Задний ход	2510 »
Число оборотов фрезы		2940 *об/мин*
Вес машины		около 10 *т*
Удельное давление на грунт		0,33 *кг/см²*
Величина продольных уклонов дрены		0,0013—0,0033

После закладки щелевых дрен болото должно быть вспахано на глубину не больше глубины закрытия их, т. е. 40 *см*. Устойчивость сечения щелевых дрен и срок службы их, как показали исследования Белорусского института мелиорации и болотного хозяйства, уменьшается с увеличением степени разложения торфа, так как разложившийся торф легче крошится и происходит заиление сечения и заваливание полости дрен. Недостатком щелевого дренажа на пастбищах, на болотах с хорошо разложившимся торфом является возможность проваливания ног животных при пастьбе при неглубоком закрытии щелевой дрены. Влажность торфа во время нарезки дрены должна быть 80—85%.

Аэрационный (вентиляционный) дренаж

Дренаж, кроме действия на грунтовые воды, оказывает существенное влияние и на физические свойства дренируемых почв: повышает аэрацию, улучшает тепловой и водный режимы, содействует оструктуриванию более глубоких слоев почвы.

Дренированные почвы имеют лучшие структуру и аэрацию глубоких слоев, легче поглощают влагу; растения на дренированных почвах имеют более глубоко развитую корневую систему и меньше страдают от засухи, чем на недренированных почвах. Вследствие аэрации более глубоких холодных слоев на дренированной почве увеличивается конденсация водяных паров.

Аэрация почвы необходима на тяжелых глинистых и плотных мелкозернистых почвах, на кислых минеральных почвах, на болотах различного типа при освоении их под интенсивные сельскохозяйственные культуры.

Аэрационный дренаж делается в настоящее время в виде мелкого (глубиной 45—60 *см*) кротового дренажа (кротование) специальным пятикорпусным дренажным плугом УкрНИИГиМ (рис. 277) или же кротовым орудием СевНИИГиМ (рис. 278), укрепляемым на стойке плуга за вторым корпусом его; в этом орудии дренер может быть поставлен на 20—25 *см* от дна борозды плуга.

Расстояния между кротовинами получаются 0,9 *м* — при трехкорпусном плуге и 1,2 *м* — при четырехкорпусном. Производительность вспашки с кротованием снижается на 20—25% по сравнению с обычной, так как увеличивается тяговое сопротивление. Вспашка почвы при кротовании ведется под острым углом к уклону, чтобы кротовины имели достаточный сток воды. Кротование повторяется через 3 года. Оно способствует углублению корнеобитаемого слоя на тяжелых почвах и дает значительное повышение урожая.

Вентиляционный аэрирующий дренаж может быть выполнен и в виде гончарного (или другого) трубчатого дренажа. В этом случае аэрирующее действие дрен специально усиливается путем сообщения верховых концов их с атмосферным воздухом. Это достигается тем, что на концах дрен ставятся особые вертикальные патрубки, сообщающие верхний конец дрены с атмосферным воздухом. Они делаются или из газовых труб, вертикальный конец которых выпускается на поверхность, или же из вертикально поставленных дренажных труб. Чтобы в вентиляционную шахту не попадал дождь, наружный конец

головой трубы загибается книзу, а дренажные трубки накрываются деревянным патрубком с отверстиями для притока воздуха (рис. 279). По этой трубе воздух может циркулировать в дренах, что значительно усиливает вентилирование почвы. Иногда концы всасывающих дрен соединяют головной дреной, в верхнем конце которой ставится вентиляционный колодец или шахта, сообщающая дрены с воздухом (*Б*); кроме того, по длине дрен устраиваются особые фильтры (*А*), заполненные мелким щебнем, или шахты, сообщающие дрены с наружным воздухом (рис. 280).

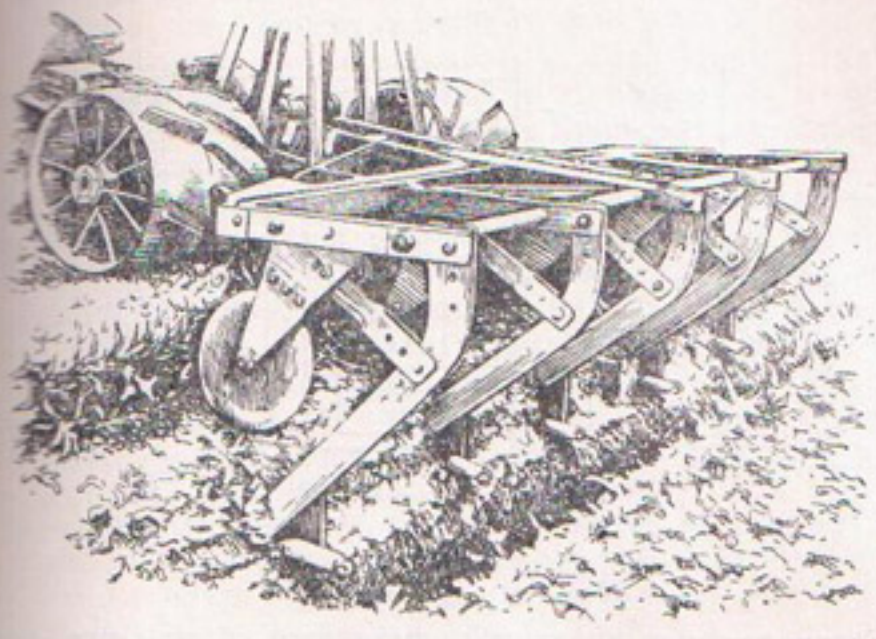


Рис. 277.

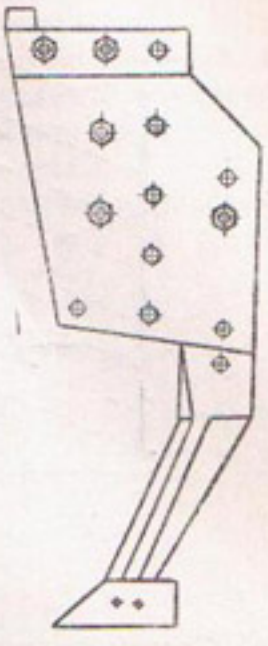


Рис. 278.

Аэрируя почву, вентиляционный дренаж изменяет направление процессов разложения органических веществ в тяжелых и закисающих почвах (из анаэробного в аэробное), благодаря чему закисные соединения переходят в окисные, и питательные вещества получают усвояемую для растений форму.

Благодаря отмеченному выше благоприятному действию дренажа на главнейшие факторы роста растений (аэрацию, тепло, влагу, усвояемые питательные вещества) урожаи растений на дренированных почвах при правильной агротехнике значительно повышаются по сравнению с недренированными: зерновых хлебов и трав на 50—100%, корнеплодов и клубнеплодов на 100—200% и выше.

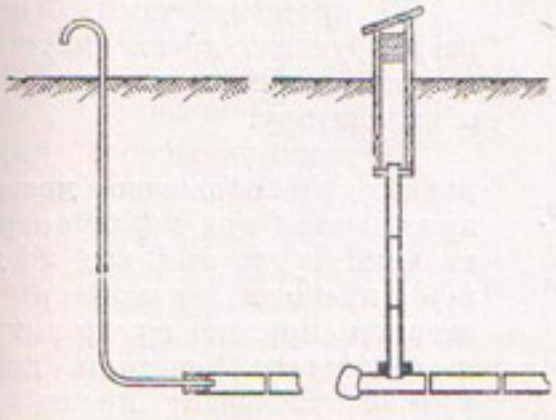


Рис. 279.

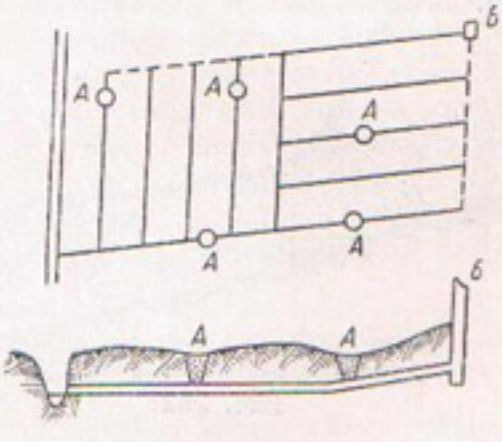


Рис. 280.

Расположение дренажа

В механизированных хозяйствах обычно применяется комбинированная система осушения, состоящая из открытой проводящей сети и закрытой регулирующей сети. Как было показано на рисунках 240—242, при такой системе осушения открытые более или менее редко расположенные каналы

служат приемниками регулирующей сети. При крупных размерах дренируемой площади дренажная регулирующая сеть состоит обычно из более или менее часто расположенных регулирующих дрен (кротовых или других) и собирающих из них воду закрытых (обычно гончарных), коллекторов, впадающих уже в открытые крупные проводящие каналы. Расположение дренажной сети в плане может быть следующее.

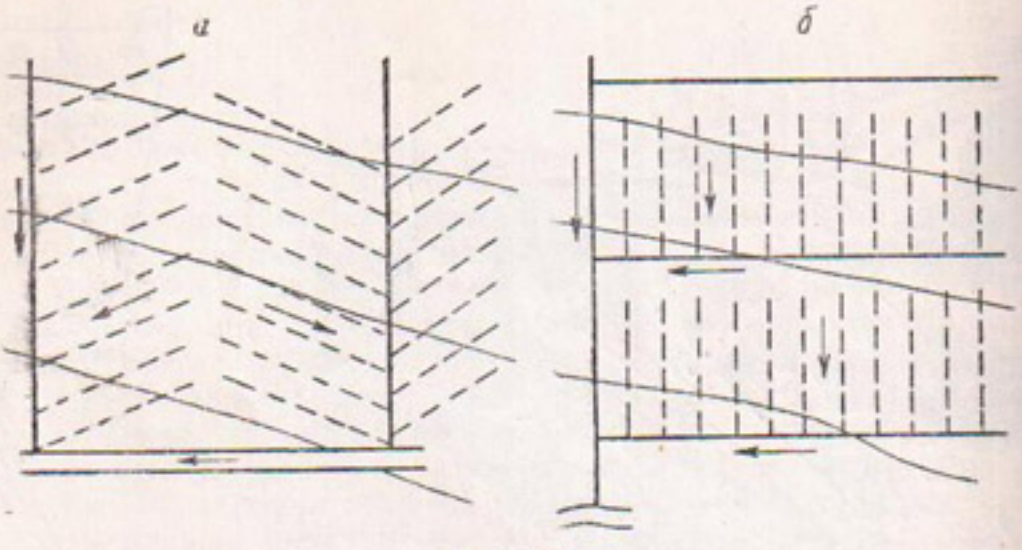


Рис. 281.

Систематическое расположение дренажа применяется обычно при равномерном питании грунтовых вод на осушаемой площади (просачивание атмосферных осадков, близкое сплошное залегание напорных грунтовых вод). Систематический дренаж разделяется на:

1) поперечный, когда коллектор располагается по наибольшему уклону местности, а регулирующие дрены — по направлению горизонталей (рис. 281, *а*);

2) продольный, когда регулирующие дрены трассируются по наибольшему уклону местности, а коллекторы — по направлению горизонталей (рис. 281, *б*);

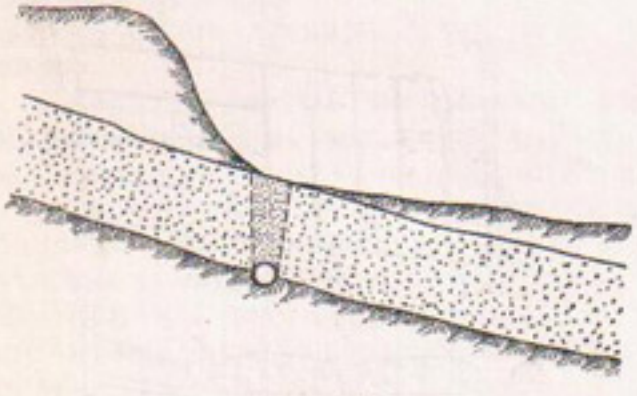


Рис. 282.

3) промежуточный, когда регулирующие дрены идут под острым углом к горизонталям и коллектору.

Несистематическое, выборочное расположение дренажа применяется при неравномерном питании грунтовых вод на данной площади, например при внешнем притоке грунтовых вод к отдельным участкам дренируемой площади; дрены располагаются в зависимости от направления притока, чтобы наиболее полно перехватывать его, а на тех участках, где нет притока грунтовых вод, дрены не делаются, и потому общая длина дрен на единицу площади сокращается (до 40—50%), но требуется весьма тщательное гидрогеологическое изучение осушаемой местности.

В случае питания осушаемого участка грунтовыми водами, притекающими с вышележащей площади, необходимо прежде всего перехватить этот приток головной дреной (рис. 282), нормальной к направлению грунтового потока и заложенной на водоупоре или достаточно глубоко.

Частичный дренаж применяется также при осушении отдельных сырых участков (например, с близкими местными выходами грунтовых вод, отдельных западин), когда эти участки осушаются одной или несколькими линиями дренажных труб, сходящимися в один общий коллектор.

При продольном дренаже в случае закрытого коллектора, имеющего слабый уклон и малую скорость воды, происходит более быстрое заиление и засорение труб; кроме того, регулирующие дрены перерезают поток грунтовых вод не поперек, а вдоль, вследствие чего отдельные струи грунтовых вод могут оказаться совсем не перехваченными, что исключается при поперечном дренаже; поэтому при продольном дренаже приходится располагать дренажные линии на 20—25% ближе друг к другу, чем при поперечном, для достижения одного и того же эффекта осушения.

Вследствие этого желательно располагать регулирующие дрены в направлении изогипс грунтовых вод, нормально к направлению грунтового потока; в большинстве это будет совпадать и с направлением горизонталей поверхности; коллектор располагается по уклону, что обеспечивает хорошую скорость воды в нем. Следует при этом иметь в виду, что в случае поперечного дренажа при малых уклонах поверхности земли для обеспечения минимального уклона дрен (как правило, 0,002) им приходится придавать искусственный уклон, вызывающий заглубление дрен к устью и неравномерное осушение. Поэтому продольное расположение регулирующих дрен оказывается необходимым при уклоне местности меньше 0,004—0,005, так как этот уклон является почти предельным для минимального диаметра регулирующих дрен; коллектор же, имеющий значительно больший диаметр, может иметь меньшие уклоны. В этом случае расположение регулирующих дрен по уклону, а коллектора под углом к горизонталям является наиболее подходящим решением задачи.



Рис. 283.

При уклонах местности более 0,01 надо применять поперечный дренаж. При промежуточных же уклонах 0,004—0,01 дрены располагают под углом к горизонталям, что позволяет им лучше перехватывать поток грунтовых вод.

При выборе направления кротовых дрен в случае применения машин и орудий, не позволяющих придавать кротовинам искусственный уклон, приходится их размещать в плане так, чтобы линии дрен шли более или менее параллельно уклону поверхности почвы, т. е. по продольной схеме. В случае же возможности придания кротовинам искусственного уклона их следует размещать в плане по поперечной схеме для лучшего перехвата поверхностных вод и верховодки пахотного горизонта. Кроме того, важно иметь простую систему расположения подземных ходов; в этом отношении удобна система параллельных кротовых дрен, расположенных между открытыми коллекторами перпендикулярно к последним.

При дренировании крутых склонов поперечным дренажем, чтобы избежать опасного уклона коллекторов, их иногда располагают зигзагообразно, делая регулирующие дрены короткими, но этот способ усложняет систему.

При дренировании котловин все боковые коллекторы сводят в самое низкое место котловины, где устраивают приемный колодец, из которого дренажные воды выводят главным коллектором, пересекающим бугор и выходящим к водоприемнику (рис. 283).

Очень важным вопросом при устройстве дренажа является *связь главного коллектора с водоприемником.*

Водоприемниками дренажа являются открытые проводящие осушительные каналы или же естественные водотоки (реки, ручьи, овраги). Водоприемник должен иметь достаточный сток и не создавать подпора устья коллектора и дрен в расчетные периоды, так как подпор является одной из важных причин быстрого заиления дренажных труб и разрушения кротовых дрен.

Исходить следует из горизонта летних высоких вод или спада весеннего паводка, смотря по характеру использования дренированного участка. На

полях необходимо, чтобы до начала посева дрены успели достаточно провентилировать почву; если уровень летних высоких вод стоит высоко, а устье коллектора по условиям заложения дренажной сети не может быть поднято до более высоких отметок, потребуется регулирование русла водоприемника и понижение горизонта воды в нем. Горизонт летних высоких вод в принимающем канале должен стоять ниже выхода коллектора или дрены.

Размеры дрен

Размеры поперечного сечения дрен и закрытых собирателей с пористым заполнением определяются гидравлическим расчетом, сообразно наибольшему расходу воды, какой они должны отводить, и их уклону.

Скорость воды в дренах и закрытых собирателях должна увеличиваться по длине их, во избежание быстрого заиления.

Величины допускаемых скоростей воды в дренах зависят от материала стенок дренажных каналов, качества их и характера грунта. В закрытых собирателях, куда поступают поверхностные воды, содержащие взвешенные частицы, скорость воды должна быть больше.

Скорость воды в дренах гончарных, бетонных и деревянных допускается в пределах 0,3—1,5 *м/сек*; меньшая скорость недопустима вследствие опасности заиления труб, бóльшая скорость — во избежание размыва почвы (в случае расхождения стыков). Наилучшей является скорость 0,6—0,8 *м/сек*. Этими величинами скоростей и определяется нужный уклон для труб данного диаметра.

При трубчатом дренаже нужная величина уклона получается довольно значительной вследствие малого значения гидравлического радиуса и значительных сопротивлений движению воды в трубах в силу: 1) втекания воды по длине дрены через стыки труб, 2) искривлений дренажной линии и 3) засорения, врастания корней и т. д. Уклон дренажных труб требуется от 0,005 до 0,03[1], значительно превышая обычные уклоны, применяемые для открытых осушительных каналов.

Скорость течения воды в дренах определяется по формуле: $v = C\sqrt{RI}$; при работе дрены полным сечением $R = \frac{d}{4}$, поэтому

$$v = C\sqrt{\frac{d}{4}I} = \frac{C}{2}\sqrt{dI} = C_0\sqrt{dI}.$$

Формулы для определения C и расчета дрен здесь не приводятся[2].

Значение коэффициента шероховатости для гончарных труб может быть принято от $n = 0{,}010$ до $n = 0{,}016$, в зависимости от качества труб; в среднем чаще принимается $n = 0{,}012$—$0{,}014$.

Значения коэффициента $C_0 = 0{,}5\,C$ для разных диаметров гончарных дрен колеблются от 13 до 22, возрастая с увеличением диаметра.

В кротовых дренах значение коэффициента шероховатости составляет $n = 0{,}018$—$0{,}020$, а значение коэффициента C в формуле скорости равно 18—25.

Значение допустимого уклона дрен, соответствующего той или иной скорости, можно определить по формуле:

$$I = \frac{v^2}{C_0^2 d}.$$

---

[1] Минимальные уклоны дрен и закрытых собирателей в практике принимаются: для гончарных труб —0,002, деревянных желобчатых и дощатых —0,003, из фашин, жердей и каменной наброски — 0,004—0,005 (см. Техн. условия и нормы проектирования осушительных систем. Изд. МСХ СССР, М., 1957, стр. 19).

[2] См. Н. Н. Павловский. Гидравлический справочник. М.—Л., 1937, стр. 233—242. *Прим. автора.*

В таблице 85 приводятся минимальный и максимальный уклоны, допустимые для гончарных дрен диаметром от 4 до 16 *см*, принимая $v_{min} = 0{,}2$ *м/сек* и $v_{max} = 1$ *м/сек*.

При заложении дрен в плывуне v_{min} должна быть не меньше 0,3 *м/сек*. При скорости $v_{max} > 1$ *м/сек* дрены укладываются с муфтами, во избежание размыва грунта через стыки.

На моховых болотах, где опасность заиления относительно невелика, можно дренам давать уклон до 0,001—0,002, но не меньше. Кротовым дренам надо давать уклоны не меньше 0,002.

Таблица 85

d (в *см*)	I_{max}	I_{min}
4	0,080	0,0032
5	0,056	0,0023
6,5	0,040	0,0019
8	0,035	0,0013
10	0,024	0,0009
13	0,017	0,0007
16	0,013	0,0005

Скорость воды в дренах с пористым заполнением (хворост, щебень и др.) может быть определена по обобщенной формуле С. В. Избаша:

$$v = Sp\sqrt[m]{\nu_0^{m-2} D^{m-3} I} \text{ см/сек},$$

где S — обобщенный коэффициент; при выражении ν_0 в *см/сек* можно принять $S = 20 - \frac{14}{D}$, где D — действующий диаметр материала заполнения, в *см*;

p — порозность заполнения, равная от 0,35 до 0,45, в зависимости от крупности материала заполнения;

I — уклон дрены;

m — показатель степени $m = 2 - \frac{0{,}34}{D^2}$;

ν_0 — кинематический коэффициент вязкости воды.

Для гравия и хвороста величина D составляет от 0,5 до 2,5 *см*; при крупном заполнении ($D > 6$ *см*) значение m можно принимать равным 2.

Н. П. Пузыревский для крупного фильтрующего материала принимал среднюю скорость $v = 35\sqrt{I}$ *см/сек*.

Вследствие уменьшения скорости воды в дренах с пористым заполнением поперечное сечение их делается достаточно большим (0,30 × 0,30 *м*).

Водопоглощающая способность закрытых собирателей может быть определена следующим образом. Если ширина фильтрующей засыпки равна a *м*, а коэффициент фильтрации засыпки k_1 *м/сек*, то поглощающая способность засыпки на 1 пог. *м* длины ее будет равна $ak_1 I$ *м*³*/сек*, причем $I \approx 1$. Поглощающая способность должна быть не ниже стока поверхностных вод на 1 пог. *м* длины собирателей, регулирующих этот сток, т. е.

$$abk_1 I \geqslant q = l(h - k)\varphi,$$

где l — расстояние между регулирующими канавами (закрытыми собирателями);

φ — коэффициент замедления стока, равный отношению $tv : l$;

$(h - k)$ — интенсивность осадков за вычетом поглощения в почву.

При длине закрытого собирателя L расход воды в конце его будет равен $Q = Lq$, на что и нужно рассчитывать пропускную способность его. Однако при большой длине L и большом стоке расход воды, поступающей в собиратель, может в концевых частях превышать пропускную способность трубы, закладываемой внизу поперечного сечения закрытых собирателей, и тогда вода будет стекать также по самому слою фильтрующей засыпки, что допустимо кратковременно.

Расход воды, на какой рассчитывается сечение дрены, равен $Q = \omega q$, где q — модуль внутреннего стока в *м*³*/сек* с 1 *га*, соответствующий данным условиям дренажа, а ω — дренируемая площадь, с какой грунтовые воды проходят через данное сечение дрены.

При расчете размера дрен встает вопрос о том, следует ли допускать работу дрены полным сечением или нет. При решении этого вопроса надо иметь в виду, с одной стороны, что в дренах должен циркулировать воздух и сечение не должно целиком заполняться водой, а с другой стороны, надо стремиться к тому, чтобы значение гидравлического радиуса было максимальным, дабы увеличить скорость течения воды во избежание засорения дрен.

Как известно, в круглой трубе наибольшее значение гидравлического радиуса, а следовательно, и скорость течения воды (при прочих одинаковых условиях) получаются при заполнении трубы водой на 81% всей ее высоты. Максимальная же пропускная способность имеет место при заполнении около 95% полной высоты, что видно из рисунка 284, где по оси абсцисс отложены значения Q и v в долях значений этих величин при наполнении, равном единице.

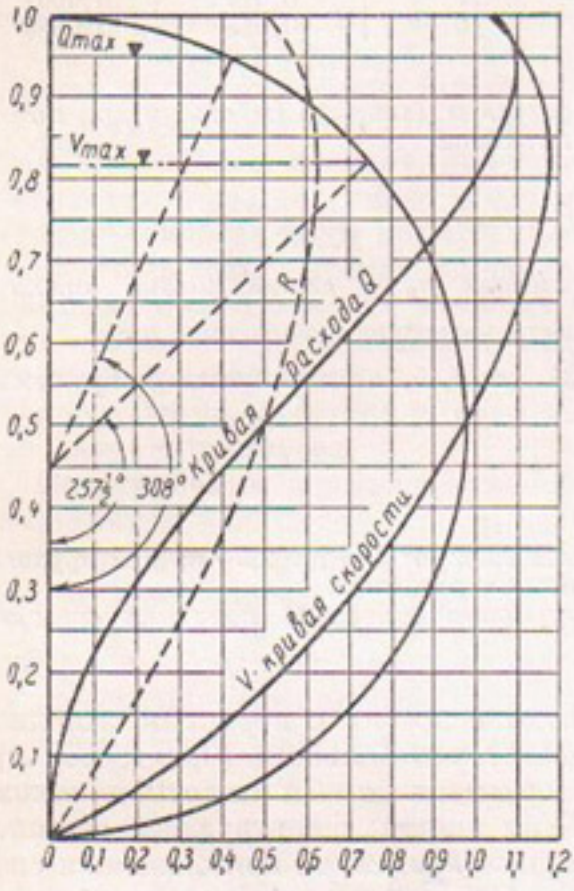


Рис. 284.

При расчетах трубчатых дрен обычно принимают работу дрен полным сечением, тогда как практически это заполнение будет лишь в нижних частях дренажной линии. Диаметр дрен должен быть таков, чтобы весной, при максимальном внутреннем стоке, дрены успели до начала вегетации культур достаточно провентилировать почву. В кротовых же дренах, как сказано выше, заполнение их водой должно быть не более $0{,}33d$ по условиям прочности дрен.

Расчет дрен при заданном расходе $Q = \omega q$ ведется по формуле:

$$Q = Fv = \frac{\pi d^2}{4} C_0 \sqrt{dI} = 0{,}79\, C_0 d^{\frac{5}{2}} I^{0{,}5}.$$

(Значение C_0 приведено на стр. 454).

Для облегчения подсчетов в справочниках приводятся таблицы и графики, которые дают зависимость между q, ω, v, I и d. Зная q и три остальных элемента, можно по графику определить четвертый.

Диаметр регулирующих трубчатых дрен, как сказано выше, принимают не меньше 5—6 *см*; диаметр кротовых дрен — не меньше 10 *см*.

Диаметры коллекторов принято делать не больше 25—30 *см*, так как: 1) при дальнейшем увеличении диаметра сильно возрастает стоимость труб; 2) размеры обслуживаемой одним закрытым коллектором площади приходится ограничивать из опасности засорения системы. Поэтому при большой дренируемой площади ее разбивают на участки с таким расчетом, чтобы каждый мог обслуживаться коллектором принятого диаметра.

Диаметр коллектора по длине его делается переменным, увеличиваясь сверху вниз по течению по отдельным участкам с помощью особых переходных труб с раструбами.

Для определения изменений диаметра коллектора по длине его коллектор разбивается на участки, обслуживающие определенные части дренируемой площади, начиная сверху, и для каждой такой площади подсчитывается нужный диаметр коллектора.

Арматура дренажной системы

Главнейшие сооружения, необходимые на дренажной системе, сводятся к следующим: устья — при выходе коллектора в открытый водоприемник, смотровые и осадочные колодцы, перепады и регулирующие сооружения.

У с т ь е при выходе коллектора в водоприемник является весьма ответственным местом в дренажной системе, так как всякая неисправность здесь сказывается выше на всей системе. В то же время в устье дренаж подвергается наиболее опасным внешним влияниям: высоких вод, обвалов земля-

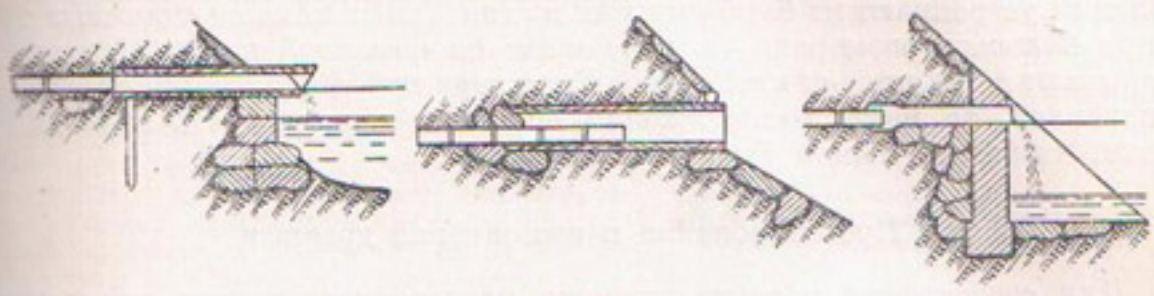


Рис. 285.

ных откосов водоприемника, размыва или засорения водами водоприемника, льдов и, наконец, повреждению животными. Поэтому для устья должно быть выбрано наиболее устойчивое место, не подтопляемое водами водоприемника, не подверженное оползанию откосов, заносам и засорению; должен быть обеспечен надежный отток дренажных вод от устья коллектора, для чего водоприемник (осушительный канал или естественный водоток) должен быть предварительно подготовлен.

Устья коллекторов должны быть заложены выше стояния высоких вод в водоприемнике; если не удается достигнуть этого, нужно предупредить временный заход высоких вод водоприемника в коллектор устройством автоматического, плотно замыкающегося клапана на выходной трубе устья.

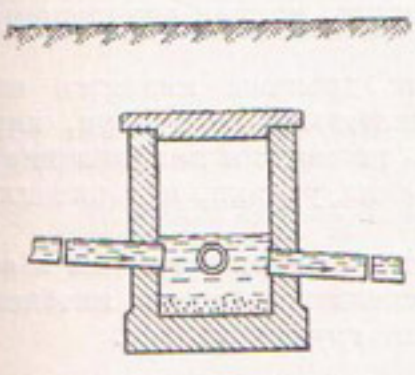


Рис. 286.

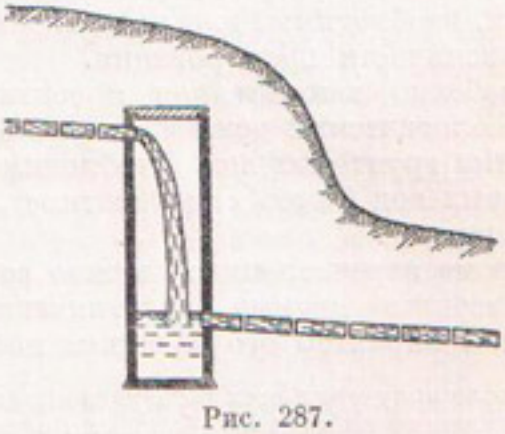


Рис. 287.

Последняя дренажная труба коллектора должна входить в особую выводную трубу длиной 1—2 *м* (деревянную, бетонную или керамиковую). Один конец этой трубы выходит наружу в откос водоприемника или открытого канала, а другой, больший конец заделывается в землю; для предохранения выводной трубы от смещения она должна опираться на каменную подпорную стенку или на деревянные сваи. Откос канала в месте выхода дрен должен быть укреплен дерном или мостовой.

Дренажные устья устраиваются различных типов; некоторые из них показаны на рисунке 285.

В зыбких грунтах применяется свайная конструкция устьев.

К о н т р о л ь н ы е к о л о д ц ы располагают: 1) в местах впадения коллекторов младшего порядка в коллекторы старшего порядка; 2) в пунктах сильных переломов дренажной линии в горизонтальном или вертикаль-

ном направлении. Верх такого колодца располагается под землей, на глубине ниже пахотного слоя (рис. 286). Дно колодца должно быть на 30—45 *см* ниже выхода в него дренажных труб, чтобы в углублении колодца могли оседать наносы, выносимые дренажными водами; колодцы надо периодически чистить. Расстояния между осадочными колодцами делаются не более 400 *м*. Открывая колодец, можно, в случае порчи дренажа, видеть, какой из коллекторов не работает, и таким образом находить неисправные участки. Примерно такие же колодцы строят и в качестве п е р е п а д о в — в случае пересечения дренажной линией крутого падения местности (рис. 287). Колодцы устраивают из бетонных или из гончарных канализационных труб, а при больших размерах — в виде шахт из каменной кладки; сверху их закрывают деревянными крышками. Если верх колодца делается скрытым — под землей, то места расположения колодцев должны быть отмечены на плане, чтобы их можно было легко найти.

Проектирование и выполнение дренажа

Для составления проекта дренажа производится точная нивелировка участка по квадратам со сторонами в 20—50 *м*, в зависимости от сложности рельефа. Горизонтали на плане должны быть нанесены через 0,10—0,20 *м*, а при крутых склонах через 0,25—0,50 *м*. План делается в масштабе 20 *м* в 1 *см*, на нем указываются все каналы, водотоки и водоприемники. Кроме топографических изысканий, необходимо тщательное почвенное и гидрогеологическое обследование участка, главным образом в отношении водных и физических свойств почвы и положения грунтовых вод, и составление почвенной и гидрогеологической карты участка.

При дренаже торфяных почв должна быть произведена зондировка торфа до подстилающего его грунта в целях выяснения строения, качества, глубин торфа, степени разложения его, характера подстилающего грунта. Затем должен быть подробно обследован водоприемник, в который намечается выпуск коллектора дренажной системы. Далее, должны быть собраны данные, характеризующие климатические и гидрологические условия участка, необходимые для определения величины модуля внутреннего стока и интенсивности дренирования.

Особенно важным для проектирования дренажа является изучение гидрогеологических условий территории: залегания водоупора, характера и режима грунтовых вод. Необходимо знать размеры и направление потока грунтовых вод (карта гидроизогипс), колебания уровня, питание их, наличие напора.

Кроме перечисленных, нужно собрать также экономические и сельскохозяйственные данные, позволяющие определить нужную интенсивность дренажа, характер его и нормы понижения грунтовых вод.

После получения всех вышеуказанных данных приступают к определению расположения главного коллектора, боковых коллекторов и регулирующих дрен; выясняют площади обслуживания каждого коллектора и отдельных дрен, подбирают их диаметры. Коллекторы по длине разбиваются на отдельные участки и, сообразно этому, проектируется увеличение диаметра коллектора по длине его.

На плане системы надписывают диаметры и протяжения дренажных линий. По этим данным подсчитывают потребное количество и вес труб на каждой дренажной линии и объем работ по укладке дренажа.

На плане намечаются также места расположения смотровых и регулирующих колодцев и устьев коллекторов.

Необходимо сравнить несколько возможных вариантов расположения дренажа. После того как проект утвержден, он переносится на местность: разбивают намеченные дренажные линии, нивелируют и составляют продольные профили коллекторов.

Траншеи для укладки дрен, по общему правилу для осушительных каналов, роются снизу вверх; укладка же дрен в готовую траншею ведется сверху вниз, и по мере укладки дрен траншеи засыпаются землей и затрамбовываются. Дренажную траншею делают шириной поверху 0,30—0,40 *м*, постепенно сужая ее книзу.

При широком (25—30 *см*) дне траншей для предупреждения бокового сдвига дренажные трубы укладывают на особые стеллажи из досок (рис. 288). Укладка дрен по стеллажам

особенно необходима в том случае, если дно траншеи дает осадку или грунт его плывучий и зыбкий.

Для рытья траншей применяются специальные траншейные экскаваторы, работающие с тракторами.

В мягких, насыщенных водой грунтах, непосредственно за машиной производится крепление траншеи, во избежание обвала откосов. Перед укладкой дрен дно траншеи должно быть тщательно выверено для обеспечения однообразного уклона.

Дренажные трубы кладут плотно впритык одна к другой; по мере укладки дрен дренажную линию засыпают отдельными участками сверху вниз. При засыпке рекомендуется непосредственно на дрену насыпать слой щебня, который усиливает и дополняет действие гончарной дрены; в случае же каменного или деревянного дренажа кладется сверху мох или дернина травой вниз.

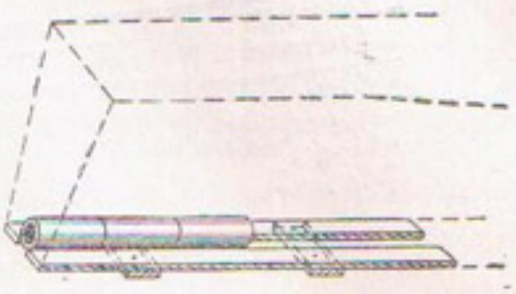


Рис. 288.

После укладки дрен и покрытия их щебнем или дерном траншею засыпают землей и затрамбовывают.

Для засыпки дренажных траншей после укладки дрен применяются экскаваторы или скреперы. Но и при машинном заполнении траншей первый слой засыпки над самыми дренажными трубами на высоту 30 *см* лучше делать вручную во избежание сдвига труб.

При устройстве кротового дренажа через предварительно вырытые открытые собирательные каналы (если кротовые дрены впускаются прямо в них) или же траншеи для закладки трубчатых коллекторов (если кротовые дрены впускаются в закрытые коллекторы) в соответствующих местах перекидываются брусья, на которые ставится дренажная машина, нож которой опускается в канал и устанавливается на требуемую глубину дренирования; после этого машина получает движение, нож врезается в откос канала и начинает делать в почве по намеченному направлению щель и кротовую дрену.

По достижении требуемой длины дренажного хода нож вынимают из земли и машину перемещают на новую дренажную линию.

Если уклон дренажных ходов не может быть параллелен уклону поверхности почвы, то при работе прямой тягой поступают двояко: или изменяют во время работы глубину погружения ножа в почву (при помощи особого механизма), сообразно нужному уклону дрены, определяемому по натянутому шнуру по линии дрены, или же по линии дрены делают спланированную с нужным уклоном борозду, по которой и движется дренажная машина с постоянной глубиной погружения ножа.

На тяжелых почвах и при большой глубине дренирования, когда потребное тяговое усилие велико, применяется раздельная система дренирования, когда полость дрены выполняется после образования щели,— путем протаскивания дренера на тросе с помощью лебедки, о чем говорилось выше. Этот способ не только уменьшает тяговые усилия, но и позволяет получать более устойчивую полость дрены и с ровным уклоном.

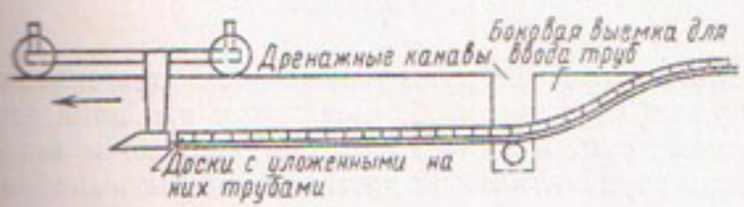


Рис. 289.

Дренажные (кротовые) машины применяются также для механизации производства дренажных работ вообще, т. е. для укладки в почву на нужной глубине трубчатых дрен или фашин без рытья траншей. Существуют два способа такого дренирования.

При первом способе в образуемый дренажной машиной подземный ход вводятся при помощи нее же обычные дренажные трубы. В этом случае дренер машины имеет диаметр больший, нежели диаметр вводимых дренажных труб (10—16 *см*). При помощи особого устройства к дренеру прикрепляют проволокой деревянные рейки (длиной по 500, шириной 9 и толщиной 0,8 *см*). Рейки соединяют между собой проволокой и на них плотно укладывают дренажные трубы. Затем вся система реек с уложенными на них трубами вводится машиной в образуемый ею кротовый ход (рис. 289). Скорость ввода может доходить до 0,35—0,40 *м/сек* (на мягких почвах без камней).

При втором способе дренажные трубы вводятся в кротовину при помощи прикрепленного к дренеру троса с нанизанными на нем полыми железными четками. Трубы при протаскивании в кротовый ход сопротивлением почвы плотно прижимаются друг к другу, так что укладка получается хорошей; конечная труба упирается в специальное приспособление в виде вилки. После укладки всей линии труб трос отцепляется и вытаскивается обратно.

В плывунах и тонком илистом грунте стыки дрен обматывают войлоком и обкладывают сфагновым мхом для предупреждения заиления труб. Для предупреждения сдвига и осадки труб при укладке дренажа на моховом болоте прибегают к следующему способу: на дно траншеи кладут слой вереска и сильно утрамбовывают его; на полученное основа-

ние укладывают дренажные трубы, предварительно нанизанные по 10 штук на газовую трубу или деревянный стержень соответствующей толщины. Не вынимая стержня, дрены закладывают мелким хворостом, затем торфом с хорошим уплотнением, после чего траншею засыпают землей, трамбуют и вытаскивают стержень.

Когда грунтовые воды залегают глубоко, но находятся под напором и насыщают вышележащие слои почвы, тогда водоносный слой соединяется

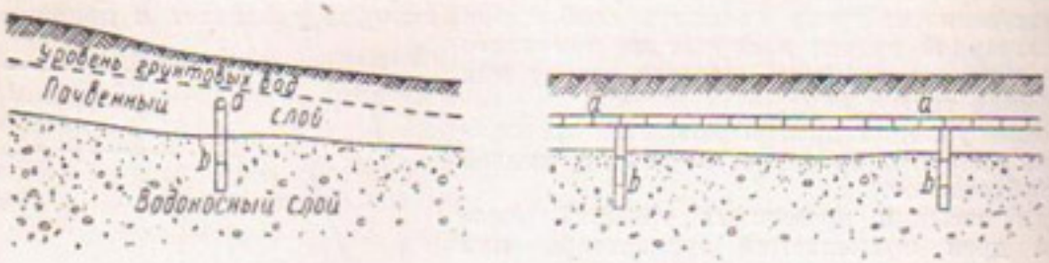


Рис. 290.

с горизонтальным дренажем при помощи вертикальных поглощающих воду труб, поставленных на определенных расстояниях по длине дрен. Поглощаемая вертикальными трубами грунтовая вода поступает в горизонтальные дрены и отводится ими в водоприемник.

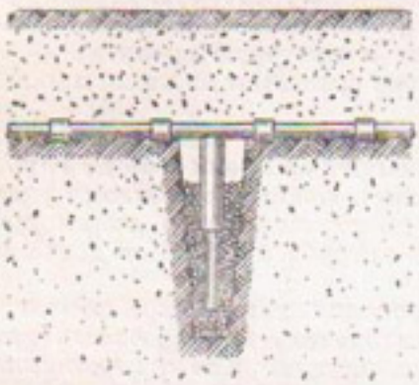


Рис. 291.

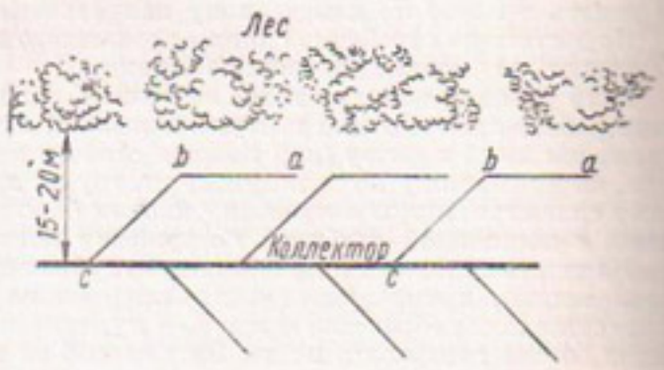


Рис. 292.

Таким образом, действие горизонтальных дрен усиливается опущенными в водоносный слой поглощающими колодцами. Схематически это показано на рисунке 290, где *aa* — линия дрен, а *bb* — трубы, опущенные в водоносный слой. Глубина заложения горизонтальных дрен должна быть сообразована с высотой напора грунтовых вод, чтобы они могли поступать в дрены.

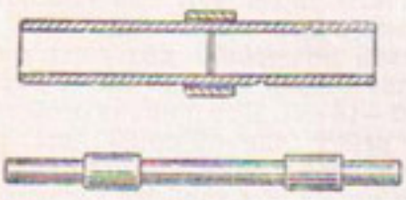


Рис. 293.

Расстояния между вертикальными поглощающими трубами по длине дрен зависят от характера водоносного грунта и делаются от 10 до 70 *м*; диаметр поглощающих труб принимают от 10 до 15 *см*, причем стенки их укрепляются, во избежание обвалов и засорения.

Иногда поглощающие вертикальные трубы опускаются в специально устраиваемые шурфы, наполненные щебнем или камнем (рис. 291). Расстояния между горизонтальными дренами при наличии вертикальных труб могут быть сделаны больше, так как дренаж в этом случае действует более энергично.

Если на дренируемой площади имеются участки с древесными насаждениями, то коллектор должен отстоять от границы этих насаждений, по крайней мере, на 15—20 *м*, чтобы корни деревьев не проникали в стыки дрен и не закупорили коллектора. Изолирующая полоса может быть дренирована короткими линиями дрен *abc* (рис. 292); в случае закупорки

какой-нибудь из этих дрен нарушение дренажа будет локализовано и не приостановит действия всей системы в целом. При дренировании садов или парков, когда дренируемая площадь сплошь занята древесной или кустарниковой растительностью, на стыки дренажных труб надевают муфты в виде колец из более широких дренажных труб, причем промежуток между муфтой и трубой затыкается пенькой (рис. 293).

При проведении коллектора *под открытыми каналами*, где имеется опасность засорения труб илом, вымываемым фильтрующейся из канала водой, на стыки надевают муфты и замазывают их глиной, или же делают коллектор в этом месте из керамиковых труб с заделкой стыков; то же делается при пересечении коллектора с дорогами, во избежание сдвига труб. Если несколько регулирующих дрен пересекают канаву или дорогу, то их предварительно соединяют коллектором и делают пересечение в одном месте.

Когда коллектор или дрена проходит близко от открытой канавы, то, во избежание фильтрации воды из канавы в дрену и заиления ее, нужно относить коллектор от канавы не менее чем на 10 *м*.

Глава двенадцатая

ПРОВОДЯЩАЯ ЧАСТЬ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Как было установлено выше, проводящая часть осушительной системы имеет задачей своевременно отводить с осушаемой площади в водоприемник все излишние, подлежащие удалению поверхностные и почвенно-грунтовые воды, как собранные регулирующей сетью, так и непосредственно поступающие в проводящие каналы.

С проводящими каналами непосредственно соединяется регулирующая сеть, удаляющая избытки поверхностных или почвенно-грунтовых вод и регулирующая водный режим на мелиорируемых землях. В некоторых случаях, при соответствующих гидрологических и хозяйственных условиях (узкие поймы, проницаемые почвогрунты, грунты, подстилаемые крупнозернистыми грунтами), глубокие проводящие каналы могут выполнять функции регулирующих и понижать грунтовые воды на нужную глубину без устройства дополнительной регулирующей сети. В этих случаях они должны иметь достаточную глубину, обеспечивающую необходимую регулирующую емкость (особенно в осенне-зимний период) для поглощения влаги весной и расходования ее летом, и быть соответственно более или менее редко расположенными. Необходимое понижение грунтовых вод между каналами зимой для получения достаточной регулирующей (аэрационной) емкости должно составлять в торфяной почве 100—120 *см*.

В большинстве случаев проводящие каналы делаются в виде открытых постоянных каналов[1].

В проводящие каналы поступают избыточные воды как поверхностного стока, так и почвенно-грунтовые. Соотношение тех и других зависит от времени года, гидрологических условий, типа заболачивания и характера осушения. Однако в большинстве случаев максимальные расходы воды, на которые приходится рассчитывать пропускную способность проводящих каналов, определяются главным образом поверхностным (весенним или летним паводковым) стоком.

Что касается необходимой глубины проводящих каналов, то она определяется прежде всего условиями водного питания заболоченных земель и геологическими условиями. Если заболоченные земли имеют напорно-грунтовое и грунтовое питание или подстилаются песками, то проводящие каналы должны врезаться в подстилающий водоносный слой или доходить до него и иметь глубину порядка 2—3 *м* и более, в зависимости от гидрогеологических условий и глубины регулирующей сети.

---

[1] Закрытая проводящая сеть делается для отвода грунтовых вод в виде дренажных коллекторов (о чем говорилось уже выше); иногда она применяется и для отвода поверхностных вод, когда нельзя терять площади под открытые осушительные каналы; в этом случае подземные трубы должны иметь по своей длине выходящие на поверхность приемники для впуска поверхностных вод. *Прим. автора.*

При устройстве каналов в торфяных грунтах следует учитывать отмеченный А. В. Смирновым факт о том, что откосы этих каналов вследствие усиленного разложения торфа постепенно становятся мало водопроницаемыми и плохо отводят грунтовую воду, почему в торфах глубину каналов следует доводить до достилающего песка. Если же заболоченные земли имеют атмосферное питание и подстилаются водонепроницаемыми грунтами и осушение их производится ускорением поверхностного стока, в этом случае глубина проводящих каналов может быть порядка 1,7—2 *м* и более, чтобы обеспечить надлежащую пропускную способность поступающих в них паводковых вод.

Расстояния между проводящими каналами делаются порядка 400—600 *м* и более с таким расчетом, чтобы они ни в какой мере не могли стеснять механизацию сельскохозяйственных работ и, в частности, поперечной обработки пропашных культур.

Проводящая осушительная сеть должна отвечать требованиям своевременного отвода в водоприемник всех поступающих в нее излишних вод и притом с наименьшими затратами, как единовременными (минимум стоимости), так и эксплуатационными (минимум зарастания, зарастания и обрушения откосов), и без затопления прилежащих площадей в течение всего года или определенного критического периода (в зависимости от характера использования осушаемой площади).

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И РАСЧЕТА ПРОВОДЯЩИХ КАНАЛОВ; РАСХОДЫ ПРОВОДЯЩИХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Проводящая осушительная сеть, как сказано выше, отводит: 1) воды поверхностного стока, стекающие с вышележащей водосборной площади (которая вообще не равна осушаемой площади), и 2) почвенно-грунтовые воды, поступающие в проводящую сеть как непосредственно (через дно и откосы проводящих каналов), так и из регулирующей сети (если таковая имеется). Количество отводимых поверхностных и грунтовых вод, зависящее от изменяющихся природных, климатических и гидрологических факторов и от условий сельскохозяйственного использования площади, не остается постоянным, а изменяется во времени как в течение года, так и в разные годы.

Пропускная способность и размеры проводящих каналов должны быть рассчитаны на отвод максимальных за критический период (сообразно характеру использования площади) расходов поступающих в них вод и прежде всего поверхностных, так как в сравнении с ними максимальный расход грунтовых вод обычно невелик. Поэтому для определения размеров проводящей осушительной сети нужно прежде всего установить наибольшие расчетные расходы поступающего в нее поверхностного стока.

Если на осушаемой площади имеется регулирующая сеть, например дренажная, или если проводящая сеть отводит и грунтовые воды, что имеет место на болотах грунтового питания, то к поверхностному стоку прибавляется внутренний сток, даваемый каналами или дренами[1].

Количество почвенно-грунтовых вод, поступающих в проводящие осушительные каналы с прилежащих земель, может быть определено на основе тех принципов, что были изложены выше, в зависимости от условий питания и напора грунтовых вод, а также с учетом горизонтов в водоприемнике и проводящей сети.

Количество поверхностного стока, поступающее в тот или иной проводящий канал, определяется, с одной стороны, размерами водосборной площади его, а с другой — стоком с единицы этой площади при данных условиях. *Величина стока с единицы водосборной площади называется модулем стока и обычно измеряется в литрах в секунду с 1 га.* Величина эта зависит: 1) от характера и размеров водосборной площади и степени канализации ее и 2) от климатических и гидрологических условий стока данного

[1] Имеются в виду периоды, когда грунтовые воды могут по условиям горизонтов воды в проводящей сети поступать в нее.

периода. *Расчетная величина модуля стока должна быть установлена в соответствии не только с природными гидрологическими и почвенными условиями стока с данной площади, но и с характером хозяйственного использования ее*, определяющим необходимую интенсивность и срочность удаления вод с осушаемой площади и степень канализации ее.

МОДУЛЬ СТОКА И ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕГО ФАКТОРЫ

Главнейшие факторы, влияющие на величину модуля стока, следующие: 1) количество осадков, их интенсивность, время выпадения; 2) проницаемость почвы; 3) рельеф и уклон водосборной площади; 4) состояние поверхности и характер растительного покрова, интенсивность испарения воды; 5) размеры и форма водосборной площади и степень канализации ее, обусловливающие явление так называемого замедления или запаздывания стока.

В зависимости от действия этих факторов величина модуля стока не остается постоянной, а изменяется во времени и в пространстве. Отсутствие по весьма многим районам достаточно длительных непосредственных наблюдений стока, большое разнообразие местных условий, с которыми приходится встречаться при проектировании осушения, делают невозможным применять один статистический метод, так как он не позволяет учесть те изменения факторов стока (характер растительного покрова, изменения водопроницаемости почвы, степени канализации площади и др.), которые могут иметь место на данной площади в последующем, что особенно важно при установлении расчетного модуля стока. *Поэтому при установлении модуля стока приходится прибегать и к аналитическому методу, основанному на рассмотрении образования (генезиса) явлений стока и тех главнейших факторов, от которых зависит величина его.* В дальнейшем изложении предварительно остановимся на рассмотрении явлений образования и динамики стока.

Формирование и динамика стока

Схематически осушительную систему можно представить в следующем виде (рис. 294): AB — магистральный канал, впадающий в водоприемник в пункте B; *1—1*, *2—2*, *3—3* и т. д.—боковые каналы, имеющие соответственно длины λ_1, λ_2, λ_3 и т. д. и длины примыкающих к ним водосборных склонов l_1, l_2, l_3 и т. д.

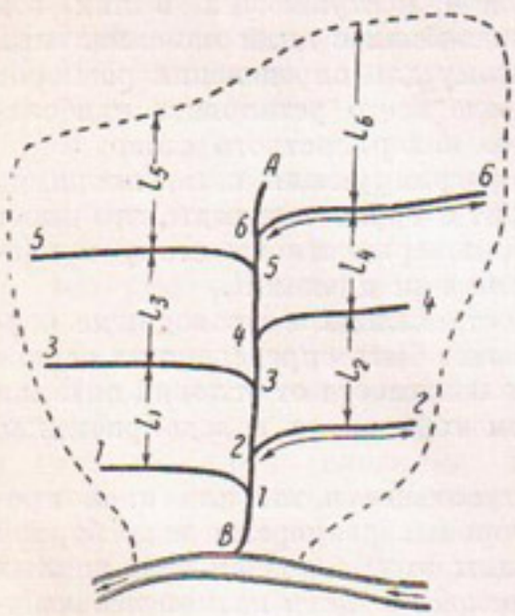


Рис. 294.

В общем случае как длины водосборных склонов l, обслуживаемых отдельными боковыми каналами, так и форма их неодинаковы, особенно если вся водосборная площадь имеет не прямоугольную форму и канализована не полностью. Сток каждой частицы воды, поступившей на водосборную площадь (в виде дождя или при весеннем таянии), происходит сначала по поверхности водосборного склона на протяжении его l, затем по боковому каналу длиной λ и, наконец, по магистральному каналу от устья данного бокового канала до водоприемника.

Общая продолжительность стекания в водоприемник воды осадков или талых вод, поступающих на водосборную площадь, больше продолжительности выпадения осадков или таяния; при этом количество стекающей воды изменяется по некоторой кривой, сначала нарастает до известного макси-

мума, затем остается при этом максимуме большее или меньшее время и, наконец, начинает постепенно падать.

Для расчета пропускной способности осушительных каналов особенно важно установить величину максимума стока и его продолжительность при разных условиях. Этот максимум не может быть больше произведения интенсивности осадков или таяния (минус поглощение в почву и испарение) на величину водосборной площади, и в ряде случаев он значительно меньше этой величины вследствие происходящего так называемого *замедления стока*. Явление замедления или запаздывания стока происходит в силу того, что при значительных длинах водосборных площадей и каналов, которые должна проходить вода, и при малых скоростях движения воды в водоприемник одновременно успевает поступить вода, выпавшая не на всю водосборную площадь, а только на некоторую часть ее (причем эта «действующая» часть во времени меняется), т. е. *происходит запаздывание стока по сравнению с выпадением осадков или таянием*.

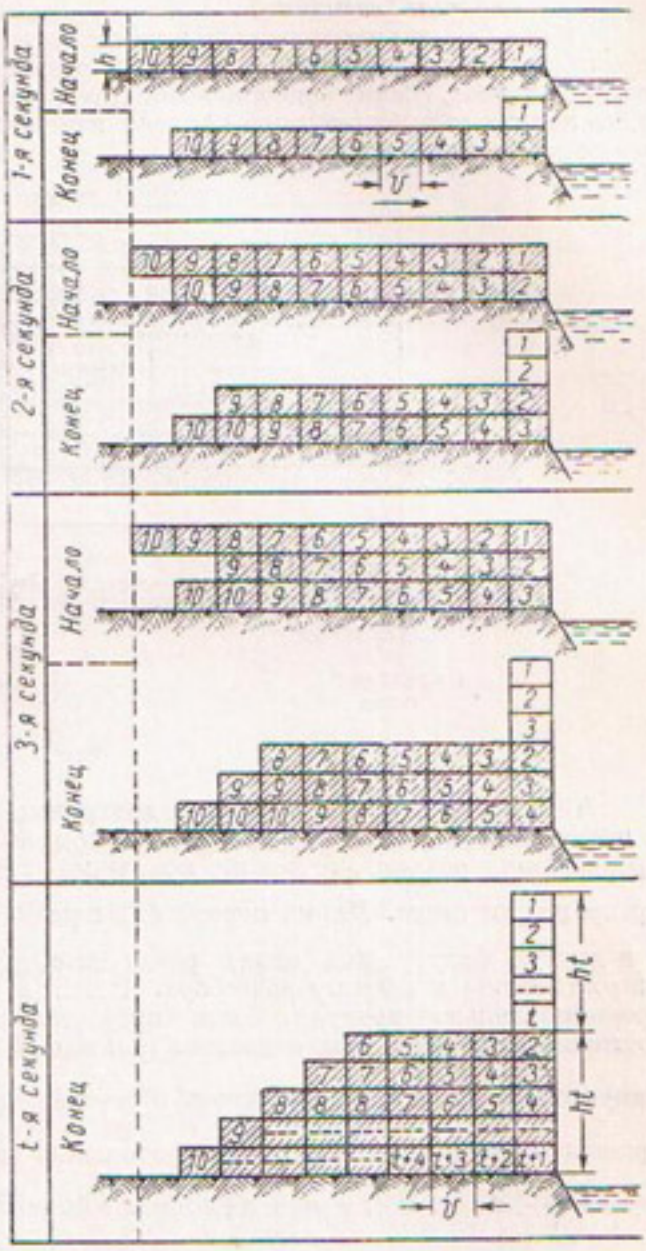


Рис. 295.

В общем виде количество стока, поступающее в водоприемник или канал в секунду, равно секундной интенсивности осадков или таяния (за вычетом поглощения в почву и испарения), помноженной на величину водосборной площади этого водоприемника или канала и на некоторый коэффициент *замедления стока*, который меньший или в отдельных случаях равный единице. *Значение же модуля стока равно секундной интенсивности осадков или таяния (за вычетом поглощения в почву и испарения), помноженной на коэффициент замедления стока.*

Чтобы уяснить явление замедления стока, рассмотрим сначала сток по отдельным элементарным (неканализованным) водосборным склонам той или иной формы, а затем уже сток со всей водосборной площади. При этом сток рассматривается при условии равномерного выпадения осадков и таяния в течение времени t *сек* с интенсивностью h *м/сек* (слой h эквивалентен слою осадков за вычетом поглощения в почву и испарения).

Предположим сначала, что ширина водосбора постоянна по его длине. Для анализа явления расчленим непрерывно совершающийся во времени процесс стока на ряд отдельных импульсов, происходящих мгновенно, т. е. в течение очень малых промежутков времени; примем выпадение элементарного слоя осадков h происходящим в начале этого промежутка времени, а сток — в конце его.

Скорость движения воды по водосбору v для упрощения примем равномерной по всей длине склона. Строим ряд диаграмм (рис. 295), дающих схематическое представление явлений, совершающихся на водосборной площади в различные моменты времени от начала стока. Прилежащая к водоприемнику часть водосбора разделена на 10 равных полосок, каждая длиной v *м*. Заштрихованные прямоугольники показывают объемы воды, находящейся еще на водосборе, а незаштрихованные — те призмы воды, которые уже

поступили в водоприемник. Номера прямоугольников показывают номер той полоски, на которую выпал данный слой воды h. Построение диаграммы понятно из чертежа. На основании этих диаграмм можно построить результирующую диаграмму (рис. 296). Правая половина этой диаграммы показывает изменение стока во времени, она построена по белым прямоугольникам предыдущих диаграмм; левая построена по заштрихованным прямоугольникам и показывает распределение толщины слоя стекающей воды на всей длине водосбора в определенный момент времени от начала осадков и стока. Величина стока на конце ската длины l для t-й секунды от начала осадков равняется htv, где ht — высота слоя воды, скатывающегося в рассматриваемый момент времени в водоприемник, а v — средняя скорость стекания.

Если t равно продолжительности выпадения осадков, то левая половина диаграммы показывает распределение слоя воды, остающейся на длине водосбора l в момент окончания осадков. Если основание этой диаграммы l разделить на отрезки, каждый длиной v, то получим приближенную картину изменений слоя стекающей воды в водоприемник после окончания осадков.

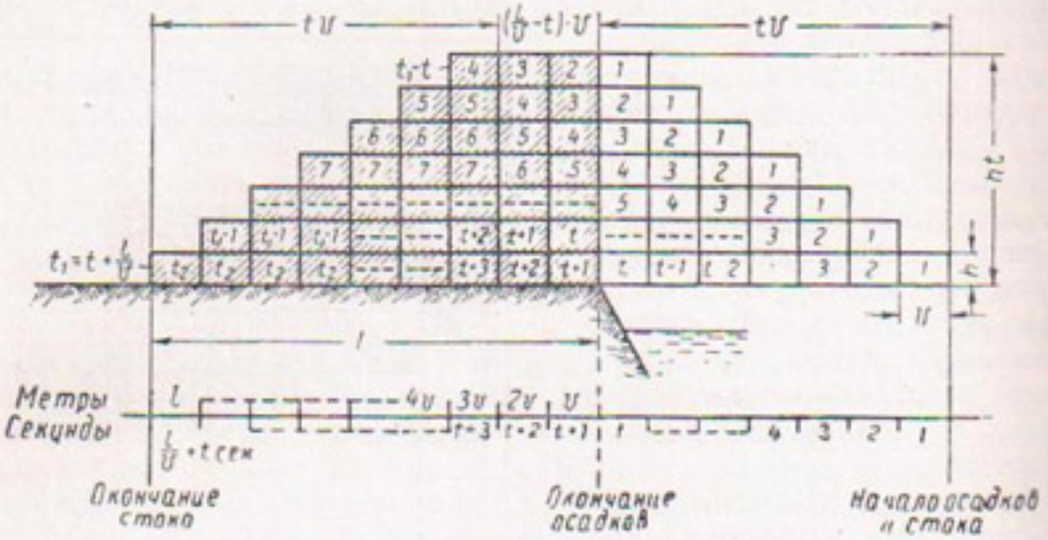


Рис. 296.

Таким образом, обе половины диаграммы показывают две последовательные фазы в процессе стока: правая половина — сток от начала выпадения осадков до момента прекращения осадков, левая же половина — сток после окончания осадков до момента прекращения стока. Длина первой фазы равна t, длина второй фазы равна $\frac{l}{v}$. И в ту и в другую фазу расход стока равен высоте слоя в данный момент, умноженной на скорость стока и ширину водосбора. Итак, в первой фазе сток постепенно возрастает пропорционально времени. Если продолжительность осадков t, то к концу их сток достигнет максимума и сделается равным $b(ht)v = bhtv$, где b — ширина водосбора. Такую величину сток будет иметь в течение времени $\left(\frac{l}{v} - t\right)$, а затем в течение времени t величина стока начнет постепенно спадать, пока не прекратится совершенно спустя $\frac{l}{v} + t$ *сек* после начала стока. Убывание стока начнется через $\frac{l}{v}$ *сек* от начала осадков. Полная продолжительность стока равна $t + \frac{l}{v}$ (последняя капля осадков, упавшая на самую удаленную точку от водоприемника, дойдет до него через $\frac{l}{v}$ *сек* после окончания выпадения осадков); начинается же сток с началом осадков, т. е. за t секунд до окончания осадков.

При максимальном стоке действующая площадь водосбора, с какой вода непосредственно поступает в водоприемник, равна $\omega_1 = vtb$. Эта площадь стока ω_1 меньше всей водосборной площади ω, равной bl.

Отношение $\varphi = \frac{\omega_1}{\omega}$ *называется коэффициентом замедления или запоздания стока*; он равен: $\varphi = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{vt}{l}$ (при прямоугольной форме водосбора).

Таков общий характер явлений стока воды по водосбору.

Практически могут представиться три случая:

случай I — длинного водосбора: $\frac{l}{v} > t$ — рассмотрен выше; максимум стока $Q_{max} = h(vt)b$ наступает в момент окончания осадков. Так как $vt < l$, то $\omega_1 < \omega$

и, следовательно, проявляется замедление стока, причем коэффициент замедления стока:

$$\varphi = \frac{h(vt)b}{hlb} = \frac{vt}{l} < 1{,}0;$$

случай II — короткого водосбора: $\frac{l}{v} < t$. Через $\frac{l}{v}$ *сек* после начала осадков в стоке будет принимать участие вся длина водосбора и наступит максимум стока. Следовательно, в этом случае максимальный сток будет определяться не продолжительностью осадков t, а длиной водосборной площади:

$$Q_{max} = (ht)\,vb = \left(h\frac{l}{v}\right)vb = hlb;$$

коэффициент замедления стока в этом случае равен единице, ибо $\omega_1 = \omega$, т. е. при коротких водосборах замедление стока не имеет места;

случай III: $\frac{l}{v} = t$; здесь (как видно из рисунка 296) прямолинейная часть диаграммы выпадает (ибо $l = vt$) и непосредственно за окончанием осадков начинается убывание стока. Максимальное значение стока, равное произведению интенсивности осадков h на величину водосборной площади $Q_{max} = hlb$, будет иметь место только в самый момент окончания осадков. Коэффициент замедления стока равен единице.

Если площадь водосбора равна bl, где b — ширина его, то общее количество воды, поступающее на нее за время выпадения осадков, будет равно $blht$. Это количество воды стечет за время $T_0 = t + \frac{l}{v}$. Если сток нарастает по трапеции (I случай), то:

$$Q_{max} = \frac{2blht}{T_0 + \left(\frac{l}{v} - t\right)} = \frac{2blht}{2\frac{l}{v}} = blh\,\frac{vt}{l},$$

т. е. коэффициент замедления стока равен $\frac{vt}{l}$.

Если же сток нарастает по треугольнику (II и III случаи), то:

$$Q_{max} = \frac{2blht}{T_0} = blh\,\frac{2t}{T_0},$$

причем в этом случае $\varphi = \frac{2t}{T_0} = 1$, ибо при $\frac{l}{v} = t$ $T_0 = 2t$, а при $\frac{l}{v} < t$ $T_0 < 2t$, т. е. $\frac{2t}{T_0} > 1$, между тем коэффициент замедления стока не может быть больше 1, так как сток не может опережать осадки.

Из изложенного вытекает, что замедление или запаздывание стока не имеет места в том случае, если $\frac{l}{v} \leqslant t$, т. е.: а) при очень продолжительных осадках или очень медленном таянии; б) при коротких водосборах; в) при больших скоростях стока, т. е. крутых водосборах и большой интенсивности осадков.

При переменной ширине водосбора элементарные полоски, на которые условно разделена вся водосборная площадь, не являются одинаковыми по величине и не будут давать равновеликих количеств стекающей воды при одинаковом слое h.

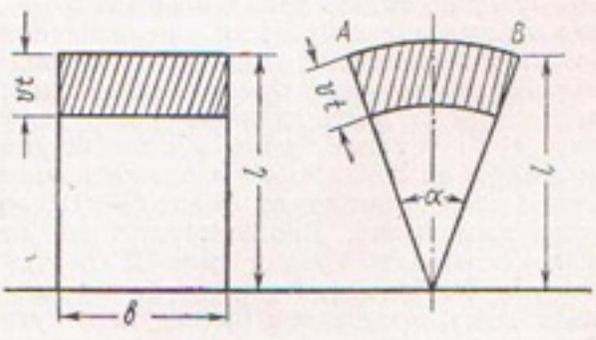


Рис. 297.

Рассмотрим, например, случай, когда водосборная площадь имеет форму сектора (рис. 297), при которой ширина площади изменяется от некоторого наибольшего значения до нуля. За время выпадения осадков вода пройдет путь vt, где v — равномерная скорость стока. Если α — центральный угол сектора, высота которого равна l, то длина дуги AB будет равна $\frac{\alpha\pi}{180}l$, а действующая площадь максимального стока (заштрихованная) $\omega_1 = \frac{\alpha\pi}{180}lvt$. Площадь же всего сектора равна:

$$\omega = \frac{\alpha\pi}{180} \cdot \frac{l^2}{2}.$$

Таким образом, коэффициент замедления стока для треугольной формы водосборной площади будет равен $\varphi = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{2vt}{l}$.

Максимальной величины площадь стока достигнет спустя $\frac{l}{v}$ *сек* после начала осадков, ибо только тогда до водоприемника дойдет вода, собранная на самой широкой полосе водосбора.

В общем виде значение коэффициента замедления стока равно $\varphi = \frac{vt}{l} n$, где n — коэффициент, характеризующий форму водосбора; для прямоугольной формы $n = 1$, для треугольной $n = 2$.

Значение этого коэффициента n может быть найдено так: наибольшая одновременная площадь стока $\omega_1 = Bvt$, где B — наибольшая ширина водосбора, тогда $\varphi = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{Bvt}{bl} = \frac{nvt}{l}$, откуда $n = \frac{B}{b}$, т. е. коэффициент n, характеризующий форму водосборной площади, представляет собой отношение максимальной ширины водосборной площади B к средней ее ширине $b = \frac{\omega}{l}$.

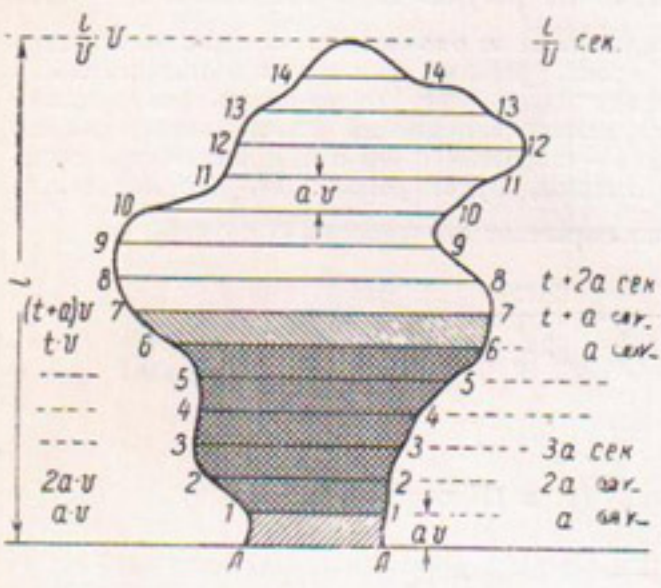


Рис. 298.

Влияние любой формы водосборной площади на динамику стока можно видеть из построения, представленного на рисунке 298. Продолжительность осадков t разбивается на N промежутков, равных a *сек* каждый.

При средней скорости стекания воды v *м/сек*, за промежуток времени a *сек* вода продвинется по склону на av *м*. Водосборная площадь разбивается на ряд полос шириной каждая av *м*. Эти полосы дают на плане водосбора определенные площади стока, соответствующие промежуткам времени av, $2av$, $3av$ и т. д. К концу первого промежутка времени (a *сек*) в водоприемник будет стекать вода с 1-й полосы — av; за второй промежуток времени будет поступать вода с 1-й и 2-й полос; за третий промежуток времени — с 1-й, 2-й и 3-й полос и т. д.; к концу осадков в водоприемник будет поступать вода, собранная на длине водосбора tv. К концу следующего промежутка, первого после окончания осадков, т. е. $t+a$, будет поступать вода, собранная на площади, ограниченной линиями *1—1* и *7—7*; первая от водоприемника полоса $(A-A)$ $(1-1)$ уже не будет участвовать в стоке, так как имевшаяся на ней вода успела уже стечь, дальнейшее же выпадение осадков прекратилось. В следующий промежуток времени $t+2a$ будет поступать вода, собранная с площади, ограниченной линиями $(2-2)$ и $(8-8)$; в третий промежуток времени $t+3a$ в водоприемник будет поступать вода с площади $3-3$ и $9-9$ и т. д. Таким образом, после окончания осадков длина площади одновременного стока остается постоянной, равной длине tv, достигнутой в момент окончания осадков, но эта длина передвигается к верхней границе водосборной площади, причем ближайшие к водоприемнику полосы постепенно выпадают из стока, и их место занимают более удаленные от водоприемника полосы. Это продолжается до тех пор, пока в сток вступит самая крайняя полоса водосбора; с этого момента и до конца стока начнется постепенное убывание стока вследствие сокращения длины площади стока от tv до $(t-a)v$, потом $(t-2a)v$ и т. д. до 0, когда сток прекратится совершенно. Продолжительность этой фазы убывания стока равна t *сек*. Если теперь построить график (рис. 299), где по оси абсцисс откладываются промежутки стока a, $2a$, $3a \ldots t$, $t+a$, $t+2a$ и т. д., а по оси ординат соответствующие им площади стока, полученные предыдущим путем, то этот график будет показывать изменения во времени одновременно действующих площадей стока. Наибольшая ордината этого графика дает искомую величину $\omega_{max} = \omega_1$, зная которую и получим величину коэффициента замедления стока:

$$\varphi = \frac{\omega_1}{\omega}.$$

Так определяется значение коэффициента замедления стока с неканализированных водосборов[1].

[1] Приведенные автором на стр. 465—468 схемы формирования поверхностного стока, несмотря на ряд условностей (постоянная интенсивность осадков и потерь стока, постоянство скоростей стока и др.), носят наглядный характер и раскрывают одну из важ-

Посмотрим теперь, что вносит в явление замедления стока канализация водосборной площади.

В этом случае вся водосборная площадь боковыми каналами разделяется на ряд отдельных элементарных водосборов длиной l, l_1, l_2 и т. д.

Прежде всего рассмотрим сток воды, поступающий в магистральный канал с каждого элементарного водосбора. Если длина бокового канала λ, а средняя скорость течения воды в нем v_0, то общая продолжительность стока воды с элементарного водосбора длиной l в магистральный канал от начала выпадения осадков до момента окончания стока будет равна:

$$T = \frac{l}{v} + \frac{\lambda}{v_0} + t.$$

В течение этого времени сток будет сначала нарастать от 0 до некоторого максимума, затем, пройдя через этот максимум, начнет спадать до нуля. В зависимости от соотношения продолжительности выпадения

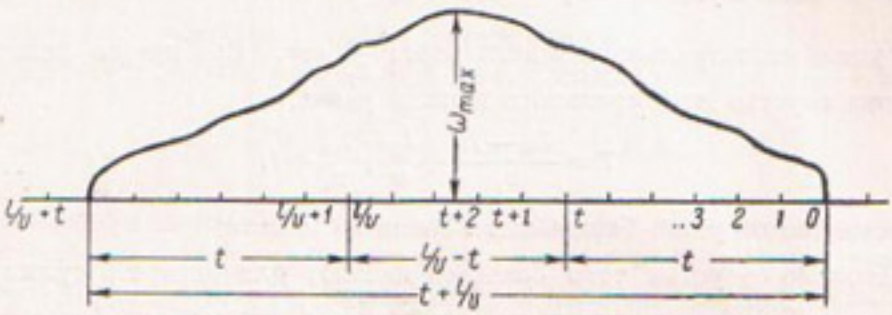


Рис. 299.

осадков t и продолжительности стекания их по элементарному водосбору $\frac{l}{v}$ и по каналу $\frac{\lambda}{v_0}$, а также от формы водосбора, может изменяться как величина максимума, так и время наступления и продолжительность его, т. е. гидрограф стока.

Общее количество воды, поступившее на элементарный водосбор за время выпадения осадков t, равно $l\lambda ht$. Максимальный расход стока будет равен: $Q_{max} = l\lambda h\varphi_0$, где φ_0 — коэффициент замедления стока. Если условно принять, что гидрограф стока будет приближаться к треугольнику, трапеции или некоторой кривой, то в первом случае коэффициент замедления стока будет равен $\varphi_0 = \frac{2t}{T}$; во втором $\varphi_0 = \frac{2t}{T+\tau}$, где τ — продолжительность прохождения максимального стока, и в третьем случае $\varphi_0 = \frac{2t}{\beta T}$, где коэффициент $\beta \gtrless 1$ ($\beta < 1$ для вогнутой кривой).

Так изменяются расходы, подаваемые боковыми каналами в магистральный канал, причем каждый канал имеет свою кривую стока. Эти расходы поступают в разных пунктах по длине магистрального канала и потому достигнут устья его не одновременно. Первыми начнут поступать в устье магистрального канала расходы воды из бокового канала *1 — 1* (рис. 294), именно через время $\frac{L_1}{v_1}$ *сек* после своего прохождения через устье бокового канала. Вторыми начнут поступать расходы воды из

нейших особенностей поверхностного стока — неодновременность притока воды с отдельных элементов водосборной площади к створу реки (или проводящей сети). Основные идеи этой схемы были высказаны А. Н. Костяковым в 1916 г. («Основные элементы расчета осушительных систем», изд. ОЗУ мин. земл., М., 1916) и разработаны в 1931 г. («К вопросу о факторах модуля стока и их изучении», Сельколхозгиз, 1931). Значительно позднее эти идеи в гидрологии стали применяться в виде так называемого способа изохрон — линий равного времени добегания (см. М. А. Великанов. Гидрология суши. Гидрометеоиздат, Л., 1948 и труды его школы), что совершенно справедливо отметил А. В. Огиевский («Гидрология суши», СХГ, М., 1951, стр. 230).

канала $2-2$ через $\frac{L_2}{v_1}$ *сек* после своего прохождения через устье этого канала и т. д.; здесь v_1 — скорость воды в магистральном канале.

Не одновременно будут поступать в устье магистрального канала и максимальные расходы боковых каналов, в силу чего максимальный расход магистрального канала будет *меньше суммы максимальных расходов всех боковых каналов.* Поэтому *чтобы найти наибольший расход воды, проходящий через устье магистрального канала, надо просуммировать во времени все расходы соответственных боковых каналов, одновременно проходящие через это сечение и непосредственно поступающие в магистральный канал.*

Общая продолжительность стока до устья магистрального канала равна (рис. 294):

$$T=\frac{L_6-L_1}{v_1}+t+\frac{l_6}{v}+\frac{\lambda_6}{v_0},$$

так как расходы воды из верхнего бокового канала начнут поступать в устье через $\frac{L_6}{v_1}$ *сек* после начала осадков, а расходы воды из нижнего бокового канала начнут поступать в устье магистрального канала через $\frac{L_1}{v_1}$ *сек*. Вообще же полная продолжительность стока в устье магистрального канала равна:

$$T=\frac{L_n-L_1}{v_1}+\frac{l_n}{v}+\frac{\lambda_n}{v_0}+t,$$

где L_1 — расстояние от устья ближайшего бокового канала;

L_n — расстояние от устья того бокового канала, для которого сумма $\frac{L_n}{v_1}+\frac{l_n}{v}+\frac{\lambda_n}{v_0}$ имеет наибольшее значение по сравнению с остальными боковыми каналами. Обычно это будет канал, имеющий наибольшую длину примыкающего к нему неканализированного водосборного склона l_n, наибольшую собственную длину λ_n и наиболее удаленный от устья магистрального канала.

Длину водосборных поверхностей надо считать по уклону местности и потому если боковые каналы расположены не в направлении горизонталей местности, а вдоль по уклону ее, действие таких каналов на ускорение стока ослабляется; то же наблюдается на длинных неканализованных склонах.

В зависимости от того или иного характера кривой (режима) стока изменяется и величина максимального стока.

Если водосборная площадь равна ω, суточное количество осадков или таяние равно слою p, то за время их выпадения t на водосборную площадь поступит объем воды, равный ωp. В водоприемник стечет количество воды, равное $\omega\sigma p$, где коэффициент $\sigma=1-\mu$ зависит главным образом от условий поглощения воды в почву водосбора; значения его приведены ниже. Это количество воды $\omega\sigma p$ стечет в водоприемник за время $T>t$. Если бы сток протекал равномерно, то средний расход стока был бы равен $Q_{ср}=\frac{\omega\sigma p}{T}$.

Так как сток происходит по некоторой кривой, то Q_{max} будет больше $Q_{ср}$.

В общем виде можно написать:

$$Q_{max}=\frac{K\omega\sigma p}{T},$$

где значение коэффициента $K=\frac{2T}{T+\tau}$ зависит от характера кривой стока: при форме гидрографа стока, близкой к трапеции, $K<2$; при форме, близкой к треугольнику, $K\sim 2$ и при ломаной кривой $K>2$ (до $3{,}5-4$).

Сообразно этому, максимальное значение модуля стока может быть написано в таком виде:

$$q_{max}=\frac{Q_{max}}{\omega}=\frac{K\sigma p}{T}=\frac{K\sigma p}{\frac{L_n-L_1}{v_1}+\frac{l_n}{v}+\frac{\lambda_n}{v_0}+t}.$$

Допуская, что скорости течения воды в боковых и магистральном осушительных каналах близки между собой и равны v_0, обозначая разницу $L_n - L_1 = L$ и делая некоторое преобразование предыдущего выражения, получим:

$$q_{max} = \frac{\sigma p}{t}\left(\frac{K}{1+\frac{l_n}{vt}+\frac{L+\lambda}{v_0 t}}\right) = \frac{\sigma p}{t}\left(\frac{K}{A}\right).$$

Выражение, стоящее в скобках, представляет собой значение коэффициента замедления стока; оно равно отношению продолжительности выпадения осадков или таяния к общей продолжительности стока их, умноженному на коэффициент K, зависящий от характера кривой стока. Значение коэффициента замедления стока может быть меньше единицы или равно ей, но не может быть больше единицы; *величина его зависит от характера кривой стока и, следовательно, от формы водосбора и канализации его.*

Если значение модуля стока выражать в *л/сек* с 1 *га*, количество осадков p выражать в миллиметрах, продолжительность их t в часах, то

$$q_{max} = 2{,}8\,\frac{\sigma p}{t}\left(\frac{K}{A}\right) \text{ л/сек с 1 га.}$$

Полученная формула для q_{max} показывает те главнейшие факторы, от которых зависит величина модуля стока, и взаимную связь между ними. Из нее видно, что эти факторы разделяются на две основные группы: 1) факторы постоянные для данной водосборной площади, каковы форма и размеры ее, характер и степень канализации l, L, λ, K и уклон I; 2) факторы переменные, изменяющиеся во времени, каковы интенсивность и продолжительность выпадения осадков, поглощение воды почвой, скорость стекания воды (p, t, σ, v).

Остановимся на главнейших из этих факторов. Коэффициент стока $\sigma = 1 - \mu$, где μ — коэффициент поглощения воды почвой и задержания ее на поверхности водосбора. Значение σ можно представить в таком виде:

$$\sigma = \left(1 - \frac{k_0}{p}t^{1-\alpha}\right) = \left[1 - \frac{k_0}{p}\left(\frac{l}{v}\right)^{1-\alpha}\right],$$

где k_0 — средний слой воды, поглощаемой почвой и задерживаемой на поверхности водосбора в первую единицу времени стока;
v — средняя скорость стока воды на водосборе;
l — длина водосборных поверхностей.

Из этого выражения видно, что коэффициент стока σ возрастает с увеличением уклона поверхности и направлением вспашки по уклону местности v, с увеличением слоя осадков p, уменьшением поглощения влаги почвой и задержания на водосборе k_0, с усилением канализации (уменьшение l).

Таким образом, коэффициент σ зависит: 1) от свойств почв водосбора — их структуры, проницаемости, влагоемкости, а также от степени облесенности, распаханности и направления вспашки; 2) от степени сухости почвы (сухие почвы поглощают больше воды, чем влажные) и, стало быть, от времени года: при прочих одинаковых условиях σ больше весной и меньше летом; 3) от продолжительности дождей; 4) от наличия на водосборе замкнутых, задерживающих воду котловин, западин, болот и пр.; 5) от условий оттаивания почвы весной. Обеспечение комковатой структуры почв путем травопольной системы земледелия и создание лесных полос уменьшают коэффициент стока σ.

Ориентировочные значения σ, изменяющиеся в зависимости от вышеуказанных условий, представлны в таблице 86 (для первых четырех строк бо́льшие значения относятся к осеннему и весеннему стокам в случае

непромерзшей почвы, последняя строка — к весеннему стоку по мерзлой почве).

Интенсивность осадков или таяния $\frac{p}{t}$ очень сильно влияет на величину q. При выборе расчетной интенсивности приходится руководствоваться не только климатическими и гидрологическими факторами, но и соображениями чисто хозяйственного порядка, о чем будет сказано ниже.

Таблица 86

Почвогрунты водосборной площади	Уклоны водосборной площади		
	слабые <0,01	средние 0,01—0,05	сильные >0,05
Хорошо водопроницаемые	0,10—0,20	0,15—0,25	0,20—0,30
Средне водопроницаемые	0,15—0,25	0,20—0,30	0,25—0,40
Ниже средней проницаемости	0,20—0,30	0,25—0,45	0,35—0,60
Слабо водопроницаемые	0,25—0,40	0,30—0,60	0,50—0,75
Мерзлые	0,35—0,60	0,40—0,75	0,80—0,95

Что касается коэффициента замедления стока $\frac{K}{A}$, то значение коэффициента K зависит, как было показано выше, от формы водосборной площади и характера гидрографа стока; среднее значение K, отвечающее гидрографу стока по треугольнику, равно 2. Величина $A=1+\frac{l}{vt}+\frac{L+\lambda}{v_0 t}$ зависит от характера и степени канализации водосборной площади, т. е. от величины l или наибольшей длины элементарных водосборов, по которым непосредственно происходит сток воды в осушительные каналы. Эта величина l равна расстоянию между осушительными каналами — при поперечном их расположении и сплошной канализации водосборной площади, или же наибольшей длине водосборных склонов до осушительных каналов — при продольной системе расположения каналов или частичной канализации водосборной площади. Чем меньше величина l, т. е. чем сильнее канализована площадь, тем быстрее происходит сток, тем больше значение коэффициента замедления стока и, следовательно, больше максимальный сток. Затем величина A зависит от средней скорости стекания воды по водосбору и, следовательно, от уклона водосбора и степени шероховатости его; от коэффициента стока σ, количества p и продолжительности t выпадения осадков и, наконец, от длины магистрального и боковых каналов L и λ, связанной с размерами водосборной площади. Значение скорости течения воды по водосбору $v=C_0\sqrt{I\sigma p}$, где $C_0=5-20$, в зависимости от характера поверхности водосбора. Скорость течения воды в осушительных каналах v_0 обычно колеблется от 0,2 до 0,6 *м/сек*.

Подставляя эти величины скоростей, получим значение A:

$$A=1+\frac{1000l}{3{,}6C_0\sqrt{I\sigma pt}}+\frac{L+\lambda}{tv_0},$$

где L, λ и l выражены в километрах, p — в миллиметрах, t — в часах, σ — десятичной дробью, $C_0=5-20$ и $v_0=0{,}3$ *м/сек*.

При увеличении скорости течения воды в каналах $v_0>0{,}3$ *м/сек* значение A уменьшается (на 5—20%) и соответственно q увеличивается.

Сток происходит тем быстрее, чем сильнее канализована площадь (т. е. меньше l), чем больше уклон водосборной площади, чем меньше шероховатость поверхности (т. е. больше коэффициент C_0), чем меньше длина магистрального и боковых каналов, чем больше суточная интенсивность осадков p, продолжительность их выпадения (или таяния) t, чем больше коэффициент стока σ осадков или весенних талых вод; значение его больше весной, во время половодья, и меньше летом, в период меженных вод.

Увеличение степени канализации, т. е. уменьшение l, увеличивает сток, но вместе с тем увеличивается длина осушительной сети, задерживающей часть стока (русловое накопление и потери); поэтому влияние l на сток проявляется не в первой степени.

Приближенно значение коэффициента замедления стока можно представить в таком виде:

$$\varphi=\frac{K}{A}=N\frac{I^m}{l^n},$$

где N — коэффициент, зависящий от периода стока и размеров водосбора: он равен от 0,4 в межень до 4 в весенние паводки, уменьшаясь для больших водосборов;

I — средний уклон водосбора;

l — длина водосборных поверхностей; чем интенсивнее канализация, тем меньше l;
$m = 0{,}20 - 0{,}50$ и $n = 0{,}40 - 0{,}65$ — показатели степени.
Поэтому выражение модуля стока можно написать так:

$$q = 2{,}8 \frac{\sigma p}{t} N \frac{I^m}{l^n} \text{ л/сек с 1 га.}$$

Несмотря на то, что в полученные выше выражения коэффициента замедления стока входит значительное число факторов, все же эти выражения дают лишь схематическую модель явления стока. В действительности явление стока сложнее, и эта сложность тем больше, чем неправильнее форма водосборной площади, чем разнообразнее условия ее отдельных частей и их канализации.

Поэтому, поскольку не представляется возможным вскрыть и количественно учесть все действующие факторы стока, приходится во многих случаях ограничиваться *более приближенной, но более простой формулой коэффициента замедления стока*, в которой величина его выражается некоторой функцией одного или двух наиболее точно учитываемых и в то же время действенных факторов стока.

Один из таких факторов — величина водосборной площади, так как с ней связана длина тех путей, которые приходится проходить стекающей воде как непосредственно по водосборным поверхностям, так и по осушительным каналам, и, следовательно, продолжительность стекания, явления замедления стока и размеры потерь. С увеличением водосборной площади коэффициент замедления стока уменьшается и тем сильнее, чем больше уклон водосбора, чем сильнее канализация, чем меньше поглощение воды почвой.

Поэтому коэффициент замедления (или запаздывания) стока можно представить в таком виде:

$$\varphi = \frac{K}{A} = \frac{K}{\sqrt[x]{\omega}},$$

причем значение показателя корня x отражает влияние тех главнейших факторов, которые, кроме величины водосборной площади, влияют на коэффициент замедления стока. Автором установлено[1], что величина x тем больше, чем меньше l, т. е. интенсивнее канализация (поперечная), чем больше уклон водосборной площади I, продолжительность t и интенсивность p осадков или таяния и чем меньше поглощение воды почвой; наконец, значение x увеличивается с увеличением водосборной площади ω.

В тех случаях, когда $\sqrt[x]{\omega} < 2$, значение коэффициента замедления стока равно единице и $q = \frac{2{,}8\sigma p}{t}$.

Таким образом, выражение модуля стока может быть представлено в следующем виде:

$$q = \frac{2{,}8\sigma p}{t} \frac{K}{\sqrt[x]{\omega}} \text{ л/сек с 1 га,}$$

где p — суточное количество осадков или таяния (в *мм*) для того периода, для которого определяется сток;
t — продолжительность выпадения этих осадков или таяния, в часах;
K — коэффициент, среднее значение которого равно 2;
ω — водосборная площадь, в *га*;
x — показатель корня, значения которого изменяются от $1{,}5 - 2$ до $8 - 10$;
σ — коэффициент стока, обусловливаемый главным образом степенью поглощения воды почвой для рассматриваемого периода.

Данная формула[2] модуля стока позволяет учесть главнейшие факторы, от которых зависит значение модуля стока. Эта формула, как сказано выше, не учитывает стока грунтовых вод, который поступает в речную и осушитель-

---

[1] Подробно об этом см. в работе автора «К вопросу изучения факторов модуля стока». Труды Института мелиораций, т. V, 1931. *Прим. автора.*

[2] Автором в 1916 г. была предложена формула модуля стока $q = 0{,}15\, p_0 \frac{\sigma}{\sqrt[x]{\omega}}$ *л/сек* с 1 *га*, где p_0 — средняя суточная интенсивность осадков, в *мм*; $x = 3 - 8$; в настоящее время эта формула, как видели выше, может быть значительно уточнена. (См. А. Н. Костяков. Основные элементы расчета осушительных систем. М., 1916.) *Прим. автора.*

ную сеть; в сравнении с расчетными размерами поверхностного стока грунтовый сток обычно очень невелик. Однако для меженного периода, когда осадки незначительны, а испарение велико, подземный сток может играть существенную роль, не позволяя стоку речной сети (и крупных каналов) падать до нуля, несмотря на отсутствие осадков. Сток грунтовых вод составляет от 0,020 до 0,050 *л/сек* с 1 *га*, снижаясь в период засух и повышаясь во влажные периоды.

Зависимость модуля подземного стока от размеров площади водосбора практически неощутима; поэтому, *пользуясь вышеприведенной формулой в качестве расчетной, следует к получаемому по ней значению модуля стока делать прибавку от 0,02 до 0,05 л/сек с 1 га* (в зависимости от района и характера подземного питания болота водой); эта прибавка имеет значение в меженное время, при так называемом «бытовом стоке», так как не позволяет модулю стока бытовых вод снижаться ниже известной величины — 0,02—0,05 *л/сек* с 1 *га*, независимо от размеров водосборной площади[1].

Все изложенное показывает, что влияние размеров водосборной площади на величину модуля стока различно в разные периоды стока: оно слабо при минимальном меженном стоке, когда в стоке главную роль играют почвенно-грунтовые воды; при стоке летних дождей и особенно летних паводков это влияние проявляется в полной мере; весной, при стоке весенних паводков, влияние площади опять уменьшается, как это вытекает из приведенной формулы, особенно в конце периода спада паводка.

Если вышеприведенную формулу модуля стока представить в таком виде: $q = \frac{P}{\sqrt[x]{\omega}}$, где $P = \frac{2 \cdot 2{,}8\sigma p}{t}$, то, согласно вышесказанному, входящие в нее значения P и x не могут иметь постоянного значения и меняются не только для различных по своим условиям водосборных площадей, но и для одной и той же водосборной площади в разные периоды времени.

Чтобы охарактеризовать колебания значений модуля стока при осушении в различных районах СССР и значения вышеуказанных коэффициентов P и x, автором были обработаны данные непосредственных определений модуля стока, сделанных на осушительных каналах и на мелкой речной сети по следующим районам: БССР и центральный, западный, северо-западный районы РСФСР. Эти данные сгруппированы по периодам стока и по размерам водосборных площадей. Для крайних условий стока — весеннего паводка (185 случаев) и меженного стока (115 случаев) построены графики распределения значений модуля стока для разных размеров водосборных площадей.

Для модуля весеннего паводкового стока (преобладающее число случаев) объемлющими являются две кривые:

верхняя, имеющая уравнение

$$q = \frac{20}{\sqrt[4]{\omega}} \text{ л/сек с 1 га},$$

и нижняя с уравнением

$$q = \frac{1{,}0}{\sqrt[7]{\omega}} \text{ л/сек с 1 га}.$$

Средние значения модуля весеннего стока близки:

$$q = \frac{6{,}0}{\sqrt{\omega}} \text{ л/сек с 1 га}.$$

Для меженного стока значения модуля стока (преобладающее число случаев) охватываются двумя кривыми:

верхней, имеющей уравнение

$$q = \frac{1{,}5}{\sqrt[3{,}3]{\omega}} \text{ л/сек с 1 га},$$

и нижней, имеющей уравнение

$$q = \frac{0{,}05}{\sqrt[4]{\omega}} \text{ л/сек с 1га}.$$

---

[1] См. сноску на стр. 463.

Средние значения модуля меженного стока определяются кривой:

$$q = \frac{0{,}6}{\sqrt[3{,}5]{\omega}} \text{ л/сек с 1 га.}$$

Как видим, приведенные данные непосредственных наблюдений модуля стока подтверждают изложенные выше соображения о динамичности его величины и о том, что значение x меняется по периодам стока, увеличиваясь весной и уменьшаясь летом. Значения коэффициентов P и x характеризуют лишь более распространенные размеры колебаний стока на столь обширной территории, как вышеупомянутые районы СССР[1].

Установление расчетного модуля стока

Сообразно изменениям во времени интенсивности осадков и других факторов стока, значения модуля стока с данной водосборной площади изменяются как в течение года по отдельным периодам, так и в разные годы.

Для проектирования осушительных каналов необходимо установить *расчетные значения модуля стока* для каждого периода года, сообразно не только гидрологическим, но и хозяйственным условиям использования данной осушаемой площади и тем плановым заданиям, которые ей ставятся. Поэтому расчетная величина модуля стока есть категория не только гидрологического, но и хозяйственного порядка.

Для определения расчетной величины модуля стока прежде всего должны быть установлены *критические* периоды стока.

Установление критических периодов зависит от характера использования осушаемой площади. При занятии площади селениями, заводами и т. д. приходится рассчитывать на периоды максимальных паводков; при сельскохозяйственном использовании выбор критического периода зависит от рода сельскохозяйственных угодий: для лугов расчет обычно ведется на период летних высоких вод, так как кратковременное затопление лугов весной допустимо. Для полевых севооборотов с озимыми культурами расчет ведется на период максимального весеннего паводка, а для севооборотов без озимых культур — на предпосевной период, так как затопление пахотных угодий весенними водами задержало бы их обработку и посев. Время предпосевного периода определяется из расчета, чтобы за две недели до начала посева весенняя вода освободила площадь от затопления и к началу посева стояла бы в каналах на 0,8—0,9 *м* ниже средней поверхности осушаемой площади. А. И. Ивицкий за расчетный предпосевной[2] принимает период, когда сумма среднесуточных температур после схода снега составит около 130° С.

Модуль стока предпосевного периода значительно меньше модуля максимального весеннего стока. Во всех случаях необходим расчет на бытовые меженные воды (средний расход за вегетационный период)[3], так как эти воды на пашнях и на лугах не должны создавать условий затопления или подтопления земель.

В силу вышеизложенного при проектировании осушения особенно важны следующие периоды стока: а) максимальных полых вод, б) высоких вод предпосевного периода, в) летних высоких вод и г) бытовых меженных вод.

Для различных видов осушаемых угодий могут быть приняты расчетные периоды, указанные в таблице 87.

---

[1] При обработке данных обеспеченность стока, определяемая по «объемлющим» кривым, не устанавливалась (см. работу автора, упомянутую в сноске[1] на стр. 473), но может быть ориентировочно оценена (по числу наблюдений) как 5% для верхних значений и 95% для нижних.

[2] Возможен также подход к предпосевному расходу, как расходу, соответствующему определенной продолжительности весеннего затопления. (Б. Д. Оношко, П. А. Дудкин, см. стр. 480).

[3] Обычно под бытовым понимается расход воды, соответствующий горизонту с наибольшей продолжительностью за период сельскохозяйственных работ.

Таблица 87

Осушаемые угодья	Основной расчетный период	Поверочный расчетный период
Луга и сенокосы	Летних паводков	Бытовой
Пастбища	Предпосевной	Летне-паводковый, бытовой
Полевые севообороты без озимых культур	Предпосевной	Посевной, бытовой
Полевые севообороты с озимыми культурами	Весенний паводковый	Посевной, бытовой
Кормовые севообороты	Предпосевной	Летне-паводковый, бытовой

Для этих расчетных периодов и должны быть определены расчетные значения p и t, а стало быть, и расчетная интенсивность осадков или таяния. При определении пропускной способности и размеров осушительных каналов нужно предусмотреть условия максимальной работы их, и потому для расчета должна быть принята наибольшая интенсивность осадков определенной повторяемости в рассматриваемый период, сообразно экономическим и техническим условиям осушения.

Если рассчитывать сечение осушительных каналов на наибольшие ливни или паводки, то каналы должны иметь большие размеры, хотя полной пропускной способностью они будут работать только короткое время, а остальное время будут слабо наполнены водой, с малыми значениями скорости, что вызывает зарастание каналов, удорожает стоимость и снижает эффективность мелиорации.

Кроме того, ливни при больших водосборных площадях захватывают только небольшую часть этой площади, а продолжительность их t оказывается очень малой, так как интенсивность ливней h, как известно, обратно пропорциональна их продолжительности: $h=\frac{A}{t^m}$, где $m<1$.

С другой стороны, рассчитывая каналы не на максимальный сток, нужно считаться с тем, что во время наступления паводков каналы будут переполняться водой выше берегов и вода может затоплять прилежащую осушаемую площадь и тем самым причинять определенный убыток; чем чаще будут случаться эти переполнения, т. е. чем больше повторяемость осадков и стока, превышающих расчетную интенсивность, тем больше будет сумма убытков. Поэтому нужно найти определенные размеры той интенсивности осадков $\frac{p}{t}$ и стока, на которую, при данных хозяйственных условиях и данной повторяемости осадков, следует вести расчет осушительных каналов.

Положим, например, что при расчете на интенсивность осадков $\frac{p_1}{t_1}$ модуль стока равен q_1 и стоимость осушительной сети составляет K_1 руб., причем $K_1=f(q_1)$; паводки, превышающие расчетную интенсивность и модуль q_1, повторяются N_1 раз за рассматриваемый период N лет и дают, вследствие переполнения каналов и затопления угодий, убытки на всю площадь в размере N_1B руб. Если принять в качестве расчетной большую интенсивность $\frac{p_2}{t_2}>\frac{p_1}{t_1}$ и большее значение модуля стока $q_2>q_1$, повторяющиеся в течение $N_2<N_1$ лет, то стоимость осушительной сети будет больше, именно $K_2>K_1$, так как $K_2=f(q_2)$; затопления же угодий будут теперь реже, только N_2 раз, причем $N_2<N_1$, и дадут меньшую сумму убытков N_2B руб., где B — средний убыток в годы затоплений.

Для расчета по высшему модулю стока необходимо, чтобы получаемые от этого выгоды (уменьшение убытков от затоплений) были больше, чем добавочные ежегодные расходы, связанные с увеличенными размерами осушительной сети (больше погашение стоимости и ремонт), т. е. нужно, чтобы за N лет было соблюдено условие:

$$B(N_1-N_2)>(K_2-K_1)\frac{r}{100}N,$$

где r — процент амортизации и ремонта.

На основе изложенных соображений и может быть установлена расчетная обеспеченность интенсивности осадков (или таяния) $\frac{p}{t}$ и расчетный модуль стока.

Чем более интенсивно используется осушаемая площадь и больше B, тем больше, при прочих одинаковых условиях, может быть интенсивность осушения, т. е. меньше повторяемость $\left(\frac{N_2}{N}\right)$ и больше модуль стока q_2 при определенных стоимостях осушения K. *Однако часто могут быть специальные задания осушения, которые и определяют нужные расчетные период стока и значение q.*

При переходе от модуля стока с неосушенных неканализованных площадей к модулю с осушенных нужно вводить поправку на степень канализации, увеличивая соответственно значения модуля стока.

При отсутствии достаточно длительных гидрометрических наблюдений стока на данном водосборе основным исходным материалом для определения расчетной величины q являются данные о повторяемости разной интенсивности осадков (или таяния) p в данной местности. Величина p есть суточное (однократное) количество осадков или весеннего таяния (в *мм*). Колебания p устанавливаются на основе непосредственных дождемерных записей; при отсутствии таковых величина p может быть найдена приближенно, делением месячного количества осадков на число дней с осадками в данном месяце, причем должны быть проанализированы данные за возможно большее число лет.

Произведенные исследования показывают, что для большинства районов избыточного увлажнения в СССР в послепаводковый весенний период (май) осадки с интенсивностью 3—4 *мм/сут* превышаются четыре раза, а осадки с интенсивностью 4—6 *мм/сут* превышаются три раза. В летний период (июнь — июль — август) осадки с интенсивностью 12—14 *мм/сут* превышаются четыре раза и осадки с интенсивностью 8 *мм/сут* превышаются девять раз. В сентябре — октябре осадки с интенсивностью 8—9 *мм/сут* превышаются три раза и осадки с интенсивностью 5—6 *мм/сут* превышаются шесть раз.

Что *касается действительной продолжительности выпадения осадков в сутки t*, то она может быть определена на основе обработки материалов плювиографов.

Продолжительность осадков в 3—4 *мм* составляет обычно 3—4 часа, что дает интенсивность около 0,8—1,2 *мм* в час; продолжительность осадков в 7—10 *мм* составляет около 6—8 часов, что дает интенсивность 1—1,5 *мм* в час, причем интенсивность отдельных летних паводков (не ливней) доходит до 2—2,5 *мм* в час. Что же касается ливней, то для них максимальное p доходит до 120 *мм*, а интенсивность — до 2 *мм* в минуту, но повторяемость таких ливней, по исследованиям Э. Ю. Берга, составляет в Европейской части СССР один раз в 11—12 лет, и на них расчет осушительных каналов обычно не ведется[1].

Суточная интенсивность таяния равна количеству зимних осадков к моменту таяния (точнее, количеству воды в виде снега, сохранившемуся к началу таяния)[2], деленному на продолжительность периода таяния.

Сведения о продолжительности и интенсивности таяния для нескольких районов представлены в таблице 88 (на основе обработки синоптических карт за 18 лет).

Число действительных часов таяния в течение суток составляет в среднем 10—16, причем вначале таяние идет медленно и только в солнечные часы может происходить очень быстро, так что действительная интенсивность

---

[1] Исключением являются районы осушения с интенсивным ливневым стоком (Колхида, Дальний Восток и др.).

[2] Плотность снежного покрова составляет: для свежего снега около 0,1; для слежавшегося 0,4—0,5; средняя плотность снега 0,2—0,3, т. е. 1 см снежного покрова дает 2—3 *мм* воды. *Прим. автора.*

Таблица 88

Пункты	Количество снеговой воды (в *мм*)	Продолжительность таяния (в сутках)			Суточная интенсивность таяния (в *мм/сут*)		
		средняя	максимальная	минимальная	средняя	максимальная	минимальная
Ленинград	144	5	7,5	3,0	23	48	19
Вышний Волочек	150	13	23,0	5,0	12	30	7
Москва	137	13	18,5	6,0	11	23	7
Пенза	142	13	16,0	8,5	11	17	6
Архангельск	141	8	17,5	6,5	18	22	8
Вологда	123	11	18,0	8,0	11	15	7
Киров	164	13	15,5	9,0	13	19	10

таяния колеблется в значительных пределах — от 1,2 до 4 *мм* и более в час. Особенно увеличивается интенсивность весеннего стока в том случае, если в период таяния выпадает дождь.

Если нет достаточно длительных непосредственных определений стока с данного водосбора, *расчетное значение модуля стока для проекта может быть установлено на основе изложенных выше принципов*, с максимально возможным учетом главнейших факторов стока, соответствующих условиям данной площади и характеру ее использования.

Расчетная величина модуля стока должна быть установлена с наибольшей тщательностью, так как от принятия той или иной величины зависят, с одной стороны, размеры осушительных каналов и стоимость мелиорации, а с другой — правильность действия осушительной системы.

Данные по модулю стока

Ввиду важности вопроса об установлении расчетной величины модуля стока, наиболее полно отвечающей определенным местным условиям, приведем некоторое данные по модулю стока для различных районов СССР.

1. В Полесье для водосборов меньше 450 *км*² прежде принималась норма 0,25 *л/сек* с 1 *га*, исходя из условий максимального стока в бассейне р. Днепра; для бо́льших площадей норма снижалась до 0,13 *л/сек* с 1 *га*, исходя из условия отвода наибольшего месячного стока весной — 67 *мм* в 30 дней. Для небольших бассейнов и при более интенсивной культуре норма стока повышалась до 0,32 *л/сек* с 1 *га*.

В проекте регулирования р. Птичь (БССР) при водосборной площади в 203 830 *га* было принято расчетное значение модуля стока в 0,07 *л/сек* с 1 *га* водосбора. По 20-летним наблюдениям стока на каналах Полесья получены значения модуля стока, приведенные в таблице 89.

Таблица 89

Осушительные каналы	Водосбор (в *га*)	Значение модуля стока (в *л/сек* с 1 *га*)		
		среднее низшее	среднее годовое	среднее высшее
Мохоедовский	133 200	0,0004	0,0061	0,0481
Нейдо-Белевский	115 000	0,0057	0,0204	—
Любишицкий	33 000	0,0062	0,0266	—

В настоящее время в БССР проведены и проводятся обширные гидрологические исследования, позволяющие иметь для многих речных бассейнов Полесья конкретные натурные данные модуля стока для разных условий и периодов года. Эти исследования проводятся Академией наук БССР (Институт мелиораций и водного хозяйства), Гидрометслужбой, Министерством водного хозяйства и др. Среди этих исследований надо отметить работы А. И. Ивицкого, И. М. Лившица и др. Результаты их публикуются в изданиях АН БССР, Гидрометслужбы СССР и др.

2. А. Д. Дубах, на основании данных по Белоруссии, предложил такую эмпирическую формулу модуля стока (летних средневысоких вод — для осушения лесов):

$$q = \frac{3{,}0}{\sqrt[3]{\omega}} \text{ л/сек с 1 га},$$

где ω — водосборная площадь, в *га*.

Для различных районов СССР тот же автор дал такую общую формулу:

$$q = \frac{3{,}0}{\sqrt[3]{\omega}} \sqrt[4]{\frac{I}{0{,}0003}} \cdot \frac{k}{1{,}55} \text{ л/сек с 1 га},$$

где I — уклон главного осушительного канала;

k — отношение осадков к испаряемости для данного района.

Эти значения относятся к стоку летних средневысоких вод.

3. О. Т. Машкевич, по наблюдениям стока в Московской области, дает такие значения модуля стока (в *л/сек* с 1 *га*): для весенних паводков $q = \frac{8{,}0}{\sqrt[3{,}2]{\omega}}$, для летних высоких вод $q = \frac{2{,}5}{\sqrt[4]{\omega}}$, для меженных вод $q = \frac{0{,}8}{\sqrt[3{,}5]{\omega}}$.

4. Северный институт гидротехники и мелиорации (Г. А. Алексеев) дает следующие нормы стока для условий Ленинградской области:

максимальный весенний паводок $q = 33\, q_0$

предпосевной период $q = 5{,}5\, q_0$

посевной период $q = 3{,}3\, q_0$

где $q_0 = \frac{\sqrt[4]{\alpha I}}{\sqrt[6]{\omega}}$ *л/сек* с 1 *га*,

летний паводок

$$q = 24 \sqrt[4]{\frac{\alpha I}{\omega}} \text{ л/сек с 1 га},$$

меженный бытовой сток

$$q = 0{,}16 \sqrt[4]{\alpha I} \text{ л/сек с 1 га}.$$

В этих формулах ω — водосборная площадь, в *га*; α — степень канализации водосбора или длина каналов, в *км* на 1 *км*^{2}; I — средний уклон водосборной площади. Формула стока летних паводков отвечает повторяемости 1 раз в 10 лет; летние паводки с повторяемостью 1 раз в 2—4 года имеют модуль стока:

$$q = 12 \sqrt[4]{\frac{\alpha I}{\omega}} \text{ л/сек с 1 га}.$$

5. Для условий центральных областей значения модуля стока для различных периодов разработаны ВНИИГиМ (П. А. Дудкин) (табл. 90).

Таблица 90

Водосборы	Московская, Калининская и Ярославская области	Ивановская, Кировская и Горьковская области
С холмистым рельефом и с преобладанием глинистых почв	$q_м = p_1 \frac{16{,}87}{\omega^{0{,}14}}$	$q_м = p_3 \frac{53{,}0}{\omega^{0{,}26}}$
С пологим рельефом и с преобладанием песчаных почв	$q_м = p_2 \frac{8{,}23}{\omega^{0{,}18}}$	$q_м = p_2 \frac{35{,}0}{\omega^{0{,}30}}$

В формулах таблицы 90: $q_м$ — максимальный модуль стока в *л/сек* с 1 *га*; p_1, p_2 и p_3 — коэффициенты, зависящие от принимаемой повторяемости расчетного модуля стока (табл. 91).

Таблица 91

P	Повторяемость расчетного q один раз в			
	15 лет	10 лет	4 года	2 года
P_1	1	0,93	0,70	0,44
P_2	1	0,98	0,87	0,64
P_3	1	0,94	0,77	0,60

Значение модуля стока для предпосевного и посевного периодов определяется путем умножения соответствующего значения $q_м$ на определенный коэффициент k, который принимается:

для предпосевного периода на холмистых водосборах

$$k=\frac{1,64}{T^{0,34}}-0,40;$$

на пологих водосборах

$$k=\frac{3,63}{T^{0,20}}-1,64.$$

Величина T — продолжительность допустимого затопления осушаемой площади в период весеннего паводка — принимается равной от 3—4 суток на полях до 15—20 суток на лугах.

Для посевного периода модуль стока принимается равным $q_{пос}=0,25\,q_{предпос}$.

Значение бытового модуля стока для указанных областей принимается равным $q_{быт}=0,04-0,05$ *л/сек* с 1 *га*[1].

6. Данные по модулю стока в заболоченных районах Украины можно найти в исследованиях АН УССР (Институт гидрологии), Гидрометслужбы, Украинского института гидротехники и мелиорации, Министерства водного хозяйства УССР и др. Среди этих исследований надо отметить работы А. В. Огиевского, А. М. Янголь и др.

7. Д. Л. Соколовский (1953 г.) дал следующие формулы модуля стока для расчета осушительных каналов:

а) для расчета модуля максимального стока весенних и летних паводков:

$$q_{max}=2,8\,a\alpha\delta\varphi\ л/сек \text{ с } 1\ га,$$

где a — среднемаксимальная интенсивность снеготаяния или дождя, в *мм/час*;

α — коэффициент стока, принимаемый 0,50 — для весенних половодий средней интенсивности и 0,15—0,20 — для дождевых паводков;

δ — коэффициент аккумуляции поверхностного стока в болотном микрорельефе, принимаемый 0,20;

φ — коэффициент редукции максимального стока с увеличением площади, равный следующим величинам: $\omega=1\ км^2$, $\varphi=0,98$; $\omega=10\ км^2$, $\varphi=0,81$; $\omega=100\ км^2$, $\varphi=0,49$; $\omega=1000\ км^2$, $\varphi=0,25$;

б) для расчета модуля стока предпосевного и посевного периодов:

$$q_{пр}=2,8\,a\alpha\delta\varphi k_1,$$

где k_1 — коэффициент; при схематизации кривой спада весеннего паводка по параболе $k_1=\left(\frac{t_c-z}{t_c}\right)^n$, где t_c — продолжительность спада весеннего половодья;

z — число дней от пика до начала предпосевного или посевного периода;

n — показатель степени параболы, равный по опытным данным для речных бассейнов $n=2$.

В приведенные формулы q_{max} и $q_{пр}$ входит только поверхностный сток без учета стока грунтовых вод.

8. Для модуля стока летних паводков при небольших водосборах ($<60\ км^2$) отметим формулу П. А. Дудкина:

$$q=16,67\,\frac{\sigma H}{T}\ м^3/сек \text{ с } 1\ км^2,$$

где H — расчетное количество выпавших осадков, в *мм*;

T — продолжительность стока, равная продолжительности дождя;

σ — коэффициент летнего стока.

Величины H, T и σ определяются по таблицам и графику[2].

---

[1] Справочник по мелиорации и гидротехнике, т. III. ВНИИГиМ, 1945. *Прим. авторов.*

[2] Последние данные можно найти в работе Р. Я. Народецкой. Рассчитанные нормы стока для проектирования осушительных систем в центральной части нечерноземной полосы РСФСР. Изд. МСХ РСФСР, М., 1958.

Большинство приведенных формул стока получено, главным образом исходя из условий неканализованных площадей; поэтому при пользовании ими для расчета осушительных систем следует вносить поправку на влияние степени канализации водосбора. Например, в Технических указаниях по осушению лесных площадей Министерства сельского хозяйства СССР, 1955, принимаются следующие поправки увеличения модуля стока весенних и летних паводков. На бытовой модуль стока поправки не вводятся.

% канализованной площади от всей водосборной	25	25—50	50
Увеличение модуля стока (в %) . . .	5—10	10—15	20

После установления расчетного значения модуля стока q для данной водосборной площади, сообразно ее гидрологическим условиям, характеру использования и величине ω, что делается непосредственной съемкой или по гипсометрическим картам в масштабе 2—3 *км* в 1 *см*, можно определить тот расход канала $Q=q\omega$, на который должны быть рассчитаны пропускная способность и размеры канала.

2. РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРОВОДЯЩИХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Проводящие осушительные каналы разделяются на: 1) магистральный канал, соединяющий данную осушительную систему с водоприемником; 2) боковые водоотводные каналы, впадающие в магистральный канал и отводящие воду с отдельных частей осушаемой площади.

Расположение проводящих каналов должно быть сообразовано: а) с характером использования данной осушаемой площади и организацией хозяйства на ней; б) с топографическими и гидрографическими условиями осушаемой площади; в) с расположением регулирующей сети; г) с условиями питания заболоченной площади избыточными водами, которые нужно удалять (преимущественный перехват и отвод поверхностных или грунтовых вод); д) с условиями механизации сельскохозяйственных работ в данном совхозе или колхозе.

1. Магистральный осушительный канал трассируется по наиболее низким отметкам осушаемой площади, по направлению наибольших уклонов и существующим здесь тальвегам. Однако не всегда следует вести магистральный канал по естественным протокам или руслам, так как это часто требует спрямления и регулирования извилистых и неправильных естественных русел и связано с последующими затратами на ремонт.

В глубоких торфяных грунтах магистральный канал следует, по возможности, проводить по самым глубоким местам залегания торфа, т. е. *по самым низким отметкам не дневной поверхности, а подпочвы торфа* (для чего должен иметься план горизонталей подпочвы болота, полученный на основании зондировки глубин торфа). Это требование вызывается тем обстоятельством, что в результате осушения торф дает осадку и тем бо́льшую, чем он глубже и больше насыщен водой; поэтому дно магистрального канала, проведенного по самым низким местам поверхности болота, после осадки торфа может оказаться выше дна впадающих в него боковых каналов, где торф даст более сильную осадку.

По тем же соображениям на торфяных болотах стараются вести канал, по возможности, целиком в торфяном грунте, обходя встречающиеся на пути канала минеральные почвы и песчаные бугры, если, конечно, это не вызывает сильных искривлений канала.

При осушении заболоченных пойм, затопляемых полыми водами, магистральный канал проводится по наиболее низким местам поймы и выводит-

ся в реку через одно из старых русел или через прорези в приречной дюне. Во всех случаях направление канала должно по возможности совпадать с направлением движения паводковых вод во избежание занесения канала наносами; при канале значительной длины (рис. 300, *а*) следует считаться с опасностью размыва вследствие значительной скорости течения воды в канале во время паводков; при более коротких каналах (рис. 300, *б*) больше опасность заиления.

Однако в первом случае длинный магистральный канал несет значительный транзитный расход, и поэтому объем земляных работ при его выполнении больше, чем объем работ для нескольких отдельных каналов, осушающих ту же площадь. Поэтому необходим анализ обоих вариантов.

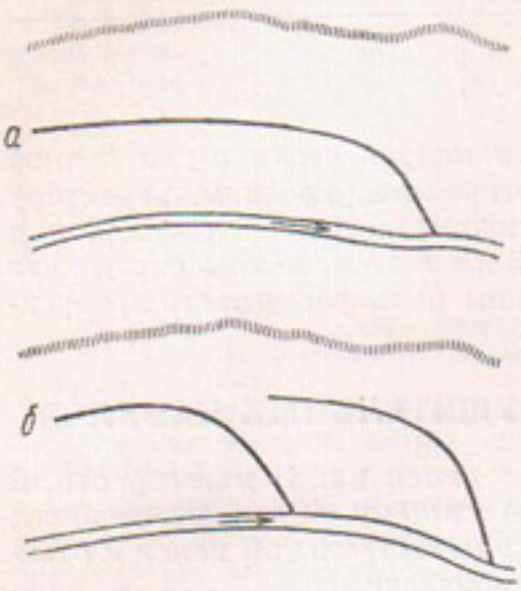


Рис. 300.

Устье магистрального канала должно впадать в водоприемник в том месте, где водоприемник имеет прочные берега, прямолинейный участок с правильным течением, хороший сток воды и вполне достаточную пропускную способность для отвода максимальных вод не только собственных, но и поступающих из магистрального канала. Угол примыкания магистрального канала к водоприемнику желательно делать около 45—60°.

При этом необходимо, чтобы *бытовой горизонт воды в водоприемнике не создавал подпора воды в магистральном канале.*

Для приведения горизонта воды в водоприемнике в соответствие с нужным горизонтом воды в магистральном канале применяются регулировочные работы в русле водоприемника, имеющие целью необходимое снижение в нем горизонта воды в водоприемнике. Виды этих работ рассматриваются в главе пятнадцатой.

Если магистральный канал служит для сплава леса, то закругления его должны иметь радиус не менее 60 *м*.

Если на пути магистрального канала находится озеро, имеющее прочные крутые берега и глубокое дно, можно провести канал через озеро. При этом следует иметь в виду регулирующее действие водоема и, как следствие, обычно вызываемый озером подпор во впадающем в него канале в период спада паводка. Если же берега озера низки и топки, дно илисто и мелко, предпочтительнее, чтобы канал обошел озеро. При пересечении мелких заболоченных стариц и водоемов, заполненных бузой, канал проводят по искусственному руслу с вертикальными стенками, образованными из фашин, заложенных между двумя рядами забитых свай в землю; расстояние между стенками определяется по расходу воды в канале; земля и буза из пространства между стенками вынимается до нужных отметок и выбрасывается за их наружные стороны; периодически это русло чистится от заиления.

При проектировании трассы магистрального канала нужно считаться с размещением на данной осушаемой площади населенных пунктов, хозяйственных площадей и прочих угодий. Для ограждения осушаемой площади от притекающих сверху вод и разгрузки магистрального канала применяется устройство нагорных каналов (см. стр. 485).

2. Вопрос о расположении боковых водоотводных каналов, впадающих в магистральный канал, и о расстояниях между ними очень важный, так как от этого зависят режим работы системы и ее стоимость.

Расположение проводящих осушительных каналов должно удовлетворять следующим условиям.

а) Соответствовать требованиям организации хозяйства на осушаемых землях. Для этого необходима увязка расположения проводящих каналов

с расположением хозяйств, их направлением, размещением полевых и кормовых (луговых) севооборотов, пастбищ и других угодий на осушаемых землях, с требованиями обеспечения нужного водного режима.

б) Отвечать требованиям широкой механизации сельскохозяйственных работ не только в продольном, но и в поперечном направлении, что необходимо при квадратно-гнездовом способе посадки пропашных культур; для этого расстояния между открытыми проводящими каналами на полевых угодьях должны быть не меньше 300—400 *м*.

в) Проводящие каналы должны отвечать условиям водного питания заболоченных земель, а также топографическим, гидрографическим и почвенно-гидрогеологическим условиям осушаемой территории.

Расстояния между проводящими каналами при данных почвенных условиях связаны также с глубиной их, которая должна обеспечивать, как указывалось выше, прием воды из регулирующей сети.

г) Допускать удаление избытков воды с осушаемой площади в нужных количествах и в нужные для хозяйства сроки и давать приемлемую экономически стоимость осушения.

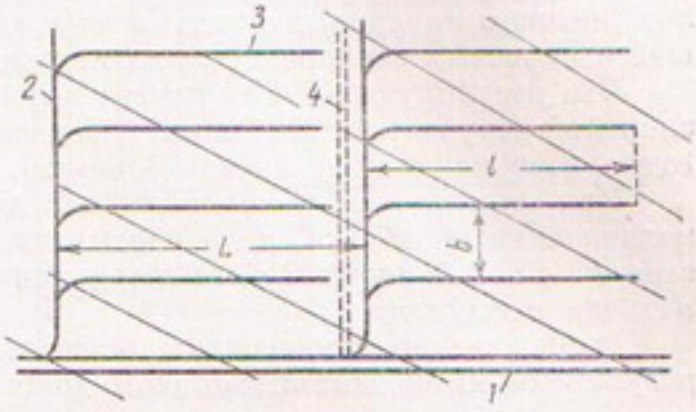


Рис. 301.

1 — магистральный канал; *2* — водоотводной канал (коллектор); *3* — осушительный регулирующий канал; *4* — дорога.

Укрупнение колхозов, позволяющее укрупнять поля и угодья и улучшать организацию хозяйства и агротехнику, открывает вместе с этим широкие возможности рационализации осуществления осушительных работ и, в частности, расположения проводящих осушительных каналов.

Расположение осушительных каналов и полей севооборота или отдельных угодий на осушаемых землях при достаточно интенсивном хозяйстве и высокой агротехнике должны быть взаимно увязаны между собой таким образом, чтобы каждое крупное поле или угодье, по возможности, имело отдельный отводной канал (в магистральный канал), не стесняющий механизации сельскохозяйственных работ, чтобы можно было регулировать водный режим (сток и уровень грунтовых вод) на этом поле или угодье нужным образом, так как разные культуры предъявляют неодинаковые требования к водному режиму.

Водоотводящий канал на каждом поле или угодье при достаточно крупных размерах их даст возможность в нужные периоды регулировать влажность почвы или поднять уровень грунтовых вод сообразно требованиям культуры на этом поле, независимо от соседних полей, при помощи соответствующих регулирующих устройств на каналах.

Если по техническим или экономическим условиям трудно полностью выполнить это требование, то к нему нужно стремиться.

При регулировании как поверхностных, так и почвенно-грунтовых вод в большинстве случаев регулирующие каналы располагаются в направлении горизонталей, сообразно с этим проводящие каналы последнего порядка обычно располагаются в продольном направлении по большему уклону местности, так как при таком расположении они быстрее могут отводить воду в водоприемник. В тех случаях, когда по условиям водного питания данной заболоченной площади и по хозяйственным условиям можно ограничиться одними редкими каналами без детальной регулирующей сети, то каналы последнего порядка располагаются в поперечном направлении к притоку поверхностных или подземных вод, питающих данную площадь, не препятствуя при этом механизации сельскохозяйственных работ и обработки полей.

Общее направление боковых каналов желательно делать нормальным к магистральному каналу, примыкая их к магистрали (в нижней их части)

под острым углом (около 60°), путем соответствующего закругления, чтобы струи воды бокового и главного каналов плавно сливались и не происходило занесения наносами устья боковых каналов.

Перпендикулярное к магистрали расположение боковых каналов обусловливается требованиями механизации сельскохозяйственных работ: открытые проводящие каналы должны быть так расположены, чтобы осушаемая площадь разбивалась ими на участки прямоугольной формы (или близкой к ней) и достаточно крупной величины: длиной около 800—1200 *м* и шириной на полях не меньше 300—400 *м*; площадь осушаемого участка между постоянными открытыми каналами на полях должна быть не меньше 30—50 *га*; при необходимости меньших расстояний часть проводящих каналов (низшего порядка) делается в виде «закрытых собирателей» (т. е. траншей с пористым заполнением или подземных труб со впусками для воды).

Вся регулирующая сеть внутри крупного осушаемого участка делается закрытой (трубчатый, кротовый дренажи и др.) или же временной (ежегодно возобновляемые канавы-борозды).

При определении наивыгоднейшей длины осушаемых участков, кроме механизации обработки, надо учитывать и производительность работы при вывозке с полей урожая: чем больше длина участка, тем больше заезды для вывозки продукции.

Расположение проводящих осушительных каналов и расположение регулирующей осушительной сети должны быть взаимно увязаны.

Если регулирующая сеть предназначена регулировать сток поверхностных вод и расстояния b между регулирующими каналами могут быть приняты достаточно большими (или они устроены в виде закрытых собирателей), то проводящие каналы могут быть расположены как показано на рисунке 301. В зависимости от рельефа примыкание регулирующих каналов к боковому может быть или односторонним или двусторонним. Расстояние между боковыми проводящими каналами равно: при одностороннем расположении $L = l + a$, при двустороннем расположении $L = 2l + a$, где l — длина открытого регулирующего канала и a — ширина дороги. Сообразно этому расстояние между открытыми коллекторами может составлять около 1000 *м* при одностороннем примыкании и 2000 *м* — при двустороннем примыкании[1].

Если регулирующая сеть предназначена для отвода грунтовых вод и сделана закрытой в виде дренажа, то проводящие каналы могут быть расположены, как показано на рисунке 302. Расстояние между каналами при расположении по типу *I* равно двойной длине регулирующих дрен, при расположении по типам *II* и *III* оно равно одинарной длине регулирующих дрен. Если уклон местности по направлению дрен меньше требуемого уклона и дренам приходится давать искусственный уклон, то глубину проводящих каналов нужно делать тем больше, чем больше длина регулирующих дрен, но зато больше может быть и расстояние между ними. Если, например, длина регулирующей дрены равна $l = 200$ *м*, то при уклоне дрены $I = 0{,}00$ и уклоне местности по ее длине $i = 0{,}005$ будем иметь падение дрены $h = l(I - i) = 0{,}4$ *м*, и на такую величину должна быть больше глубина проводящего канала. Если при тех же уклонах длина дрены равна $l = 150$ *м*, то углубление проводящего канала потребуется только на величину $h = 0{,}3$ *м*, но зато расстояние между боковыми каналами в первом случае будет равно 200 *м* (или 400 *м* при двустороннем расположении), а во втором случае оно будет равно 150 *м* (или 300 *м*). Как видим, при этих типах расположения сети могут получаться расстояния между открытыми проводящими каналами, не допустимые в отношении механизации сельскохозяйственных работ в поперечном направлении. В таких случаях приходится переходить к устрой-

---

[1] Для закрытых собирателей с предельной длиной 150 *м* применяется только двустороннее расположение при расстоянии между открытыми коллекторами 300 *м* (см. рис. 302, *I*).

типу закрытых коллекторов, т. е. к расположению по типу *IV*, когда в боковые проводящие каналы впадают не дрены, а коллекторы. В этом случае расстояние между открытыми проводящими каналами получается равным

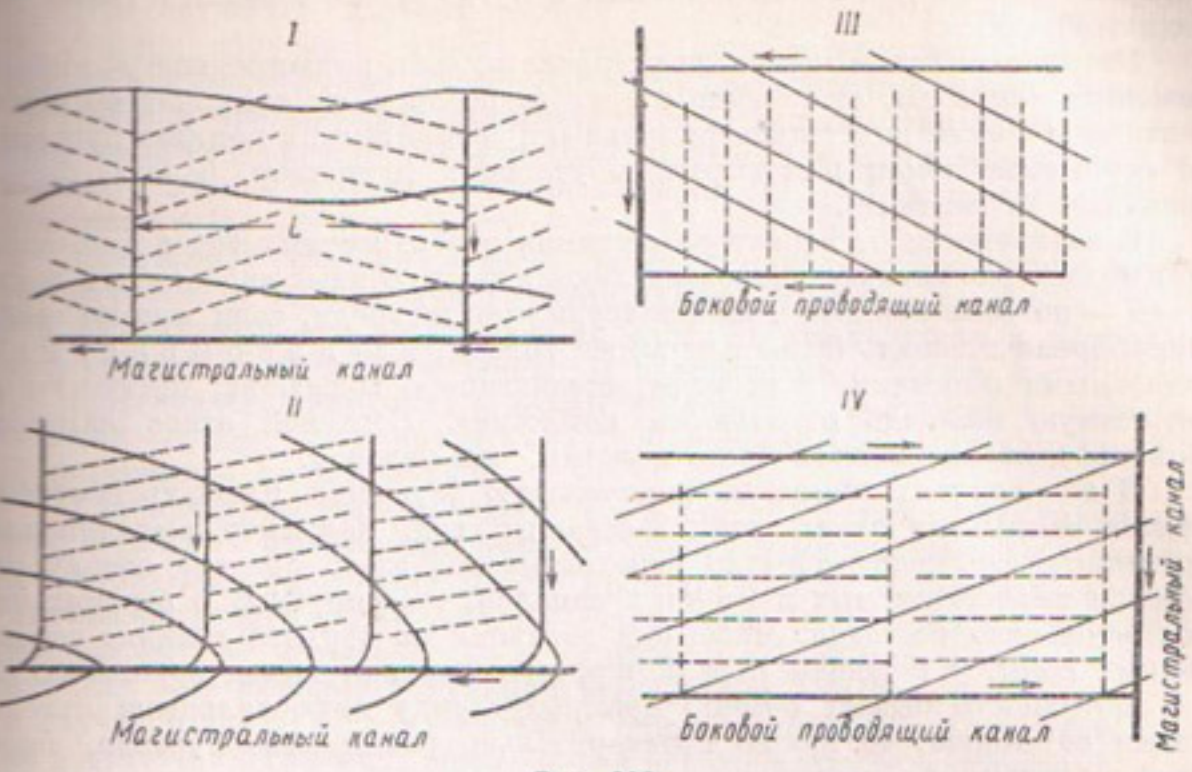


Рис. 302.

длине дренажных коллекторов, что достаточно для механизированной перекрестной обработки.

На больших по размерам или сложных по рельефу осушаемых площадях проводящая сеть состоит из каналов нескольких порядков; например, в магистральный канал впадают проводящие каналы первого порядка, принимающие каналы второго порядка, в которые уже впадают регулирующие дрены, причем размеры участков между открытыми проводящими каналами первого и второго порядков должны быть достаточно большими, чтобы допускать перекрестную механизированную обработку почвы, т. е. порядка 30—50 *га*. Если заболоченная площадь, кроме продольного, имеет и поперечный уклон от боков к середине, боковые каналы можно расположить, как показано на рисунке 303.

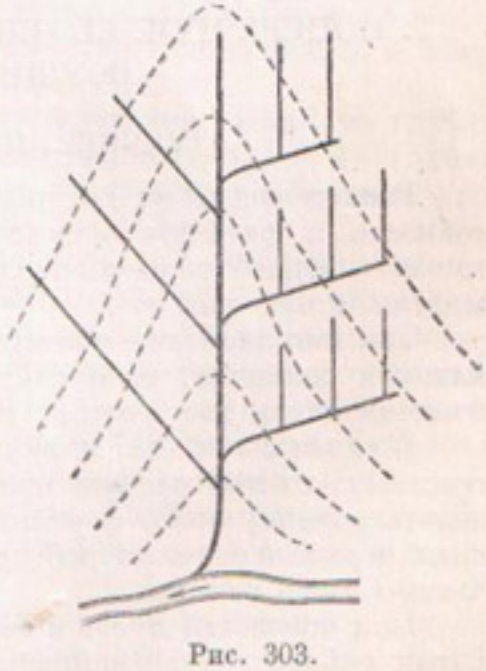


Рис. 303.

Если на болото имеется приток воды с вышележащих водосборных площадей, то осушаемая площадь ограждается со стороны притока вод *нагорными каналами*. Нагорные каналы впускаются или непосредственно в водоприемник или же в магистральный канал, но в нижней части его, вследствие чего сечение магистрального канала приходится увеличивать только у его устья.

Устройство нагорных каналов имеет положительные и отрицательные стороны. К положительным относятся: а) предохранение осушаемых земель от затопления большими массами воды, если водосбор велик; б) предохранение их от занесения песчано-пылеватыми наносами, если вышележащие водосборы крутые и стекающие воды несут песчаный делювий; в) возможность уменьшения сечения проводящих каналов.

Отрицательной стороной устройства нагорных каналов является потеря зольных питательных веществ, которые могли быть принесены на осушаемые земли с водосборов; для устранения этого недостатка можно использовать нагорные каналы для орошения болот и лугов (о чем сказано в главе тринадцатой).

Нагорные каналы можно не устраивать, если вышележащие водосборы невелики или воды, стекающие с этих водосборов, не содержат песчаного делювия и богаты питательными зольными элементами, в которых нуждаются осушаемые земли в конкретных условиях (например, болота, бедные зольными элементами).

В зависимости от характера стекания поверхностных вод с вышележащих водосборов нагорные каналы делаются двух главных видов: а) с п л о ш н ы е — по всей верхней границе осушаемой площади, если вышележащая водосборная площадь более или менее ровная, и б) п р е р ы в и с т ы е — отдельными секциями, если воды, стекающие с водосбора, поступают на осушаемую площадь отдельными потоками[1]. Верховой откос нагорных каналов должен делаться более пологим, чем низовой.

В тех случаях, когда на подлежащую осушению площадь поступает приток неглубоко залегающих подземных вод, например выклинивание грунтовых вод, целесообразно перехватывание этого притока сверху при помощи так называемых л о в ч и х каналов, трассируемых в верхних частях осушаемой площади. Чаще они делаются по верхней границе заболоченных пойм, у подошвы первой террасы. Так как выход грунтовых вод на поверхность бывает обычно прикрыт сверху делювиальными отложениями со склона, то нужно предварительно разведочное бурение, позволяющее установить мощность водоносного слоя, близость непроницаемого слоя, толщину делювиальных отложений и определить наилучшую трассу расположения ловчего канала.

В благоприятных случаях, при соответствующих условиях водного питания, одно устройство нагорных или ловчих каналов может оказаться достаточным для осушения нижележащих земель.

3. ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ ПРОВОДЯЩИХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

СЕЧЕНИЕ, ПРОФИЛЬ И РАСЧЕТ КАНАЛОВ

Расход воды, на который должны быть рассчитаны пропускная способность и размеры осушительных проводящих каналов, равен $Q=q\omega$, где ω — водосборная площадь данного канала и q — расчетное значение модуля стока для нее.

Так как значение q зависит от размеров ω, а эта последняя для разных каналов различна, то и значение расчетного модуля стока q может быть неодинаковым для разных каналов.

В связи с тем, что модуль стока во времени колеблется в значительных пределах, то при расчете поперечного сечения осушительных каналов надо делать поверку этого сечения на работу при разных условиях стока, допуская в одних случаях работу канала полным сечением, а в других лишь частью этого сечения.

При осушении лугов и сенокосов при расчете на весенние высокие воды канал работает с переполнением, так как в это время затопление луговых угодий не только не опасно, но обычно полезно; при расчете же канала на летние высокие воды (наибольшая средняя интенсивность летних осадков) нужно принимать наполнение канала на 0,40—0,50 *м* ниже бровки; при

[1] Имеются обоснованные мнения, что с п л о ш н ы е нагорные каналы, как имеющие большую транспортирующую способность, целесообразно делать при интенсивном смыве наносов с водосбора вместе с делювиальными водами; при небольшом количестве наносов целесообразны п р е р ы в и с т ы е нагорные каналы, как более дешевые.

расчете на бытовые летние воды необходимо не допускать наполнения канала выше 0,60—0,75 *м* от поверхности земли, чтобы не подтоплять осушаемых угодий[1].

При осушении полевых угодий с озимыми культурами даже весной не следует допускать работу каналов полным сечением; при осушении земель под севообороты без озимых культур расчетный расход воды (предпосевной) и проверочный (летнепаводковый) должны проходить с горизонтами ниже поверхности земли на 0,40—0,80 *м*; при бытовом меженном стоке горизонт воды в каналах должен быть на 0,9—1,1 *м* ниже поверхности (см. сноску [1]).

Поперечное сечение осушительных каналов нужно проектировать, обеспечивая: 1) надлежащую глубину для требуемого понижения горизонта вод при примыкании регулирующей сети; 2) устойчивость и наибольшую пропускную способность сечения; 3) надлежащие скорости течения воды, не допускающие размыва, с одной стороны, и заиления и зарастания сечения — с другой; 4) допустимую и достаточную ширину канала по дну; 5) устойчивые откосы канала.

Глубина проводящих осушительных каналов должна быть такой, чтобы она, согласно с изложенным выше: а) давала возможность делать более или менее бóльшие расстояния между проводящими каналами и б) позволяла хорошо подводить к ним регулирующую сеть. Следовательно, эта глубина должна быть не меньше 2—2,5 *м* на полях и 1,5—2 *м* на лугах. Когда проводящая сеть выполняет функции регулирующей без детальной сети, т. е. в случае редких глубоких каналов, она должна снижать грунтовые воды на достаточную глубину, поддерживая необходимую регулирующую и аэрационную емкость грунта. Для магистральных каналов, особенно в их нижнем течении, необходимая глубина должна быть больше указанных величин, так как: 1) количество отводимой воды увеличивается по длине и 2) глубина магистрального канала должна быть больше глубины впадающих в него каналов. В общем выражении глубина проводящих осушительных каналов должна быть не меньше $h_{быт}+t-h_0$, где $h_{быт}$ — глубина воды в данном канале сообразно гидравлическому расчету его по модулю бытового меженного стока; t—глубина впадающих каналов в месте их впадения; h_0 — допустимая в межень глубина воды в них [2].

Если в проводящий канал впадают регулирующие дрены, то глубина проводящего канала должна быть не меньше $h_{быт}+t+z$, где t — глубина дренажа при впадении и z — превышение выхода дрены над бытовым уровнем воды в проводящем канале, причем $z=0{,}10-0{,}20$ *м*.

При проектировании глубин каналов осушительной сети (включительно до водоприемника) надо исходить из условия, чтобы уровень воды нижележащих каналов не подтоплял требуемого горизонта воды в вышележащих каналах. Для этого нужно, чтобы запас от бровки до проектного горизонта воды в старшем канале h_1 был равен: $h_1=h_2+(I_2-I)\,l_2$, где h_2 — запас воды от бровки до горизонта воды в младшем (впадающем) канале на расстоянии l_2 от старшего, I_2 — уклон дна младшего канала и I — уклон поверхности земли по направлению этого канала. Глубина старшего канала должна быть равна $t_1=h_1+h_0+\Delta$, где h_0 — глубина воды в нем и Δ — поправка на осадку грунта после осушения.

Глубину каналов иногда уменьшают при близком залегании илывунов, так как в этих случаях необходимо крепление сечения канала или же устройство вместо канала трубы.

Глубина каналов должна быть увеличена на осадку грунта после осушения, что особенно важно в торфяных грунтах.

---

[1] При этом бытовой горизонт воды в проводящем канале должен стоять на уровне или ниже дна впадающего канала (открытого); при впадении дрен запас над бытовым горизонтом принимают порядка 0,20 *м*.

[2] Обычно принимается при вертикальном сопряжении $h_0=0$.

Форма поперечного сечения осушительных каналов должна, по возможности, отвечать максимальной его устойчивости, наибольшему значению гидравлического радиуса R и наибольшей пропускной способности. Максимальное значение гидравлического радиуса получается, как известно, если отношение ширины канала по дну b к глубине воды h в нем составляет: при одинарных откосах — 0,83, при полуторных — 0,61 и при двойных — 0,47.

При расчете канала на работу неполным сечением глубина его должна быть больше расчетной глубины наполнения h.

Обычно сечение проводящих осушительных каналов делается трапецеидальным, но иногда в сложных грунтах сечение глубоких каналов принимают с полигональными откосами, соответствующими характеру грунтов отдельных слоев; для устойчивости сечения желательно, чтобы крутизна откоса книзу сечения не увеличивалась; для крупных магистральных каналов и водоприемников в малоустойчивых грунтах часто делают параболическую форму поперечного сечения.

Средняя скорость течения воды в осушительных каналах должна быть такова, чтобы дно и откосы канала не размывались и не происходило зарастания и заиления канала.

Допустимые максимальные скорости течения воды, при которых и происходят размывы грунтов, указаны в таблице 92.

Таблица 92

Грунты	Скорость течения воды (в м/сек)
Ил, буза, мелкий песок, плывун	0,15—0,30
Песчаные	0,4—0,9
Глинистые (в зависимости от плотности)	0,7—1,2
Торф:	
хорошо разложившийся	0,5—0,7
средне »	0,7—1,1
слабо »	1,1—1,4

Значение минимальной скорости течения воды в каналах определяется условиями их незаиляемости и незарастания. По требованиям незарастания каналов скорость течения воды должна быть не меньше 0,5 *м/сек*[1]. Зарастание каналов сильно увеличивает коэффициент шероховатости n: от 0,02—0,03 для новых и очищенных каналов до 0,10—0,20 и выше для заросших каналов (по формуле Н. Н. Павловского), причем n увеличивается с развитием растительности и степени наполнения каналов[2]. Поэтому чистка заросших каналов является очень важной мерой для увеличения пропускной способности осушительных каналов, она уменьшает коэффициент шероховатости русла на 40—100% и почти в такой же мере увеличивает пропускную способность.

Требование незаиляемости не имеет такой остроты, как в орошении, ибо вода, поступающая в осушительные каналы, обычно несет меньше наносов, и потому на незаиляемость приходится делать лишь поверку скорости, которая должна быть не меньше 0,25 *м/сек*, чтобы не оседали илистые частицы, и не меньше 0,40 *м/сек*, чтобы не оседали песчаные частицы.

Вообще же скорость воды в осушительных каналах колеблется в очень широких пределах, падая в меженное время почти до нуля.

При проектировании каналов очень важно достичь того, чтобы скорость по их длине увеличивалась сверху вниз к устью или, по крайней мере, оста-

[1] Указываемая автором скорость в бытовой период, как правило, не может быть достигнута; в практике проектирования за минимально допускаемую скорость движения воды в бытовой период обычно принимают 0,20 *м/сек*.

[2] Имеются данные (А. Д. Панадиади) об уменьшении n с увеличением наполнения каналов.

валась одинаковой, но не уменьшалась книзу, так как это вызывает быстрое зарастание и заиление канала.

Сообразно с указанными размерами скоростей течения воды, устанавливаются уклоны дна осушительных каналов. Для магистральных каналов уклоны колеблются от 0,0005 до 0,001[1]. Для боковых проводящих каналов уклоны могут доходить до 0,005; при уклонах меньше 0,001 боковые проводящие каналы легко засоряются и зарастают. При недостаточном естественном уклоне болота (а уклон таковых нередко доходит до 0,0001—0,0002) боковым каналам приходится иногда придавать искусственный уклон, соответственно уменьшая их глубину в верховье и увеличивая ее внизу. По длине канала уклон должен сохраняться постоянным или увеличиваться по направлению от верховий к устью[2].

Правильное заложение откосов осушительных каналов весьма важно: при крутом заложении откосы легко оплывают и засоряют русло канала; при слишком пологих откосах увеличиваются объем земляных работ и потери площади под полосу отвода. Поэтому крутизна откосов должна быть выбрана сообразно со свойствами грунта и условиями работы канала. Откосы канала должны быть не круче угла естественного откоса данного грунта в насыщенном водой состоянии и при естественном сцеплении его частиц.

Обычно принимаемые для разных грунтов откосы осушительных каналов при глубине канала 1,0—1,5 *м* даны в таблице 93; в более глубоких каналах в тех же грунтах заложение откосов увеличивается на 0,25—0,50.

Откосы осушительных каналов обрушиваются в тех случаях, когда откос канала круче угла естественного откоса данного грунта; при близком расположении кавальеров вынутой земли к бровке канала; от подмыва откосов текучей водой; при выклинивании грунтовых вод[3]. Грунты с песчаными прослойками особенно чувствительны к обрушиваниям.

Таблица 93

Грунты	Заложение откосов
Торф, мало разложившийся	0,50—1,0 : 1
» разложившийся, сильно насыщенный водой	1,0—1,5 : 1
Очень плотная глина	0,75—1,0 : 1
Суглинистая почва	1,00—1,25 : 1
Супесчаная »	1,25—1,5 : 1
Песчаная »	1,50—2,0 : 1
Песчано-илистый, насыщенный водой	2,50—3,0 : 1

Пологие откосы канала рекомендуется засевать травами (тимофеевка луговая, клевер, мятлик, овсяница и др.), чтобы они не зарастали сорняками, которые отсюда распространяются и на осушаемые земли.

Ширина по дну проводящих осушительных каналов определяется гидравлическим расчетом, сообразно пропускаемому расходу воды.

Минимально допустимая ширина проводящих осушительных каналов по дну принимается обычно 0,3—0,5 *м*, так как при меньшей ширине каналы легко засоряются (от обвалов, выпирания откосов)[4].

---

[1] Минимально допустимый уклон дна магистральных каналов принимается 0,0002 (см. Технические указания и нормы проектирования осушительных систем. Изд. МСХ СССР, 1957).

[2] Это требование весьма желательное, но редко осуществимое на практике, так как при умеренном искусственном заглублении продольный уклон дна канала в основном определяется уклоном поверхности земли вдоль трассы канала, а этот уклон, в свою очередь, чаще представлен вогнутой линией (так называемый профиль равновесия), а не выпуклой.

[3] Имеет значение также замерзание и расширение воды, проникшей с осени в осадочные трещины в грунте.

[4] Минимальная ширина по дну для магистральных каналов трапецеидального поперечного сечения принимается 0,4 *м*.

Наибольшая ширина канала по дну определяется по расчету. Однако при очень большой ширине каналов по дну, при меженных расходах возможны зарастание канала и извилистость течения воды; поэтому иногда предпочитают увеличивать пропускную способность канала не за счет уширения, а за счет углубления канала или делят сток с осушаемой площади между 2—3 каналами.

Гидравлический расчет осушительных каналов при равномерном режиме работы их ведется по известным формулам:

$$F = (b + \varphi h)\, h; \quad P = b + 2h\sqrt{1+\varphi^2}; \quad R = \frac{F}{P}; \quad v = C\sqrt{RI}; \quad Q = Fv.$$

Если каналу приходится работать при наличии подпоров или спадов воды, то расчет его должен быть сделан с учетом неравномерного движения воды.

Для облегчения гидравлического расчета каналов следует пользоваться специальными таблицами и графиками.

Магистральный и крупные проводящие каналы рассчитывают в следующих сечениях: а) нижнем устьевом, при впадении в водоприемник или следующий канал; б) выше и ниже впадения боковых, гидравлически рассчитываемых, каналов; в) в местах изменения уклона дна канала. В результате гидравлического расчета должны быть: а) установлены живые и полные поперечные сечения канала; б) определены горизонты расчетных (максимальных, предпосевных, летне-паводковых) и бытовых вод; в) установлены отметки дна и горизонтов воды; г) увязаны горизонты воды по длине продольного профиля и боковых каналов с главным каналом; д) проверены допустимость максимальной и минимальной скоростей; е) нанесены эти данные на продольные профили канала. Значения коэффициентов шероховатости русел осушительных каналов в разных грунтах и при разном состоянии каналов приводятся в соответствующих справочниках[1].

Размеры канала: ширину по дну b, глубину наполнения h, глубину сечения t, сообразно заданному расходу воды в канале Q (и обычно уклону I), определяют путем последовательных решений, задаваясь одним из неизвестных элементов.

Для криволинейных сечений устанавливаются элементы полного сечения — тип и параметр кривой (например, квадратичная парабола), ширина по верху B и полная глубина H, а также элементы живых сечений при пропуске расчетных и бытовых расходов воды (ширина по урезу воды b, глубина заполнения h, коэффициент заложения откосов φ).

Так как количество воды, протекающей в осушительном канале по длине его, по мере впадения в него боковых каналов и непосредственного стока, возрастает, то поперечное сечение магистрального канала и крупных проводящих каналов, по мере увеличения расхода воды Q, соответственно увеличивают в направлении от верховий к устью.

КОНСТРУКЦИЯ КАНАЛОВ

Конструкция проводящих осушительных каналов зависит от размеров их поперечного сечения, от их глубины и характера прорезаемых каналом почвогрунтов, которые влияют также на крутизну откосов и форму сечения канала.

При строительстве каналов проводящей сети следует вынутую землю разравнивать слоем не более 0,3—0,5 *м* по осушаемой площади или отвозить для заполнения низин, не оставляя кавальеров. Если вдоль канала идет дорога, то вынутая земля используется на насыпку полотна дороги.

В случаях содержания в грунте примесей, вредных для сельскохозяйственных культур, его не разравнивают, а складывают в кавальеры по обе

[1] Н. Н. Павловский. Гидравлический справочник. М.—Л., 1937; ВНИИГиМ Справочник по гидротехнике и мелиорации, т. III. М., 1945. *Прим. автора.*

стороны (рис. 304) или только на одну низовую сторону канала; последнее делается для нагорных и нагорно-ловчих каналов. Для пропуска поверхностных вод с осушаемой площади спланированные кавальеры прорезаются через 30—50 *м* канавками, воронками шириной 0,40—0,60 *м* и глубиной 0,20—0,40 *м*, считая от поверхности земли. Воронки должны быть укреплены дерном, во избежание размыва и засорения канала.

Отвалы должны отстоять от бровки канала на достаточном расстоянии, так как иначе под влиянием давлений вынутой земли может происхо-

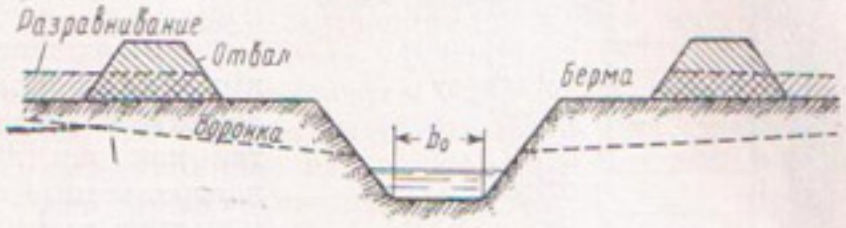


Рис. 304.

дить выпучивание дна и сползание откосов канала, особенно на торфяных или плывучих грунтах. Ширину бермы принимают не меньше 1 *м*, а при глубоких каналах 2 *м*. Чем слабее грунт канала и чем круче откосы, тем ширина берм должна быть больше.

Большие осушительные каналы, особенно в минеральных грунтах, иногда делают двойного поперечного сечения (рис. 305); скорость течения воды при бытовых расходах воды в канале двойного сечения будет больше, чем в канале простого сечения, так как гидравлический радиус в первом случае будет больше, чем во втором. Но зато при полных расходах воды двойное сечение дает несколько меньшую скорость вследствие большей шероховатости берм и меньшего значения гидравлического радиуса двойного сечения.



Рис. 305.

Если канал прорезывает *слой плывуна* или проходит в слабом песчаном грунте, *необходимо крепление откосов канала* во избежание выпучивания грунта и заплывания канала и подмыва откосов.

Наиболее простой способ крепления — дернование и выстилка откосов хворостом, укладываемым поперек течения воды и закрепляемым жердями и кольями — может предохранить канал от размыва, но не удерживает откосы от оползания и обрушения. Второй способ крепления — устройство плетневой вертикальной стенки, забиваемой у подошвы откоса и имеющей высоту несколько выше уровня бытовых вод; пространство между плетнем и откосом канала разбивается землей или же закладывается фашинами. Третий способ — устройство подпорных стенок из жердей, пластин или досок, забранных за сваи (рис. 306).

Для крепления и поддержания стенок канала в плывунах А. Д. Брудастовым предложено устройство стенок в виде жалюзи (рис. 307). Эти стенки образуются забивкой свай (через 2—4 *м*), в которых сделаны наклонные пазы шириной 5 *см* под углом 45°; в эти пазы закладываются доски. Расстояния между стенками делаются сообразно нужной ширине канала.

Дно канала, в зависимости от скорости течения воды, остается без крепления, вымащивается камнем или же укрепляется хворостяной кладкой.

Наконец, при наличии камня откос крепится мощением до горизонта высоких вод; во избежание сползания мостовой у подошвы канала устраивается плетневая стенка или забивается ряд кольев. Крепленые откосы

делаются обычно одинарные и круче. Экономия на земляных работах, вследствие крутых откосов, может часто компенсировать стоимость крепления, особенно в песчаных грунтах.

При прохождении канала в плывунах или в торфяной бузе (особенно через мощные слои их) может оказаться более рациональным устройство трубы или лотка вместо канала (деревянной из накатника, из гончарных канализационных труб или бетонной).

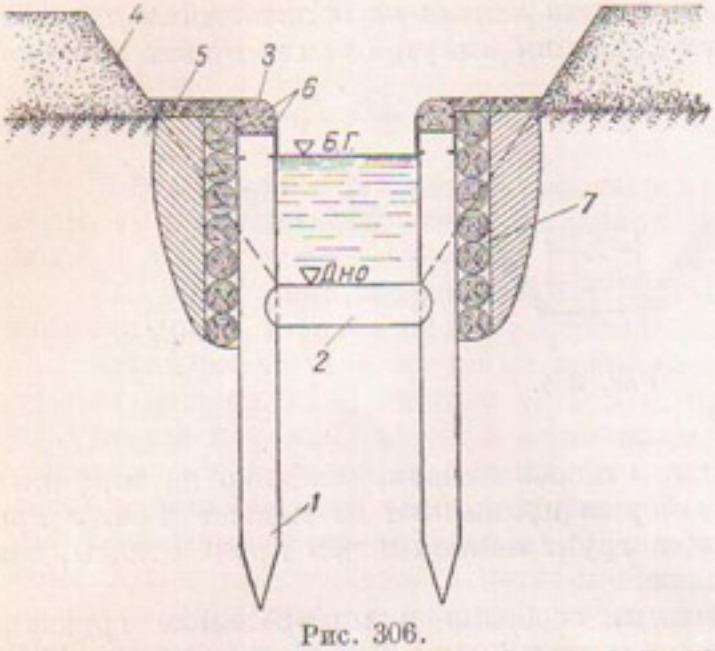


Рис. 306.
1 — свая; *2* — распорка; *3* — схватки; *4* — откос канала; *5* — берма; *6* — скобы; *7* — мох.

Проводящие осушительные каналы делаются в большинстве случаев открытыми, так как они легко отводят поверхностные воды и имеют меньшую стоимость.

Однако открытые проводящие каналы имеют и ряд недостатков: 1) некоторая потеря полезной площади; 2) затруднительность сообщений и необходимость постройки переездов и мостов; 3) затруднение механизации сельскохозяйственных работ (если проводящие каналы размещены чаще чем 300—400 м); 4) засорение культурных полей сорными травами с откосов; 5) необходимость крепления дна и откосов при прохождении через слабые грунты. Поэтому в условиях крупных механизированных хозяйств открытые проводящие некрупные каналы при необходимости частого их расположения иногда заменяют закрытыми, в которые могут поступать воды поверхностного стока. Закрытые водотоки устраиваются при небольших размерах в виде траншей с пористым заполнением, а при более крупных размерах могут делаться в виде труб со впусками в них воды сверху.

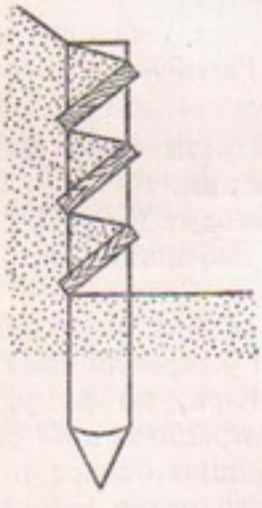


Рис. 307.

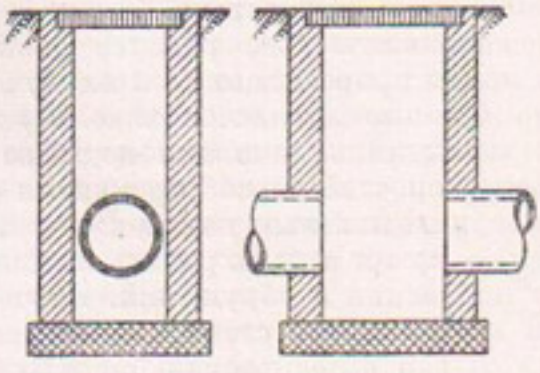


Рис. 308.

При трубчатых собирателях поверхностную воду в них впускают через особые колодцы с решеткой наверху для задержания сора и с осадочными отстойниками внизу ниже трубы для задержания наносов (рис. 308).

Так как пропуск ливневых вод через трубу требует большого диаметра их, иногда над трубой делают широкую, но неглубокую (0,3—0,4 м) засеваемую выемку с пологими откосами для отвода ливневых вод.

Большие осушительные трубы укладывают на дно траншей на соответствующем основании (в зависимости от грунта) из утрамбованной земли или тощего бетона, и пространство между трубой и стенками траншей на 0,50—0,75 диаметра трубы заполняется тем же материалом[1].

[1] Указываемая автором конструкция находит применение при осушении городов, парков, стадионов и др.; в сельскохозяйственном осушении пока не используется ввиду высокой стоимости.

ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА КАНАЛОВ

Осушительные каналы, особенно в торфяном грунте, с течением времени подвергаются значительным деформациям, происходящим под влиянием осадки грунта (особенно торфа), заиления и зарастания каналов, обрушивания откосов и выпучивания дна. В результате сечение канала становится более широким и менее глубоким; как показывают наблюдения, ширина каналов может увеличиться на 30—50% и более, а глубина уменьшиться на 20—30%.

Осадка торфа происходит тем сильнее, чем глубже каналы и чем больше мощность торфа. Торф после осушения оседает вследствие уплотнения и сжатия волокон торфа в результате удаления части воды из его объема; чем больше количество удаляемой воды и чем меньше степень разложения торфа и его плотность, тем сильнее уплотнение и осадка торфа после осушки.

Затем большое влияние на осадку оказывает давление вышележащих осушенных слоев торфа на нижние неосушенные слои; это последнее влияние особенно резко проявляется на болотах, сильно насыщенных водой. В перенасыщенном водой болоте торф может рассматриваться как тело, погруженное в воду и теряющее в своем весе столько, сколько весит объем вытесняемой им воды. После же осушения болота торф на глубину осушения перестает быть погруженным в воду телом и давит на нижележащие слои, на всю толщину торфа, полным своим весом, т. е. весом сухого вещества плюс содержащаяся в торфе вода (в силу его влагоемкости).

А. Д. Дубах определял давление на нижележащие слои болота следующей формулой $D=(T+B)\,H$ *кг/м²*, где T — вес 1 *м³* сухого торфа, B — вес удерживаемой воды в 1 *м³* торфа, H — глубина осушки, в *м*. До осушки же давление было $D_0=T+B-\gamma$, где $\gamma=1000$ *кг* — вес 1 *м³* воды. Для мохового торфа $T=90$ *кг*, для низинного — 250 *кг* и для переходного — 180 *кг*. Величина $B\approx800$—900 *кг*, так как влагоемкость торфа может доходить от 400 до 1000% весовых процентов (моховые болота). Под влиянием давления D *кг/м²* торф начинает уплотняться во всей своей толще и осаживаться. Наиболее сильно осадка происходит в первые 2—5 лет после осушения и затем затухает.

ВНИИГиМ на основании проведенного им изучения осадки торфа дает формулы для определения глубины осадки бровки канала:

на низинных болотах . . . . . $h=0{,}18\ kH^{0{,}35}\ t^{0{,}64}$
» верховых » . . . . . $h=0{,}16\ kH^{0{,}52}\ t^{0{,}63}$,

где h — глубина осадки торфа, в *м*; H — мощность торфа до осадки, в *м*; t — глубина канала, в *м*; k — коэффициент, зависящий от плотности торфа и имеющий следующие значения:

торф:
почти плывучий . . . . . $k=5{,}4$—$3{,}8$
рыхлый . . . . . $k=2{,}7$—$2{,}0$
средней плотности . . . . . $k=1{,}4$
плотный . . . . . $k=1{,}0$

В. М. Зубец на основании изучения осадки осушенных низинных болот в БССР дает такую формулу осадки торфа:

$$h=0{,}01\,A\sqrt[3]{x}\sqrt{y}\ м,$$

где x — глубина торфа до осушения, в *см*;
y — глубина осушаемого слоя, в *см*;
A — коэффициент, принимаемый от 1 до 2,3, в зависимости от плотности торфа до осушения. С удалением от канала осадка торфа h уменьшается.

Полная осадка торфа за ряд лет после осушки составляет для плотного торфа 12—15% его мощности, для рыхлого — 15—25 и для почти плывучего торфа — 25—40%; причем меньшие цифры относятся к глубоким залежам торфа (мощностью 7—8 *м*), а бóльшие цифры относятся к неглубоким торфам (мощностью 1—2 *м*).

Если болото имеет по глубине различную плотность, то общая осадка подсчитывается послойно.

По наблюдениям на Минской и Новгородской болотных опытных станциях, осадка торфа на осушенном болоте уменьшается от канав к середине полосы; с увеличением расстояния между канавами осадка уменьшается, но эта зависимость невелика. Обработанные болота оседают быстрее, чем необработанные[1]. Осадка на верховых болотах заметна на расстоянии 150—200 *м* от осушительного канала.

[1] Здесь имеется в виду так называемая сработка торфа благодаря его разложению.

Вследствие уплотнения торфа между поверхностью болота и дном канала глубина канала уменьшается, а дно понижается, и на месте минерального грунта после осадки торфа образуется выступ и подпор течения воды, вследствие чего приходится углублять канал в этом месте. Под влиянием давления осушенной массы торфа на лежащие ниже дна канала слои жидкого торфа дно канала выпучивается и откосы канала раздвигаются.

Вследствие осадки при рытье каналов в торфяном грунте глубину их делают больше проектной.

Для уменьшения деформации каналов от осадки торфа, в топких торфах сначала делают по направлению будущего канала траншею и перпендикулярно к ней через каждые 10—15 *м* так называемые «откосные канавы» длиной 5—10 *м*, т. е. осушают всю полосу земли под будущий канал и затем уже после осадки торфа на этой полосе (через 1—2 года) выполняют проектное сечение канала.

Осадку в результате удаления воды после осушения дают и минеральные почвогрунты, но их осадка значительно меньше осадки торфа. По наблюдениям ВНИИГиМ, средняя величина осадки суглинистых почв под влиянием дренажа 15—22 *см* при глубине дрен 0,8—1,2 *м*, что составляет в среднем 17—20 % глубины осушки. Д. П. Юневич дает такую формулу осадки почвы после осушения:

$$h = t\,\frac{p_0 - p_1}{1 + p_0}\ м,$$

где t — глубина осушительной сети;

p_0 — порозность почвы до осушения;

p_1 — порозность почвы в конце осадки [1].

В этой формуле под порозностью понимается отношение объема пустот к объему скелета грунта в единице объема данной почвы.

Кроме осадки грунта, деформация сечений каналов может быть вызвана: а) неправильными гидравлическими условиями — слишком большие (размыв) или малые (заиление и зарастание) скорости, неправильной формой откосов (размыв и оползание их); б) условиями эксплуатации каналов (порча откосов скотом, при сплаве леса, заторы, заколы, переезды, переходы и т. д.), в) занесением русла бузой во время самого выполнения канала механическими снарядами.

Деформации дна и откосов осушительных каналов уменьшают пропускную способность их. Эти деформации устраняются при текущем и капитальном ремонте каналов.

Чем лучше и рациональнее построен и эксплуатируется канал, тем реже требуется ремонт и меньше его стоимость. Для удлинения сроков службы канала и уменьшения стоимости ремонта очень важно придать каналу максимально устойчивые поперечное сечение и продольный профиль.

Устойчивость поперечного сечения канала достигается следующими мерами: 1) приданием каналу таких откосов, которые отвечали бы характеру прорезаемых каналом грунтов, причем если прорезается несколько слоев грунта разного состава, то откос должен иметь сложную форму; 2) обеспечением наибольшей прочности и устойчивости основания откосов, для чего необходимо: а) заложение дна канала, по возможности, в плотном грунте и б) предохранение дна канала от размыва креплением нижней части откоса; 3) приданием каналу достаточной ширины по дну; 4) соответствующим креплением откосов каналов в слабых и плывучих грунтах или при больших скоростях.

Устойчивость продольного профиля достигается: 1) приданием каналу уклона, который обеспечивает скорости течения воды, безопасные в отношении размыва, заиления и зарастания канала; 2) проектированием русла канала со скоростью воды, равномерной по длине канала или возрастающей в направлении сверху вниз; 3) устройством в нужных случаях перепадов или креплений русла.

---

[1] Д. П. Юневич. Мелиорация минеральных заболоченных земель. Сельхозгиз, М., 1948. *Прим. автора.*

Первая чистка каналов от наносов и бузы необходима непосредственно после их механического выполнения и устройства всех боковых каналов, впадающих в данный канал.

4. ДОРОГИ НА ОСУШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

Устройство дорожной сети имеет важное значение для успешного освоения осушенных земель — движения машин, доставки удобрений, вывозки продукции и др.

Дорожная сеть на осушаемой площади состоит из внутрихозяйственных дорог, связывающих отдельные поля и сельскохозяйственные угодья с хозяйственными центрами данного совхоза или колхоза, и межхозяйственных дорог, связывающих отдельные хозяйства с магистральными путями сообщения и крупными центрами.

Расположение дорог, особенно хозяйственных, должно быть тесно связано с расположением проводящих каналов, как об этом говорилось выше.



Рис. 309.

Полевые дороги на осушаемых участках располагаются вдоль проводящих каналов с низовой стороны их (чтобы не мешать стоку поверхностных вод и не пересекать дрен) и вдоль магистрального канала, причем на насыпку полотна дороги идет земля, вынутая из каналов. Таким образом, полевые дороги проходят по верхней стороне каждого культивируемого участка.

Расположение дороги при одностороннем примыкании каналов показано выше на рисунке 301. Ширину дорог в механизированных хозяйствах принимают 6—8 *м* (лучше 10 *м*), чтобы могли разъехаться трактор с прицепными орудиями и без них.

Размеры и типы дорог должны отвечать условиям хозяйства; в этом отношении надо отметить следующее: 1) полотно дорог должно быть рассчитано на нагрузку движущихся по ним тракторов, принятых в данном хозяйстве, и прицепных орудий и повозок, груженных продукцией хозяйства; удельное давление трактора составляет 0,45 *кг/см*^{2}, а гусеничного болотного — 0,25 *кг/см*^{2}; ширина дорог должна рассчитываться на проезд по ним наиболее широких сельскохозяйственных орудий (например, сеялок) в данном хозяйстве; 3) если вдоль дороги проводится узкоколейка, то для нее должна быть оставлена полоса в 2—2,5 *м*; 4) в животноводческих хозяйствах желательно устройство отдельных прогонов между пастбищами для животных, чтобы последние не портили основную дорогу.

Главное условие устройства дорог на болоте — это хорошее осушение той полосы земли, по которой проходит дорога. Ширина этой полосы зависит от ширины дороги (но не менее 10 *м*). Осушение достигается проведением вдоль трассы дороги, если она не идет вдоль проводящего канала, двух параллельных осушительных канав глубиной не меньше 1—1,2 *м*, причем эти канавы должны быть введены в основную осушительную сеть и в водоприемник (отсюда понятно, что глубина дорожных канав не может быть больше глубины коллекторов).

Для более быстрого осушения и осадки полосы под дорогу между продольными канавами устраивают поперечные канавы, которые потом при устройстве полотна дороги заполняют фашинами и землей. Если дорога

проходит вдоль осушительного канала, то нужна только одна дорожная канава. Если дорога должна пересекать много боковых открытых каналов с, то можно, углубив придорожную канаву *А*, впускать в нее эти боковые каналы, тем самым уменьшить число перепусков *Б* боковых канав в главный канал (рис. 309) и сократить число мостов или труб.

Для прохода машин через открытые (временные) каналы иногда устраивают земляные переезды, ширина которых для машин в рабочей сцепке должна соответствовать характеру агрегата. Для сокращения числа мостов переезд через небольшие каналы целесообразно осуществлять в виде труб; дно этих труб закладывается выше бытового уровня в среднем канале (рис. 310).

Размеры осушительных дорожных канав должны быть рассчитаны на тот максимальный сток воды, который им придется отводить (сообразно их водосбору

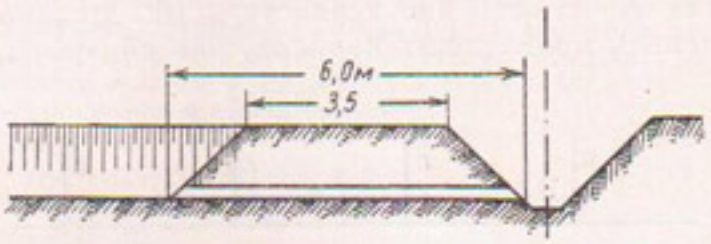


Рис. 310.

и модулю стока). Осушка полосы под дорогу должна быть сделана с таким расчетом, чтобы до начала устройства полотна дороги могла произойти главная осадка болота (т. е. в зависимости от типа болота, но не меньше чем за один сезон).

Что касается полотна дороги, то конструкция его зависит от назначения дороги и от характера болота, по которому она проходит.

Для полевых дорог полотно обычно делают следующего типа (рис. 311). Грунт, вынутый из канав, распределяют по полотну будущей дороги в виде насыпи *1* нужной ширины, причем между дорогой и канавой с каждой стороны оставляют бермы шириной не меньше 2—3 *м*. Насыпь из выпутого грунта покрывают слоем дерна или торфяных



Рис. 311.

плиток *2* и затем сверху делают одежду из слоя песка *3* толщиной 15—20 *см*. Ширина и высота насыпи должны быть таковы, чтобы давление от них не превышало допустимого давления на единицу поверхности болота.

Полотно дороги должно иметь поперечный уклон в обе стороны к канавам не меньше 0,04.

Полотно межхозяйственных дорог делают более прочным. Если дорога проходит по неглубокому болоту, весь слой торфа на полотне дороги между канавами вынимают



Рис. 312.

и дорогу ведут по минеральному грунту, образующему подошву болота. Поперечный профиль подобной дороги показан на рисунке 312. Полотно дороги покрывают прочной одеждой.

Ширину берм *а* делают не меньше 1 *м*, а ширину берм *б* — не меньше 2,5 *м*. Иногда по берме *б* устраивают летнюю мягкую дорогу.

Если глубина торфа большая и вынуть весь торф нельзя, то вся полоса, предназначенная под дорогу, должна быть основательно осушена. Из вынутого грунта следует на-

сыпать дорожное полотно необходимой ширины и высоты. Вес дорожного полотна на еди ницу поверхности болота не должен превышать допустимого давления на данный грунт, чтобы дорога не оседала посредине.

Если дорога должна проходить через места с непрочным, неосевшим зыбким торфом, остающиеся неосушенными, то ее делают в виде так называемой г а т и, в основании которой укладывают послойно поперек полотна деревянные жерди, хворост или фашины. Это основание образует упругий слой толщиной не меньше 0,35 *м*; на него насыпают землю или торф толщиной 10—12 *см* и сверху слой песка толщиной около 20 *см*, с тщательной трамбовкой.

Более тяжелый тип дорог на зыбких, слабо осушенных болотах делают на ростверке из продольных лежней и поперечных жердей; на этот ростверк кладут хворост, затем землю и песчаную одежду.

Устройство дорог на основаниях из дерева дорого и непрочно, так как верхний слой грунта обычно довольно быстро проседает, жерди и фашины выпирают на поверхность, крошатся и скоро сгнивают. Поэтому надо стремиться создать устойчивое полотно дороги основательным осушением всей дорожной полосы.

5. СООРУЖЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

На осушительных каналах приходится устраивать: мосты и трубы при пересечениях каналов с дорогами, шлюзы для регулирования уровня воды в каналах, перепады и крепления дна и откосов канала.

М о с т ы н а о с у ш и т е л ь н ы х к а н а л а х делаются обычно деревянные, балочной системы. Отверстие мостов определяется шириной канала поверху с прибавлением нужного запаса в обе стороны. Ширину моста принимают в зависимости от ширины дороги и достаточной для прохода сельскохозяйственных машин, применяемых в данном колхозе или сов-

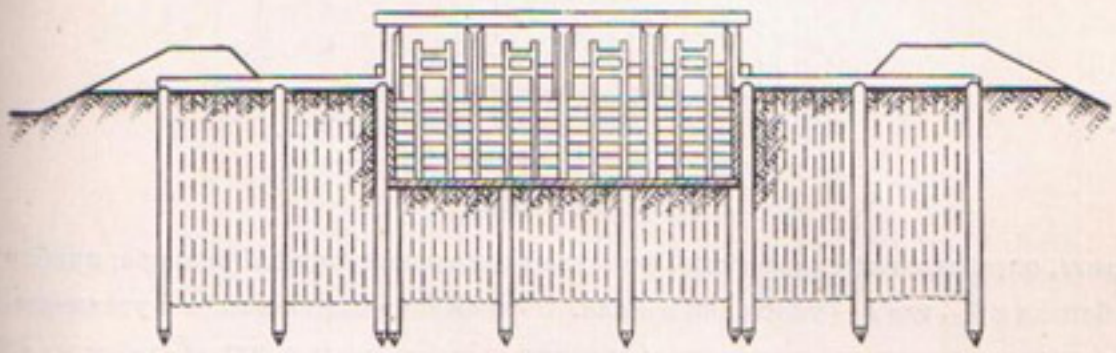


Рис. 313.

хозе (т. е. не меньше 8 *м*). Прочность моста должна быть рассчитана на нагрузку от прохода наиболее тяжелых тракторов, используемых в хозяйстве.

Высота настила и поддерживающих его прогонов должна быть на 0,7—1 *м* выше самых высоких (весенних) вод в канале, а на сплавных каналах еще на 0,6 *м* выше — для свободного прохода леса. На сплавных каналах пролет между сваями должен быть не меньше 6 *м*. На болотах к мостам делаются въезды — гати.

При пересечениях с дорогами небольших осушительных каналов, не работающих полным сечением, возможно вместо мостов устройство труб. Во избежание обхода трубы водой снизу и с боков, со стороны верхнего входного конца трубы должна быть устроена шпунтовая стенка.

Ш л ю з ы н а о с у ш и т е л ь н ы х к а н а л а х служат для регулирования уровня воды в каналах, сообразно потребностям осушаемых угодий. Кроме этой цели, шлюзы делаются также для улучшения условий сплава леса по каналам и для орошения болот — для направления воды из реки в каналы и из каналов на орошаемые площади.

В осушительной практике шлюзы строят деревянные, с щитовыми затворами, в один или несколько пролетов, смотря по расходу воды в канале. Дно канала с верховой и низовой сторон шлюза укрепляется камнем, хворостом или дерном, в зависимости от размеров шлюза и расходов воды.

Тип шлюза на больших каналах с отверстием до 6,5 *м* показан на рисунке 313, а для малых каналов — на рисунке 314.

В настоящее время проектируются (Росгипроводхоз, Белгипроводхоз и др.) и другие типы шлюзов для осушительных каналов, не только свайной, но и каркасной конструкции[1]. В осушительных системах шлюзы и другие сооружения часто приходится строить в торфяных грунтах. В этих случаях предварительным осушением торф должен быть уплотнен до влажности 82—84%; для уменьшения фильтрации применяется мятый торф с плотной утрамбовкой.

Пропускная способность шлюзов рассчитывается на наибольший расход воды, какой может притекать к шлюзу с водосборной площади или из старшего канала.

Отверстие шлюзов обычно имеет ширину меньшую, чем максимальная ширина воды в канале, вследствие чего образуется подпор (высотой h); глубина воды перед шлюзом становится равной $a+h$. Длина, на которой сказывается влияние подпора h, создаваемого

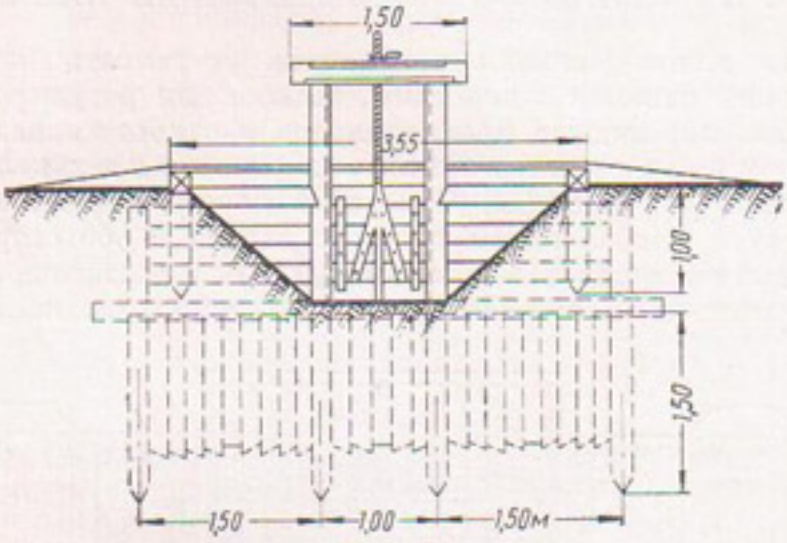


Рис. 314.

шлюзом, определяется по известным формулам нахождения кривой подпора; приближенно она близка к $\frac{2h}{I}$, где I — уклон дна канала. Образование подпора воды h увеличивает скорость прохождения воды через шлюз: средняя скорость воды в шлюзе становится равной $u=\sqrt{v^2+2gh}$, где v — скорость воды в канале до стеснения его русла. Скорость u не должна быть больше скорости, могущей вызвать размыв русла.

Перепады и быстротоки. Перепады на осушительных каналах приходится устраивать в том случае, когда уклон поверхности земли по трассе канала больше максимального допустимого уклона дна канала. Высоту перепадов на осушительных каналах делают не больше 1—1,2 *м*, а в минеральных грунтах не больше 0,6—0,8 *м*.

Порог перепада, а также дно и откосы канала выше и ниже перепада укрепляют деревом; у порога перепада забивают шпунтовый ряд из бревен или пластин; он должен входить в материк на глубину не меньше 1 *м* и быть запущен в берега канала на длину около 2 *м* от бровки канала с каждой стороны.

Выше и ниже порога забивают ряды свай на расстоянии 2 *м* ряд от ряда; на них насаживают брусья, к которым прибивают настил, поверхность

[1] Следует отметить начавшееся широкое применение бетонных и железобетонных, в том числе сборных, сооружений при осушительных работах; при осушении болот необходимо предусматривать защитные мероприятия от коррозии бетона.

которого совпадает с дном канала. Откосы и дно канала также обшивают пластинами на протяжении 4—6 *м* выше и 10—12 *м* ниже перепада.

Перепады на менее крупных каналах часто укрепляют фашинами и плетнями. Дно канала у перепада укрепляют фашинами, а откосы канала, выше и ниже перепада,— хворостом, на длине около 6 *м*.

Вместо ряда перепадов могут быть устроены быстротоки и крепление канала на всем протяжении, где скорость течения воды в канале превышает допустимую в отношении размываемости грунта. Крепления дна и откосов канала делают следующие.

Мощение камнем на мху наиболее надежный способ, но не всегда доступный на болотах; чтобы камни мостовой не вымывало, при больших уклонах делают невысокие плетни в косую клетку с расстоянием 0,7 *м* плетень от плетня, в которые и помещают камни.

Хворостяное крепление—наиболее распространенный вид крепления осушительных каналов. Оно состоит в укладке по откосам и дну канала поперек течения воды мелкого хвороста лиственных пород слоем в 8—10 *см*, прикрепляемого к откосам жердями, положенными на расстоянии 0,7 *м* и прибитыми к откосам длинными кольями.

Дернование — наиболее слабое крепление; оно оказывается надежным только для тех частей откосов, которые лишь периодически находятся под водой, иначе дерн быстро сгнивает.

Глава тринадцатая

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО И ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМОВ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Осушительная система должна создавать и поддерживать на осушаемых землях нужные для их сельскохозяйственного использования водный и питательный режимы, обеспечивая высокое плодородие почв. Между тем водный режим почв на осушаемой площади изменяется во времени под влиянием метеорологических условий и прежде всего соотношения между осадками, температурой и влажностью воздуха; культуры же на осушаемых землях предъявляют неодинаковые требования к водному режиму, причем эти требования изменяются во времени в соответствии с фазами развития растений. Поэтому надлежащее управление водным режимом и влажностью почвы на заболоченных землях путем только увеличения стока поверхностных или грунтовых вод оказывается недостаточным. На осушаемой площади: 1) бывают и засушливые периоды, когда в почве наблюдается не избыток, а недостаток влаги для растений и когда удаление воды не нужно вовсе или должно быть ограничено; 2) имеются поля, для которых требуется повышенный водный режим по сравнению с общим режимом, создаваемым осушительной сетью на данной площади. Кроме того, осушаемые земли в результате удаления воды и растворенных в ней питательных веществ *систематически обедняются питательными веществами для растений*, что неблагоприятно сказывается на плодородии почв, особенно на бедных зольными усвояемыми веществами торфяных болотных почвах[1].

Одним из возможных приемов регулирования запасов зольных элементов может быть периодическое прекращение стока воды с осушенных земель, чтобы сохранить не только воду, но и содержащиеся в ней питательные вещества для растений, или же, если этой меры недостаточно, то периодическое доставление извне на заболоченные осушаемые земли воды не столько для увлажнения их (в периоды засух), сколько для пополнения почвы содер-

[1] Это положение автора не следует понимать так, что при осушении *всегда* почва обедняется; наоборот, при правильном осушении и освоении осушенных земель плодородие почв не только значительно выше по сравнению с неосушенными, но может и должно поддерживаться на высоком уровне. Баланс зольных элементов пищи в общем включает в себя: а) запасы (наличие) в первично осушенных почвах; б) ежегодное пополнение от притока поверхностных и грунтовых вод, удобрений и минерализации органического вещества (торфа); в) ежегодную убыль с отводимыми избыточными водами и выноса с урожаем. Хотя этот важнейший вопрос еще недостаточно исследован, особенно в части балансов отдельных элементов, имеющиеся данные, например, для низинных болот (И. С. Лупиновичч, Т. Ф. Голуб, Б. Д. Оношко, М. Д. Бахулин, А. Ф. Печкуров, Н. Ф. Лебедевич, В. М. Игнатьева, К. Ю. Ванагс и др.) показывают, что при правильном их осушении и освоении валовой запас зольных элементов пищи не только не снижается, но может увеличиваться; особое значение при этом имеют как огромные потенциальные запасы зольных элементов пищи в осушенных низинных болотах, так и ежегодное пополнение от минерализации торфа, внесения удобрений и от притока поверхностных вод; значение последнего обстоятельства, а также сокращению выноса зольных элементов и уделяется особое внимание А. Н. Костяковым.

жащимися в воде зольными питательными веществами (илистые наносы, растворенный кислород, нитраты, K_2O, P_2O_5 и др.), которые при одном осушении систематически удаляются из почвы или поступают на осушаемую площадь в недостаточном количестве. Первая задача — задержание питательных веществ — достигается главным образом при шлюзовании, вторая задача — пополнение содержания зольных веществ — орошением заболоченных земель и удобрением их.

Остановимся на регулировании водного и питательного режимов на осушаемых землях.

Поверхностный сток в осушительных системах с временной сетью можно в известной мере регулировать путем заравнивания излишних осушительных борозд для уменьшения стока или, наоборот, нарезки дополнительных борозд для усиления его. В постоянных же каналах и дренах для регулирования их работы нужны особые устройства: 1) задерживающие сток в осушительных системах (так называемое предупредительное шлюзование) и 2) позволяющие приводить на осушаемую площадь извне необходимые количества воды с содержащимися в ней питательными веществами (увлажнительное и удобрительное орошение).

Сообразно основным видам осушения, рассчитанным главным образом на регулирование грунтовых или поверхностных вод, можно отметить способы регулирования, представленные в таблице 94.

Таблица 94

Характер осушения	Задержание стока воды и питательных веществ	Приведение недостающих количеств воды и зольных веществ
Регулирование грунтовых вод	Шлюзование дренажной сети	Подземное (дренажное) орошение
Регулирование поверхностных вод	Шлюзование осушительных каналов	Орошение осушаемых болот с целью удобрения

Выбор способов регулирования водного (а вместе с ним и питательного) режима осушаемых земель и форм осуществления их зависит, во-первых, от климатических условий и характера заболачивания данной площади, во-вторых, от хозяйственного использования ее.

Потребность в добавочном увлажнении на осушаемых землях возникает обычно в засушливые периоды, т. е. тогда, когда на осушаемой площади нет излишков ни почвенно-грунтовых, ни поверхностных вод, которые могли бы быть задержаны путем шлюзования, так как меженный сток на заболоченных землях поверхностного водного питания составляет 0,05 *л/сек* с 1 *га*; поэтому так называемое предупредительное шлюзование, использующее внутренние ресурсы воды без подачи ее извне, может давать эффективные результаты только на болотах грунтового и особенно напорно-грунтового водного питания.

По данным наших научно-исследовательских институтов мелиорации (Белорусский, Украинский, Северный и др.), суммарное водопотребление некоторых сельскохозяйственных культур (транспирация и испарение почвы) за вегетационный период не только в засушливые, но и в средние по влажности годы превышает количество атмосферных осадков и внутренние запасы влаги, какие могут быть взяты из активного слоя почвы. Так, по исследованиям К. Я. Кожанова (АН БССР) для ряда культур получен баланс влаги, приведенный в таблице 95.

Аналогичные данные (табл. 96) получены также А. М. Янголь (УкрНИИГиМ), причем суммарное водопотребление сопоставлено только с атмосферными осадками вегетационного периода (данные приведены в *мм*). Из этих данных видно, что дефицит водопотребления (по осадкам) наблюдается не только в среднезасушливые (75%), но и в средние годы (50%)[1].

[1] Без учета запасов влаги в почве.

Таблица 95

Культура	Урожай (в ц с 1 га)	Коэффициент суммарного водопотребления	Суммарное водопотребление за вегетационный период (в мм)	Количество атмосферных осадков за вегетационный период (в мм) ср. годы/сух. годы	Количество влаги, использованной из активного слоя почвы (в мм)	Атмосферные осадки плюс внутренние запасы (в мм)	Дефицит влаги за вегетационный период в ср. годы (в мм)
Конопля южная (сухая масса)	145	720	1044	339/215	150	489/365	555
Травосмесь (сухая масса)	100	530	530	330/206	150	480/356	50
Яровая пшеница (зерно)	35	530	186	241/125	125	366/250	—
Сахарная свекла (сырые корни)	450	84	378	391/254	125	516/379	—

Таблица 96

Культуры	Годы 50% обеспеченности			Годы 75% обеспеченности		
	Суммарное водопотребление	Атмосферные осадки	Дефицит влаги	Суммарное водопотребление	Атмосферные осадки	Дефицит влаги
Сеяные травы	637	241	396	716	153	563
Овес	372	315	57	497	169	328
Свекла	410	237	173	522	124	398
Картофель	272	176	96	—	—	—

Наиболее нуждающимися в добавочном увлажнении на закультивированных болотах оказываются травы, конопля, капуста и другие овощи, а в засушливые годы свекла, картофель и др.

Расход почвенной влаги на транспирацию и испарение из верхнего слоя почвы на закультивированных болотах (поверхностного водного питания) для некоторых культур в течение вегетационного периода может превышать осадки и капиллярное поднятие влаги от грунтовых вод.

Например, на осушенных землях поймы р. Супой (в среднесухой год) разница между запасами продуктивной влаги в слое почвы 0—40 *см* и суммарным водопотреблением сеяных трав составляет следующие величины (данные А. М. Янголь):

Месяцы	V	VI	VII	VIII	IX
Разница (в $м^3/га$)	—467	—34	—1158	—776	—342

В силу этого верхние слои почвы на многих болотах, особенно в сухие годы и в более южных районах, сильно иссушаются, и влажность их может достичь критических для растений величин (недоступной влаги завядания). Например, на торфяных почвах в пойме р. Супой недоступная влажность в пахотном слое почвы составляет около 40—45% от полной влагоемкости. Так как влажность почвы, как указывалось уже выше, уменьшается с увеличением глубины стояния грунтовых вод, то, по данным УкрНИИГиМ, в слое 10—40 *см* она может достигать минимально допустимой величины для большинства сельскохозяйственных культур в условиях УССР при глубине грунтовых вод 1,2—1,4 *м*; в других районах эта глубина может быть больше.

Поэтому в засушливые периоды, когда нет осадков, при глубине грунтовых вод ниже 80—90 *см* — для трав и ниже 1,3 *м* — для овощных и других культур, по данным Украинского и Белорусского институтов мелиораций, оказывается нужным дополнительное увлажнение почвы.

Рассмотрим следующие виды регулирования водного и питательного режимов осушаемых земель: 1) шлюзование осушительных систем — открытых и закрытых; 2) орошение осушаемых земель (главным образом подпоч-

венное); в целях увлажнения их в периоды засух; 3) орошение осушаемых болот в целях снабжения их содержащимися в воде зольными питательными веществами.

1. ШЛЮЗОВАНИЕ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Шлюзование каналов, исключая в засушливые периоды сток воды по ним, являющийся одним из существенных расходных элементов баланса грунтовых вод, уменьшает скорость понижения их под действием испарения; создавая же и поддерживая определенный подпор горизонта воды в канале, можно не только уменьшать снижение грунтовых вод на осушаемых землях между каналами, но и в известной мере влиять на их повышение за счет инфильтрации воды из подпертых каналов.

Если путем шлюзования осушительного канала прекращается сток воды из него, грунтовые воды на полосе между каналами устанавливаются на определенном уровне, который под влиянием испарения постепенно понижается; темпы этого понижения определяются из условия:

$$\delta \Delta H = e \Delta T - P_0,$$

где ΔH — понижение грунтовых вод за время ΔT;

e — интенсивность испарения их в период ΔT;

P_0 — слой просачивающихся в грунтовые воды осадков за то же время;

δ — коэффициент водоотдачи почвогрунта.

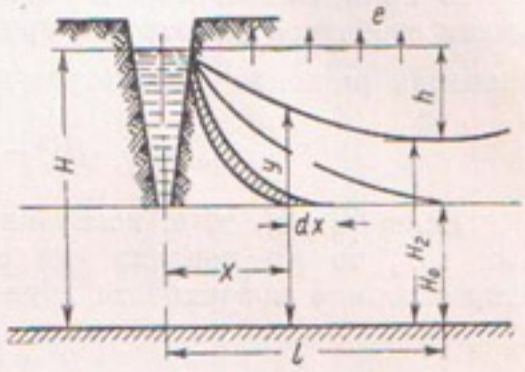


Рис. 315.

Величина испарения e при данных метеорологических условиях сильно зависит от глубины грунтовых вод; с ней связано также и значение коэффициента δ; поэтому при пользовании указанным уравнением надо брать значения e и δ, соответствующие средней глубине грунтовых вод за время ΔT.

Если же путем шлюзования не только прекращается сток воды по осушительному каналу, но и поддерживается определенный подпор горизонта воды в нем (путем подачи в канал определенного расхода воды), то за счет инфильтрации воды из канала в грунт уровень грунтовых вод на осушаемой полосе поднимается с постепенным замедлением во времени. Расход воды, необходимый для поддержания подпора воды в канале H и поступающий в грунт путем инфильтрации, идет частью на восполнение испарения грунтовых вод, частью на повышение их уровня на полосе земли вдоль канала. Считая, что расход воды по длине канала равномерно распределяется на испарение и насыщение почвы, можно приближенно написать (рис. 315):

$$Q_1\left(1-\frac{x}{l}\right) = -ky\frac{dy}{dx},$$

где Q_1 — расход на единицу канала (в одну сторону); двусторонний расход $Q_0 = 2Q_1$.

Интегрирование этого уравнения дает:

$$y^2 = H^2 - \frac{Q_1}{k}\left(2x - \frac{x^2}{l}\right),$$

где H — высота подпора воды в канале; y — ордината в любой момент времени на расстоянии x. В частности, для установившегося движения при $x = l$, $y = H_2$ и потому

$$Q_0 = 2Q_1 = \frac{2k}{l}(H^2 - H_2^2).$$

Расход воды, поступающий из подпертого канала в грунт, изменяется во времени: при постоянном подпоре H расход воды уменьшается сначала по мере роста дальности инфильтрации x, а затем, после того как инфильтрация распространится до середины расстояния между каналами $x=l$, по мере повышения высоты грунтовых вод H_2 на длине l (если происходит инфильтрация и из соседнего канала). Время инфильтрации на расстоянии l равно [1]:

$$T=\frac{\delta n l^2}{2k(H+H_0)}.$$

После того как инфильтрация распространяется до середины расстояния между каналами, будет происходить дальнейший подъем грунтовых вод, причем время их поднятия на длине l с уровня H_0 до H_2 равно:

$$T_1=\frac{n\delta l(H_2-H_0)}{Q_{ср}-el}.$$

В приведенных выражениях [2] коэффициент $n=0{,}5-0{,}66$; δ — коэффициент свободной порозности грунта; $Q_{ср}=0{,}5\ (Q_{01}+Q_{02})$, где Q_{01} и Q_{02} — значения расходов инфильтрации при $y=H_0$ и $y=H_2$, т. е.

$$Q_{01}=\frac{k}{l}\ (H^2-H_0^2);\quad Q_{02}=\frac{k}{l}(H^2-H_2^2).$$

Если $Q_0=el$, т. е. восполняется только расход на испарение грунтовых вод, то ни подъема, ни опускания их не происходит, и уравнение депрессионной поверхности грунтовых вод на полосе l имеет вид:

$$y^2=H^2-\frac{ex}{k}(2l-x).$$

Из этого уравнения можно определить расстояние между каналами (по Б. Т. Гейтману), позволяющее при шлюзовании поддерживать посредине между ними определенную глубину грунтовых вод [h — см. рис. 315] путем пополнения потерь воды на испарение (т. е. при $Q_0=el$),

$$b=2l=2\sqrt{\frac{k}{e}h(2H-h)},$$

так как в этом случае [3] при $x=l$ значение $y=H-h$.

При $Q_0<el$ грунтовые воды будут опускаться, но более замедленно (по сравнению со случаем отсутствия подачи воды, когда $Q_0=0$).

Когда шлюзуются не открытые каналы, а закрытые дрены, расстояния между ними, при прочих одинаковых условиях, должны быть меньше, так как инфильтрация воды происходит через меньшую смоченную поверхность дрены [4].

Необходимый расход воды при шлюзовании на покрытие испарения составляет $q=\frac{10^4}{l}\cdot\frac{el}{86\,400}=0{,}116e$ *л/сек* на 1 *га*, где e — испарение в *мм* в сутки.

---

[1] Выражение для времени T получается из баланса за время dt:

$$Q\,dt=\frac{k}{x}(H^2-H_0^2)\,dt=n\delta(H-H_0)\,dx$$

(см. заштрихованную площадь на рис. 315). Интегрирование в пределах от $t=0$, $x=0$ до $t=T$, $x=l$ дает приведенную автором формулу.

[2] Можно показать, что при принятых допущениях $T_1=4\ T$.

[3] При пользовании формулой следует иметь в виду, что она соответствует установившемуся режиму, не учитывает зависимости испарения от глубины грунтовых вод и относится к «совершенным» каналам. Помимо определения расстояний, следует проверить время $T+T_1$ достижения увлажнительного эффекта.

[4] Определить расстояния между закрытыми дренами-увлажнителями можно аналогично тому, как это сделано выше для осушительных дрен.

Расход воды на увлажнение подается в осушительный канал из определенного водоисточника или же покрывается за счет стока с остальной водосборной площади; последнее применимо главным образом на болотах грунтового водного питания; на болотах же атмосферного водного питания оно трудно осуществимо.

По исследованиям Б. Г. Гейтмана, на 1 *га* шлюзованной площади болота необходимо иметь 15—30 *га* водосборной площади (при $e=4$—6 *мм* в сутки и модуле летнего стока 0,03—0,05 *л/сек* с 1 *га*); шлюзуемые каналы в конце весеннего периода могут заполняться водой за 3—5 суток.

При питании шлюзуемых каналов стоком с водосборной нешлюзуемой площади подача воды в каналы изменяется вместе с колебанием стока, а в связи с этим изменяется и режим грунтовых вод на шлюзуемой площади при чередовании засушливых и влажных периодов.

Влияние шлюзования на грунтовые воды возрастает с увеличением водопроницаемости k и структурности почвогрунта; действие этого фактора особенно усиливается с увеличением глубины залегания водоупора и высоты подпора H, с уменьшением расстояния между каналами или дренами s, с увеличением подаваемого расхода Q_0 и с уменьшением интенсивности испарения e. *В тяжелых и бесструктурных почвах эффективность шлюзования сильно падает, и для повышения ее в этих случаях прибегают к заложению между открытыми каналами кротовых дрен*, т. е. к подпочвенному орошению.

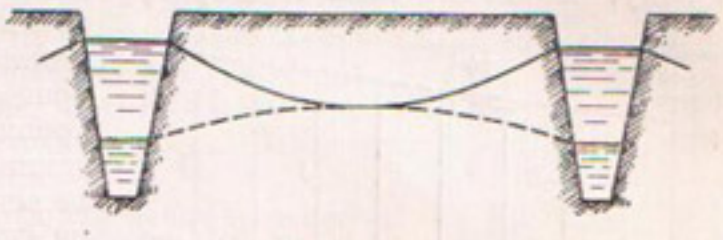


Рис. 316.

Кроме непосредственной инфильтрации воды в почвогрунт, действие шлюзования проявляется также: 1) в прекращении оттока грунтовых вод и задержании их в грунте, вследствие чего спад уровня этих вод замедляется, и 2) в более быстром повышении грунтовых вод после выпадения атмосферных осадков, так как на шлюзованной площади почвогрунты более влажные. Грунтовые воды на шлюзованной площади в этом случае более или менее быстро поднимаются даже на середине между каналами, если расстояние между ними не очень велико; в засушливое же время грунтовые воды остаются стабильными (если подачей расхода $Q_0=el$ возмещаются потери воды на испарение) или снижаются более медленно, а глубина стояния поддерживается более равномерной по ширине полосы между каналами.

Депрессионная поверхность грунтовых вод между каналами при шлюзовании имеет вогнутую форму или же оказывается более или менее равномерной по ширине полосы (рис. 316); в некоторых случаях, особенно в начале шлюзования, эта кривая, кроме подъемов по краям, имеет и подъем в середине, вследствие наложения инфильтрационных вод на исходную поверхность грунтовых вод (до шлюзования).

Влияние шлюзования на грунтовые воды можно иллюстрировать, например, данными Института болотного хозяйства БССР (А. И. Ивицкий) на опытном участке в бассейне р. Неруссы Орловской области в засушливом 1939 г. (табл. 97).

В таблице 97 в столбцах «а» даны уровни грунтовых вод в шлюзованной зоне (в 30 *м* от шлюза), а в столбцах «б» — уровни вне зоны влияния шлюза (в 240 *м* от него). Шлюзы были закрыты 23 мая и окончательно открыты 20 октября; за это время шлюзы открывались (полностью или частично): 1—8 и 12—19 июня, 10—19 июля и 19—26 сентября. Слой воды в канале в шлюзованной зоне составлял в среднем 100 *см* и влияние шлюзования распространялось на 50 *м* от канала; грунтовые воды в зоне влияния шлюзования стояли значительно выше, особенно в августе и сентябре. Торф на болоте опытного участка имеет глубину 2—3,5 *м*, отличается значительной зольностью и водопроницаемостью. Урожай сена трав на шлюзованном участке составлял в среднем 54,7 *ц*, а на нешлюзованном 17,6 *ц* с 1 *га*.

Таблица 97

Расстояния от канала (в м)	Средний уровень грунтовых вод от поверхности (в см)									
	июнь		июль		август		сентябрь		октябрь	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
5	40	80	37	87	33	92	42	99	45	94
10	41	80	39	90	35	105	45	114	49	110
20	46	81	44	100	44	144	54	170	53	164
30	49	77	48	94	53	140	62	167	54	161
47	60	79	62	117	74	171	76	157	69	153
73	74	83	90	96	136	139	170	Сух.	164	Сух.
100	109	98	122	105	167	126	175	»	172	»

Влажность пахотного слоя торфяной почвы при шлюзовании повышалась с 24—32 до 42—67% полной влагоемкости. Нужно, однако, иметь в виду, что избыточный подпор грунтовых вод и избыточная влажность почвы могут повлечь за собой уменьшение аэрации почвы, ослабление процессов нитрификации, снижение урожайности. Поэтому при шлюзовании необходимо постоянно следить за поддержанием надлежащего уровня грунтовых вод и влажности почвы и регулировать их своевременным периодическим открытием и закрытием шлюзов[1].

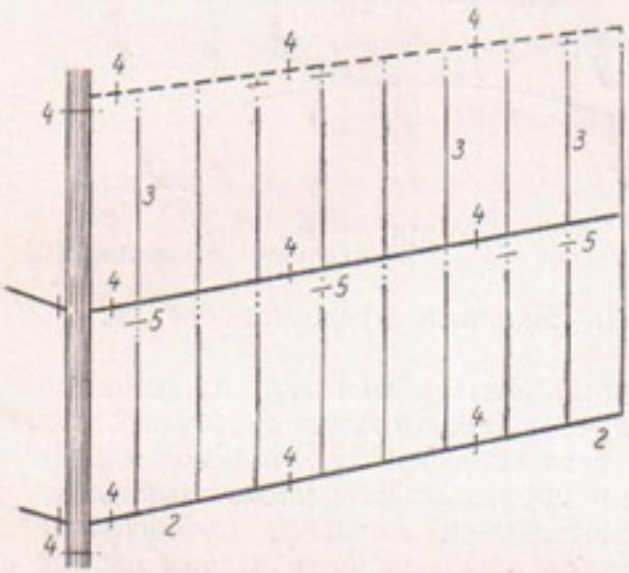


Рис. 317.

1 — магистральный осушительный канал; *2* — боковые проводящие каналы; *3* — регулирующие каналы; *4* — шлюзы-регуляторы на каналах; *5* — водовыпускные трубы со шлюзами или задвижками.

Для предупреждения снижения грунтовых вод в летние месяцы шлюзы закрываются после прохода весеннего паводка, когда уровень грунтовых вод приближается к норме; закрытие шлюзов ранней весной опасно, так как может вызвать чрезмерное поднятие грунтовых вод, снижение аэрации почвы и мелкое развитие корневой системы. Летом шлюзы открываются в дождливые или влажные периоды, по мере надобности, чтобы поддерживать нужный режим грунтовых вод, а также для аэрации почвы (на 1—2 дня при достаточном притоке воды в канале). При обеспеченной подаче воды в систему для орошения культур шлюзы закрываются в отдельные периоды, сообразно потребности растений в добавочной влаге.

Повышение влажности почвы в засушливые периоды в результате шлюзования осушительных каналов повышает урожайность сельскохозяйственных культур на шлюзуемых участках. Особенно отзывчивыми на дополнительное увлажнение оказываются травы и некоторые овощные и технические культуры. Хорошее развитие трав при шлюзовании способствует очищению лугов от сорняков, легко вытесняющих кормовые травы в засушливое время без шлюзования.

Расположение шлюзов на осушительной сети должно быть таким, чтобы оно позволяло поддерживать определенный нужный водный режим на отдельных полях севооборота, различающихся по своим требованиям к воде.

---

[1] Следует при этом иметь в виду инерционность грунтовых вод, что оценивается временем $T+T_1$ (см. стр. 503).

Б. Г. Гейтман дает, например, такое расположение шлюзов на осушительной сети (рис. 317).

Проводящие каналы подпруживаются только в устье или по длине их, в зависимости от уклона и размещения культур севооборота; для питания шлюзованных каналов водой (на покрытие расхода на инфильтрацию в грунт и испарение) подают воду в осушители *1* через водовыпускные трубы *5* из вышерасположенных собирательных каналов *2* (или из специальных водопроводящих каналов при обеспеченной подаче воды в систему для орошения культур). При проектировании расположения шлюзов принимают горизонты подпора: ниже бровки канала максимальный — на 0,10 *м* и минимальный — на 0,25—0,35 *м* ниже бровки канала (в зависимости от глубины торфа); таким образом, один шлюз может обслужить площадь с разностью отметок 0,15—0,25 *м*, что дает при уклоне канала 0,0005 дальность действия шлюза (вдоль канала) от 300 до 500 *м*, а при уклоне 0,001 дальность действия от 150 до 250 *м*.

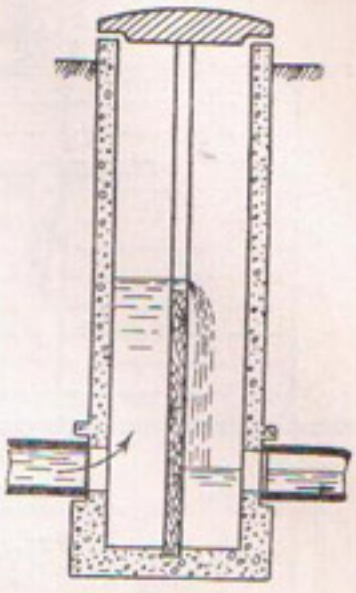


Рис. 318.

Шлюзы предпочтительнее делать с шандорами, так как они лучше поддерживают постоянство горизонтов воды при колебаниях расхода; но ставятся также и шлюзы со щитами. При регулировании грунтовых вод на дренированной площади на коллекторах ставятся регулирующие сооружения шандорного типа, показанные на рисунке 318; они позволяют создавать подпор грунтовых вод до желательного уровня.

Регуляторы ставятся на определенных расстояниях по длине коллектора (сообразно уклону местности,) а также в конце всех боковых коллекторов или дрен (впадающих в главный), обслуживающих различные поля севооборота или участки, обособленные в отношении своего сельскохозяйственного использования и требующие различной глубины грунтовых вод.

2. УВЛАЖНЕНИЕ (ОРОШЕНИЕ) ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Повышение грунтовых вод и влажности осушаемой почвы в нужные периоды за счет прекращения стока и инфильтрации методом шлюзования протекает только в определенных размерах и притом более или менее медленно, особенно на малопроницаемых заболоченных землях не грунтового питания.

Для ускорения этого процесса и для предупреждения быстрого снижения уровня грунтовых вод в засушливые периоды при шлюзовании нужна подача воды в каналы (для возмещения убыли воды на инфильтрацию и испарение). Чтобы регулировать водный режим на осушаемой площади в соответствии с потребностями растений, независимо от колебания климатических условий, нужно сочетать осушение с возможностью регулярной подачи воды в осушительную систему в нужные моменты.

При возможности регулярной подачи воды лучше обеспечивается водный режим в периоды засух, а в сырые избыточно влажные периоды исключается высокий подъем уровня грунтовых вод и не нарушаются правильные микробиологические процессы и аэрация в почве.

Орошение на осушаемых землях служит средством: 1) поддержания нужной влажности при наступлении засушливых периодов; 2) усиления газообмена в дренированной почве; 3) снабжения почвы и растений веществами, содержащимися в оросительной воде (взвешенными и растворенными).

Существует несколько способов применения орошения на осушаемых землях. В большинстве случаев повышение недостающей (в известные моменты времени) влажности осушаемой почвы достигается подачей в нее свежей оросительной воды из какого-либо водоисточника (реки, водохранилища и др.), причем эта вода может подаваться на осушаемые земли поверхностным (например, дождеванием) или же подземным способами

путем устройства кротовых или других дрен. На заболоченных землях грунтового питания для повышения влажности дренированной почвы иногда прекращают действие дренажа и используют накопляющиеся дренажные воды на увлажнение почвы (вместо отвода их в водоприемник), причем и в этом случае дренированная почва может увлажняться поверхностным или же подпочвенным орошением.

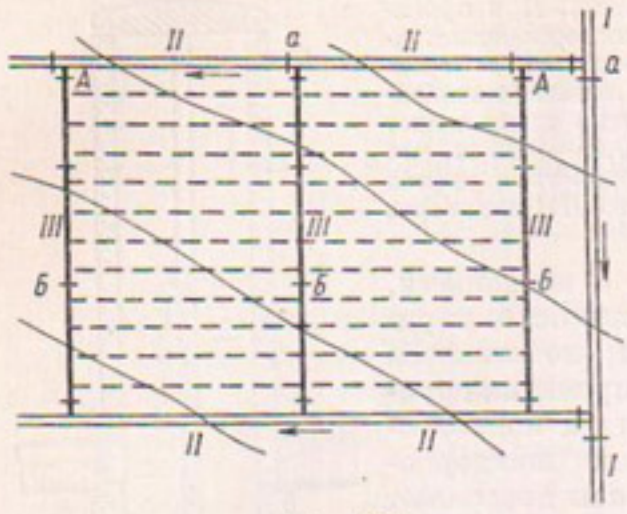


Рис. 319.

Введение в почву воды извне имеет то преимущество, что почве дается свежая, богатая кислородом и илом вода; при подаче же дренажной воды используются питательные вещества, вымываемые дренажными водами; поэтому можно применять комбинированную подачу свежей и дренажной воды.

1. При подпочвенном орошении вода подается не на поверхность почвы, а в заложенные на определенной глубине от поверхности дрены из распределительного канала.

Для увлажнения почвы в нужные периоды воду в дрены подают по следующим схемам (рис. 319, 320). Вода подается в канал *I* из водоисточника и затем поступает в каналы *II* (при помощи шлюзов *а*), и из них — в каналы *III* и далее — в регулирующие дрены. Схема подачи воды в эти дрены при помощи регуляторов *А* и *Б* и сброса ее из дрен, изображенная на рисунке 319, показана в разрезе на рисунке 321[1].

Хорошие результаты дает подача воды в кротовые дрены из шлюзованных открытых каналов, осуществляемая по схеме рисунка 319, где пунктиром обозначены кротовые дрены. Создание подпора воды в открытых каналах при наличии кротовых дрен на осушенной площади способствует быстрому распространению воды по дренам и увлажнению почвы на большую длину от канала по сравнению с тем, что имеет место при одном шлюзовании без дрен. Расстояния между открытыми каналами при шлюзовании кротованной площади могут быть приняты 200—400 *м*. Что касается расстояний между кротовыми дренами, то чем чаще они заложены, тем быстрее и выше поднимается уровень грунтовых вод посредине междудренья. По опытам К. Я. Кожанова (АН БССР), на низинных болотах Полесья наиболее эффективное расстояние между кротовыми дренами при шлюзовании около 15—20 *м*. Он предлагает определять это расстояние по формуле:

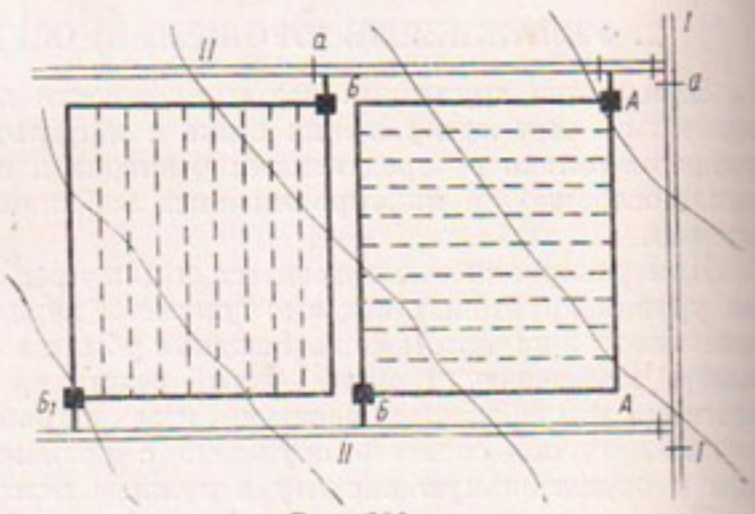


Рис. 320.

$$b = C\,(H - h)\sqrt{\frac{k}{\epsilon}\,d},$$

где H — высота уровня воды в канале, в *м*;
h — высота уровня на середине междудренья, в *м*
d — диаметр дрены, в *м*;
k — коэффициент фильтрации, в *см/сек*;

---

[1] Изучение вопроса о расположении осушительной сети при разных условиях и, в частности, в связи с орошением заболоченных земель велось С. П. Михайловым в секторе водного хозяйства Академии наук Белорусской ССР, по работе которого и даны схемы рисунков 319—321. *Прим. автора.*

e — испарение, в *мм/сут*;
C — коэффициент, равный 900 — 1000 при увлажнительном шлюзовании.

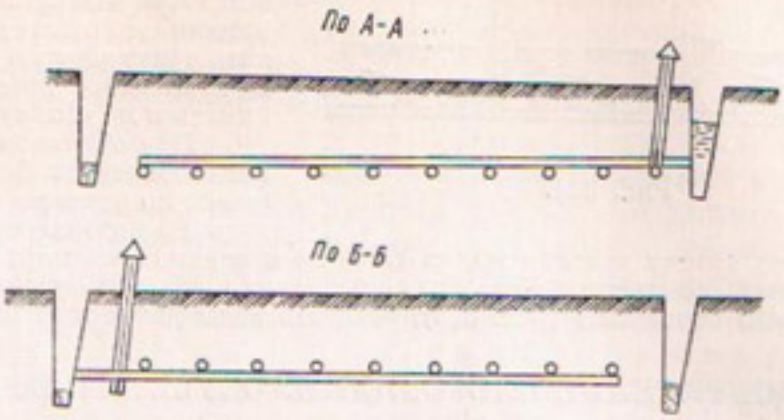


Рис. 321.

Чтобы повысить уровень грунтовых вод на дренированной площади на 1 *см*, нужно, по данным УкрНИИГиМ, подавать 15—19 $м^3$ воды на 1 *га*, из коих около 7 $м^3/га$ стекает и остальные 8—12 $м^3/га$ остаются в почве, причем чем глубже залегание грунтовых вод, тем больше нужно подавать воды.

2. При поверхностном орошении дренированных земель (рис. 322) вода на участок подается главным распределителем *I*, который через распределители второго порядка *II* питает временные оросители или дождевальные машины, из которых и производится полив.

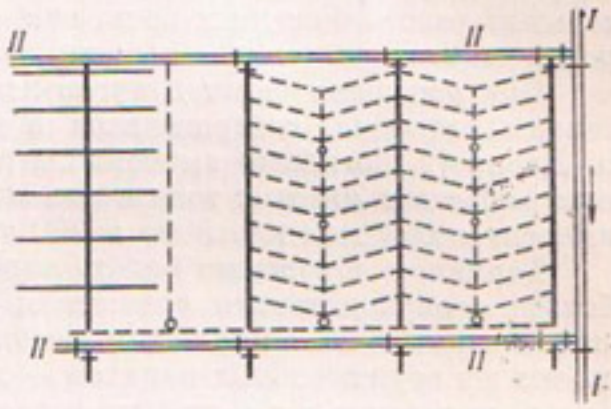


Рис. 322.

Глубину дренажа принимают 1,2—0,9 *м*, расстояния между дренами от 10 до 40 *м*, в зависимости от уклона и проницаемости почвы. Диаметр дрен делается обычно 5—6 *см*.

Диаметр коллекторов рассчитывают на расход воды 0,8—1,2 *л/сек* с 1 *га*. По длине коллектора через каждые 50 *м* (а при большом падении — через каждые 0,5 *м* по высоте)

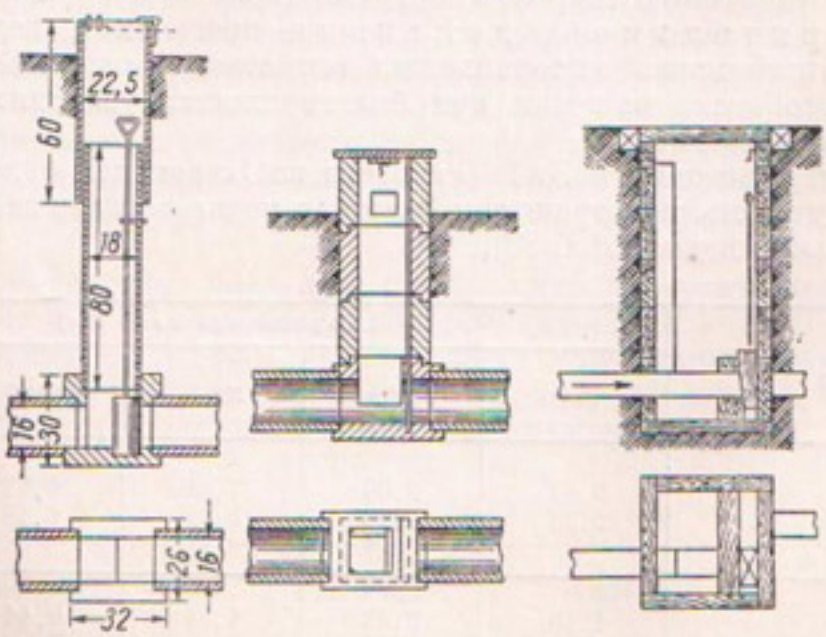


Рис. 323.

ставятся дренажные вентили; последний нижний вентиль ставится на коллекторе в устье его. Эти вентили позволяют включать или выключать действие дренажа.

Конструкция дренажных вентилей показана на рисунке 323; они представляют вертикальную шахту, стоящую на коллекторе и выходящую на поверхность; внизу в нее входят отверстия коллектора. В шахте помещается затвор, позволяющий закрывать вход в низовое отверстие коллектора. Закрывая это отверстие, можно заставить притекающую из верхнего конца коллектора дренажную воду подниматься по стояку вентиля.



Рис. 324.

При обильном грунтовом питании заболоченной площади поднявшаяся по вентилю вода может доходить до поверхности почвы и через особые отверстия вверху вентиля выливаться на поверхность земли: это дает возможность использовать дренажные воды для увлажнения почвы, распределяя их по поверхности при помощи бороздок *1* (рис. 324), если эти воды допустимы по качеству.

3. УДОБРИТЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ ОСУШАЕМЫХ БОЛОТ

Многие болота, особенно верховые, отличаются, как известно, бедностью зольными питательными элементами.

Орошение осушаемых болот позволяет не только поддерживать необходимый водный режим на них в засушливые периоды, но и улучшать питательный режим болотных почв, снабжая их содержащимися в воде кислородом и зольными питательными веществами.

При орошении болот и лугов используются большие количества питательных веществ, содержащиеся в полых водах наших рек. Например, р. Днепр (у Могилева) выносит ежегодно около 1500 тыс. тонн растворенных веществ и 200 тыс. тонн взвешенных наносов, а р. Припять (у Мозыря) выносит соответственно 3000 и 200 тыс. тонн.

Термином «орошение болот» определяется обычно сочетание осушения болота с периодическим орошением водами местного стока или речными, производимым из нагорных и специально устроенных оросительных или из тех же осушительных каналов — при подпоре воды в них. Если подаваемая вода поступает с «богатых» водосборов и содержит много илистых наносов, то *орошение позволяет постепенно превращать болото в зернистую пойму, улучшать структурные свойства почвы.*

Орошение осушаемых болот оказывает удобрительное, кольматирующее, микробиологическое, окислительное и отеплительное действие (не говоря о восполнении недостатков влаги в осушенном торфянике в периоды засух).

У д о б р и т е л ь н о е д е й с т в и е орошающей воды (если она богаче болотной почвы минеральными веществами) основано на поглотительной способности почвы и при благоприятных условиях может быть довольно существенным.

Например, по опытам В. Р. Ридигера на Яхромском болотном опытно-орошаемом участке, при орошении болотная почва поглощала часть веществ из оросительной воды (табл. 98).

Таблица 98

Вода	Содержание (в *мг* на 1 *л*)				
	K_2O	SO_3	Na_2O	MgO	SiO_2
Оросительная	6,46	2,98	7,66	6,62	12,4
Сбросная	5,33	2,55	6,12	6,18	11,2
Разница	1,13	0,43	1,54	0,44	1,2

Поглощая минеральные вещества, почва увеличивает и количество питательных веществ для растений.

Однако если оросительная вода содержит много CO_2, то при орошении может происходить не обогащение, а выщелачивание торфяника. То же будет наблюдаться и при орошении водой, бедной растворимыми минеральными веществами. Поэтому для орошения болот наиболее ценны воды, собирающиеся с минеральных и особенно с полевых водосборных площадей. И, наоборот, воды, стекающие с лесных и болотных площадей, вследствие содержания в них органических кислот, малопригодны для орошения лугов. Почва лучше поглощает растворенные в воде минеральные вещества весной и осенью; это время и считается лучшим для удобрительного орошения.

Благодаря удобрительному действию орошение заболоченных лугов повышает урожаи сена на 50—60%. При введении же правильных севооборотов урожайность трав повышается еще больше.

К о л ь м а т и р у ю щ е е д е й с т в и е о р о ш е н и я. Особенно благотворным оказывается орошение болот в том случае, когда оросительная вода содержит много ила, т. е. мельчайших частиц ($d<0{,}001$ *мм*), которые она отлагает на болоте; удобрительное действие орошения в этом случае очень сильно возрастает, так как речной ил обычно богат K_2O и P_2O_5, которые торф плохо поглощает из раствора.

Река Яхрома (Московская область) в своих полых водах содержит взвешенных наносов около 130 *мг/л*, из которых ил составляет 4,7%; ил содержит (в процентах): N—0,23, P_2O_5—0,22, K_2O—0,15 и CaO —1,83. Не только ил, но и более крупные наносы оказываются полезными на болотах (особенно слабо минерализованных торфяных), так как увеличивают твердую фазу в торфе, сообщают ему большую устойчивость для растений и постепенно увеличивают его минерализацию, тем самым делая возможным смену болотных растений (мирящихся с недостатками зольных элементов, каковы, например, мхи) высшими формами растений.

По исследованиям В. Р. Ридигера на Яхромском болотном опытно-орошаемом участке, отложения ила при орошении составляют от 200 до 3000 *кг* на 1 *га* (а в голове участка — выше). Отложения ила (в количестве около 2 *т* на 1 *га*) повышали урожай сена с 15,5 *ц* с 1 *га* на участках без орошения до 25 *ц* с 1 *га* при отложении ила, т. е. на 61%. Те же исследования показывают, что под влиянием орошения водой с содержанием ила болотная почва приобретает зернистую комковатую структуру.

М и к р о б и о л о г и ч е с к о е д е й с т в и е о р о ш е н и я сказывается в следующем. Болотная почва поглощает из оросительной воды значительное количество содержащихся в ней бактерий, причем максимум поглощения приходится на начальный период и середину половодья; преобладают бактерии, не разжижающие желатину, но и число бактерий, разжижающих желатину, весьма значительно: азотобактер поглощается полностью. Мельчайший ил, отлагающийся на болоте, содержит очень большое количество бактерий и тем большее, чем тоньше фракции ила, причем на р. Яхроме ил оказался чрезвычайно богатым азотобактером в активной форме.

Благодаря такому благоприятному микробиологическому действию орошение ускоряет и усиливает процессы нитрификации на болотах, что повышает урожайность. Как увеличивается содержание активного азота в орошаемом торфянике, можно видеть, например, из данных водных вытяжек (в *мг/л*) болотной почвы поймы р. Яхромы (табл. 99).

Таблица 99

Почвы	1 вытяжка	2 вытяжка	3 вытяжка
Неорошаемая торфяная	26	20,2	18,8
Орошаемая »	64	37,8	24,5

Окислительное действие оросительной воды чрезвычайно важно. Опыты показывают, что торфяник при орошении поглощает весной до 1,5 и летом до 2,5 *мг* кислорода на 1 *л* оросительной воды.

Поглощение кислорода торфом особенно важно, так как кислород, как физиологический фактор, на болотах находится в минимуме. *И орошение, обогащая болото кислородом, действует в этом отношении так же, как обработка почвы, которая увеличивает доступ воздуха в почву.* Поглощаемый почвой кислород окисляет органические вещества, вследствие чего почва обогащается углекислотой, которая действует растворяющим образом на содержащиеся в почве вещества, переводит их в усвояемую растениями форму. Благодаря поглощению почвой кислорода и обогащению воды углекислотой содержание кислорода в сбрасываемой после орошения воде падает, а углекислоты — возрастает. Вследствие этого использование одной и той же воды, стекающей с определенной площади луга, на орошение следующей нижележащей площади возможно только в ограниченных размерах, после чего дальнейшее употребление воды становится уже вредным из-за обеднения ее кислородом.

Отеплительное действие оросительной воды сказывается в трех направлениях: а) вода вследствие небольшой теплопроводности защищает залитую поверхность от теплоотдачи и предохраняет растения от заморозков; б) орошение сглаживает резкие переходы температур, часто губительные для растений, например от утреннего заморозка к яркому солнечному дню с сильным испарением; в) более теплая оросительная вода весной и осенью повышает температуру орошаемой почвы на 1—3°, отдавая свое тепло более холодной почве. Вследствие этого орошенная почва весной оттаивает раньше и растительность пробуждается скорее.

Питательные вещества, кислород и тепло из оросительной воды поглощаются в небольших (абсолютных) количествах на каждую единицу оросительной воды. Поэтому *при удобрительном орошении лугов приходится подавать больше воды*, чем это требовалось бы только на увлажнение почвы, и *обеспечивать необходимый сброс всей отработавшей воды — во избежание переувлажнения и снижения аэрации почвы.*

Для повышения эффекта орошения болот нужно соблюдение следующих условий.

1. Количество воды, даваемой на орошение болот, должно рассчитываться, исходя из условий поглощения почвой питательных веществ и тепла, содержащихся в оросительной воде; чем богаче вода питательными веществами, тем меньше может быть величина оросительных норм, при прочих одинаковых условиях; одним и тем же количеством воды, стекающим с богатых водосборов, можно оросить бóльшую площадь болот, чем стекающими с бедных; как показывают наблюдения, на 1 *га* орошаемого луга нужно иметь от 8—10 *га* водосбора при богатых суглинистых и распаханных почвах и до 30—40 *га* при бедных заболоченных, так как с 1 *га* водосбора поступает с весенней водой от 40 до 160 *кг* ила.

2. Поливная струя, даваемая при орошении луга на болоте, должна определяться, исходя из следующих условий: а) толщины слоя, каким надо покрыть орошаемую поверхность, и, следовательно, микрорельефа болот (h=3—6 *см*); б) скорости течения воды по поверхности, которая должна быть не выше 0,05—0,10 *м/сек*; если уклон мал, то для создания надлежащей скорости приходится увеличивать толщину слоя воды; в) длины каналов на единицу площади, из которых выпускается вода на орошаемую поверхность. Практически величина поливной струи при орошении болот колеблется от 30 до 100 *л/сек* на 1 *га*.

3. Вследствие больших количеств подаваемой воды нужна развитая осушительная сеть, работающая одновременно с оросительной сетью и отводящая с орошаемой площади всю отработавшую воду, отдавшую почве свой кислород, тепло и минеральные вещества.

Кроме указанного действия, орошение лугов на осушаемых болотах, как отмечено выше, позволяет бороться с пересушкой и парализовать влияние засушливых периодов на понижение влажности торфа.

В результате влияния отмеченных выше факторов орошение болот улучшает условия роста луговой растительности и часто изменяет состав ее в благоприятную сторону.

Влияние орошения болот (в связи с осушением их) на изменение растительности орошаемых угодий, по наблюдениям В. С. Доктуровского в Белоруссии, сказывается на увеличении количества таких растений, как вейник нитевидный (Calamagrostis neglecta), появлении полевицы собачьей и белой (Agrostis canina, Agr. alba) и мятлика лугового (Poa pratensis). Затем постепенно исчезают осоки, уменьшается количество пушицы (Eriophorum angustifolium), возрастает содержание полевицы и мятлика и, наконец, появляется овсяница красная (Festuca rubra).

Увеличение злаков в травостое (на 28%) на луговом болоте и уменьшение осок (на 20%) под влиянием орошения получено также в опытах Яхромской станции.

На моховом болоте при орошении исчезает сфагновый покров, появляется полевица и мятлик. Одно осушение моховых болот обусловливает смену растительного покрова очень медленно; орошение ускоряет этот процесс, однако для интенсивного сельскохозяйственного освоения болот необходимо введение правильных севооборотов при правильном осушении болот в сочетании в нужных случаях с орошением их.

Орошение заболоченных лугов, кроме улучшения качества травостоя, повышает урожаи сена. Например, в БССР средние урожаи сенокосов на болотах с 5—10 *ц* до орошения возросли до 16—24 *ц* с 1 *га* после орошения.

Сочетание осушения с орошением (в засушливые периоды) при высокой агротехнике и применении калийных и азотных удобрений позволило получать на Московской болотной опытной станции (в Яхроме) следующие урожаи сена (травосмеси, состоящей из тимофеевки, овсяницы луговой, лисохвоста и клевера шведского): в 1947 г.—136,8 *ц* с 1 *га*, в 1948 г.—172,4 и в 1949 г.—141,9 *ц* с 1 *га*, причем орошение дало прибавку урожая к контролю свыше 100%. При орошении не только увеличивается количество, но также повышается и качество сена (злаки вытесняют осоки, повышается содержание сырого протеина и зольных элементов).

Указанные результаты получаются в том случае, если орошаемое болото имеет правильно действующую осушительную сеть; на естественно заливаемых болотах-сенокосах таких результатов не получается. Это объясняется следующими обстоятельствами.

1. Осушительная сеть уменьшает влажность торфа и вследствие этого речные воды могут глубже проникать в торфяную почву. Почва, насыщенная водой при орошении, после прекращения полива, благодаря действию осушительной сети, понижает свою влажность, и на место воды в почву начинает поступать воздух в количестве, пропорциональном воздухоемкости этой почвы в данный момент. Воздухоемкость же почвы, т. е. разница между полной и потенциальной влагоемкостью почвы, больше осушенного торфа, так как для последнего потенциальная влагоемкость меньше.

2. Осушительная сеть позволяет равномерно отводить с орошаемой площади притекающую оросительную воду, не давая ей застаиваться, а это очень важно, так как поглощение почвой питательных веществ и кислорода, растворенных в орошающей воде, лучше всего достигается при движении воды по орошаемой площади; из стоячей же воды при простом затоплении кислород поглощается слабо и в малом количестве.

Технически орошение болот в связи с их осушением может осуществляться двумя основными способами.

Первый способ орошения состоит в том, что на осушительных каналах в определенных местах, сообразно рельефу, устраивают шлюзы для задержания воды. Маневрируя этими шлюзами, можно весной выливать воду из осушительных каналов (через края) и затоплять поверх-

ность болота на определенный срок; летом же можно поддерживать уровень воды в каналах на нужной для осушаемого угодья высоте.

Шлюзы ставятся в таких местах по длине каналов, где они могут создавать подпор воды на нужном протяжении. Тип шлюзов остается тем же, что был описан выше. По этому способу было устроено орошение во многих случаях в Полесье.

Второй способ орошения болот состоит в том, что, кроме осушительной сети, устраивается сеть приводящих воду каналов, причем та и другая оборудуются шлюзами для регулирования направления движения, скорости и горизонтов воды. При этом способе необходимо иметь определенный источник воды, откуда можно проводить воду на орошаемую площадь. Из этого источника вода направляется в главный водоприводной канал, проходящий по командным отметкам подлежащей орошению площа-

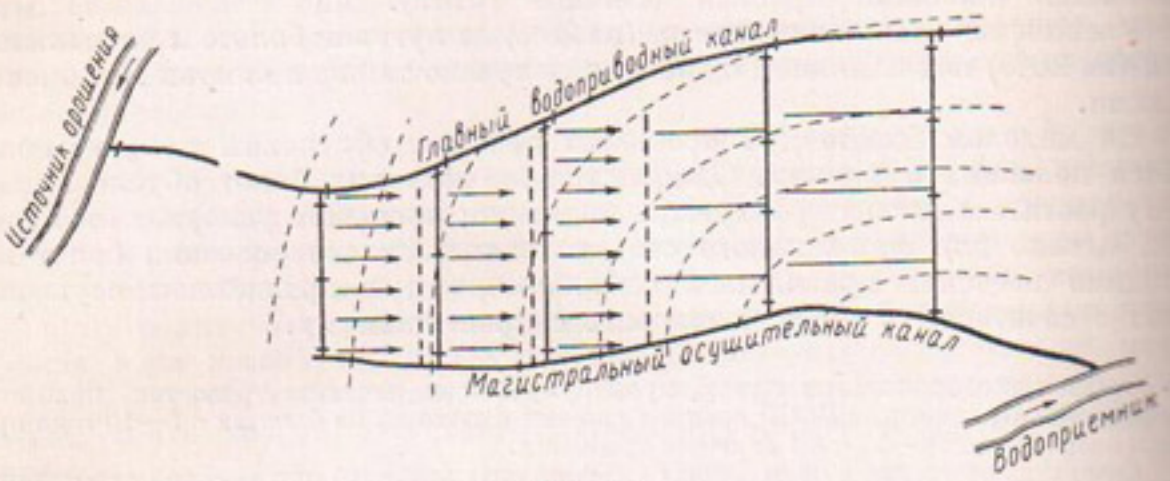


Рис. 325.

ди. Смотря по положению головы канала и режиму колебаний горизонтов в реке, вода в канал может поступать в весенний и в летний период, или только весной, во время половодья. Орошение болота осуществляется инфильтрацией, т. е. поддержанием в каналах нужного горизонта воды, или же напуском (в зависимости от стояния горизонта воды в реке, свойств почвы и уклона).

В зависимости от величины и рельефа орошаемой площади, от главного проводящего воду канала отходит большее или меньшее число боковых распределителей.

Для отвода с орошаемой площади отработавшей оросительной воды и избыточных вод стока служит сеть осушительных каналов, впадающих в магистральный канал, соединенный с водоприемником.

При этом могут быть два случая: 1) источник орошения и водоприемник разные, как показано на рисунке 325; 2) источником орошения и водоприемником служит одна и та же река (рис. 326). Вода из реки поступает в главный водоприводной канал, из него в сеть боковых каналов, из которых и разливается по орошаемой поверхности (стрелки показывают направление течения воды). Приводящие воду оросительные каналы или непосредственно совмещаются с осушительными каналами, так что оросительная сеть как бы прямо переходит в осушительную, или обе эти сети существуют раздельно.

При совмещении водоприводящих и осушительных каналов для орошения болота щиты постоянных шлюзов или временные заставки на водоприводных каналах должны устанавливаться таким образом, чтобы вода выливалась из каналов и равномерным слоем орошала склоны, с последующим поступлением в нижележащие осушительные каналы; щиты же шлюзов на этих последних устанавливаются так, чтобы достигнуть равенства притока и стока воды на орошаемой площади. Стекающая вода поступает в главный осушительный канал, которым и отводится в водоприемник. Попереч-

ное сечение каналов делается с таким расчетом, что они могут служить не только оросительными, но и осушительными. При этом способе орошения имеется одна снабженная шлюзами осушительная сеть, в верхние концы которой может извне подаваться оросительная вода; закрывая шлюзы и создавая подпор воды на осушительных каналах, можно заставить их работать и в качестве оросительных (для орошения напуском).

При раздельном устройстве оросительной и осушительной сети вода оросительных каналов выпускается на орошаемую поверхность и разливается по ней тонким слоем, стекая до нижележащего осушительного канала, который и отводит эту воду в магистральный осушительный канал и водоприемник. При этом способе нужна бóльшая длина каналов на единицу площади, но зато орошение может быть осуществимо более просто и с меньшим числом шлюзов. Выбор того или иного способа зависит главным образом от характера и расположения источника орошения и водоприемника и от условий рельефа болота.

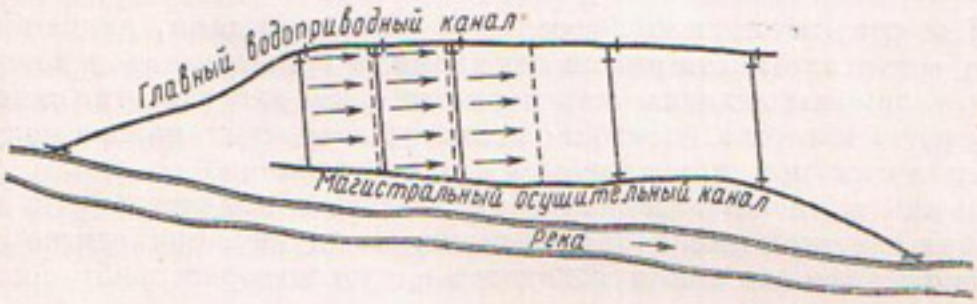


Рис. 326.

Орошение болот в Белоруссии обычно начинается в конце марта или в апреле, причем в холодную погоду употребляют больше воды, чем в теплую. Однако нельзя допускать замерзания воды и образования ледяной корки на поверхности луга, так как это может вызвать гибель трав; если луг, залитый водой, покроется ледяной коркой, ее надо быстро разбить. Орошение продолжается 20—30 дней, иногда до половины мая, в зависимости от условий паводка и погоды. После этого около полутора месяцев вода на луга не допускается. По окончании первого укоса луга опять орошаются, и перед вторым укосом — за 2—3 недели до него — вода должна быть спущена; после второго укоса — с конца августа по октябрь — луга иногда заливаются до морозов.

Орошение лугов на болотах в связи с их осушением может иметь большое значение во многих районах при различных формах сельскохозяйственного использования болот.

Иногда в заболоченных районах (Белоруссия и др.) при соответствующих топографических, гидрологических и геологических условиях на реках, являющихся водоприемниками заболоченных земель, строятся водохранилища для целей водоснабжения населенных пунктов, получения гидроэнергии или других хозяйственных надобностей. Если эти водохранилища расположены выше подлежащих осушению земель, то они сокращают сроки и размеры затопленных пойменных земель, позволяют уменьшить объемы земляных работ по регулируемому руслу водоприемника ниже водохранилища и дают возможность использовать запасенную в водохранилище воду для дополнительного увлажнения (орошения) нижерасположенных осушаемых земель в засушливые периоды путем подачи воды из него в специальный обводнительный или нагорный канал.

Однако при проектировании такого рода водохранилищ нужно учитывать, что они могут создавать подтопление и затопление земель выше створа плотины, что требует специальных мер защиты.

Глава четырнадцатая

МЕЛИОРАЦИИ ПОЙМ И ЗАТОПЛЯЕМЫХ НИЗМЕННОСТЕЙ

Поймы рек, затопляемые весенними полыми водами, являются весьма ценными сельскохозяйственными угодьями в большинстве районов СССР; особенно велико их значение как кормовой базы для развития животноводства. Хорошо известно, какие большие урожаи сена можно получать на заливных лугах при правильном их использовании.

Площадь пойменных земель в СССР весьма значительна и достигает нескольких десятков миллионов гектаров. Между тем приходится отметить, что далеко не все эти земли находятся в удовлетворительном состоянии и хорошо используются.

Многие поймы рек и низменности, весьма ценные по своим почвенным и климатическим условиям, не используются в нужной степени в силу затопления на продолжительное время и заболачивания.

Очень часто поймы заносятся песчаными и крупнопылеватыми речными отложениями, снижающими плодородие почв поймы; поверхность такой поймы становится бугристой; растительный покров ценных злаковых и бобовых трав сменяется малопродуктивной растительностью; водный режим почв становится неравномерным и неустойчивым.

Вопрос о мелиорации речных пойм и затопляемых низменностей и поддержании на них нужного для сельскохозяйственных растений водного и пищевого режимов имеет очень большое хозяйственное значение.

Мелиорация пойм должна разрешить следующие основные задачи: во-первых, упорядочить режим затопления пойм полыми водами в отношении: а) длительности затопления и равномерности его (по площади поймы и глубине воды), чтобы обеспечить равномерный и достаточный запас влаги в соответствии с условиями использования поймы, и б) количества и качества наносов, поступающих в пойму с полыми водами, и поддержания плодородия пойменных почв на высоком уровне; во-вторых, после прохождения паводков на поймах нужно поддерживать требуемый водный и питательный режимы, не допуская как избытков, так и недостатков влаги для растений, так как не только в южных засушливых районах, но даже в центральных и более северных районах сельскохозяйственные растения, особенно луговые травы и другие культуры кормовых севооборотов, летом часто испытывают недостатки влаги для обеспечения высоких урожаев и нуждаются в дополнительном увлажнении.

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПОЙМ И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ МЕЛИОРАЦИИ. МЕРОПРИЯТИЯ НА ВОДОСБОРЕ

Для освещения вопроса об основных видах пойм в почвенно-мелиоративном отношении большое значение имеет учение В. Р. Вильямса о поймах. Речные поймы по характеру почв В. Р. Вильямс делит на две основные группы: зернистые и слоистые.

Зернистые поймы образуются следующим образом. Поступающие в реку полые воды, как известно, содержат малое количество растворенных солей, но зато много взвешенных минеральных и органических веществ. В случае облесенного бассейна, когда половодье развивается медленно и продолжается долго, вся притекающая в русло реки вода успевает пройти по руслу, подняв уровень воды в нем не выше гребня прирусловых дюн, и вода половодья вступает в область центральной поймы через низшую точку тальвега поймы при его впадении в реку. Вода в центральной пойме поднимается против общего уклона поверхности, и по наполнении всей области поймы остается неподвижной. При движении воды из русла реки до центральной поймы осаждаются песчаные и пылеватые частицы, и в центральную пойму поступает вода, содержащая во взмученном состоянии глинистые элементы, перегной и органические вещества с богатой флорой бактерий. Когда наступает вторая фаза половодья и в пойму начинают поступать почвенные воды из нижней трети склонов по линии коренных берегов реки и речных террас, эти почвенные воды приносят в пойму большое количество растворимых в воде солей (двууглекислой извести, апокренатов кальция и закиси железа) и свободной креновой кислоты, и вода разлива, имевшая вначале слабощелочную реакцию, приобретает кислую реакцию. Под влиянием кислой реакции и увеличения концентрации солей в воде разлива взмученные в ней мельчайшие частички глины и органического вещества свертываются в хлопья и оседают на поверхность поймы в виде рыхлого осадка. После схода воды рыхлый осадок начинает быстро высыхать; растрескивается на многогранные отдельности и вскоре распадается на мелкие комки 2—3 *мм* в диаметре. Образуется *комковатая зернистая структура почвы поймы*. На поверхности комков начинается энергичный аэробный бактериальный процесс, обусловливающий анаэробиозис внутри комка, и создаются условия прочности комков. Растительность зернистой поймы состоит из корневищных злаков (лисохвост, полевица белая, пырей, луговой мятлик, костер безостый и др.). Очень важное свойство этих лугов заключается в том, что они редко заболачиваются, сохраняя прочную комковатую структуру почвы.

Если бассейн реки утрачивает свой лесной покров или появляются другие причины, ускоряющие процесс стока весенних вод, характер поступления полой воды в область центральной поймы меняется. В этом случае паводок приобретает стремительность, отличается меньшей продолжительностью, но более высокими пиками расходов. При стремительном притоке делювиальных потоков в русло реки *вода быстро поднимается выше прирусловых дюн, прокладывает себе путь к тальвегу поймы и заливает всю поверхность поймы*, за исключением высоких гребней дюн. При вступлении в пойму полая вода освобождается от массы песчаных наносов и течет по поверхности поймы широким потоком. На поверхности центральной поймы образуются отдельные гривы отложений пылеватых элементов, приблизительно параллельные руслу реки. Частицы глины, перегноя, мелкораздробленного органического вещества уносятся текущей водой, и на поверхности поймы отлагаются пылеватые частицы и неразрушаемые органические остатки. Такая пойма называется слоистой, так как она состоит из резко заметных песчано-пылеватых слоев, разделенных прослойками сохраняющегося в условиях анаэробиозиса органического вещества погребенной дернины.

Слоистая пойма имеет весьма волнистый рельеф; разница высот грив и логов доходит до 4—6 *м*, а разница увлажнения их может достигать больших величин и потому на слоистой пойме не встречается ровной поверхности хорошего луга, как на зернистой пойме; здесь чередуются луга высокого, среднего и низкого уровней и заболоченные низины. Особенно вредным является отложение песчаных наносов на поймах, так как слой песчаных отложений в 3—5 *см* приводит к сильной изреженности травостоя и к снижению его качества.

Если под влиянием хозяйственной деятельности людей (хищническое истребление лесов в условиях капиталистического хозяйства, усиленная распашка и др.) или в силу естественного развития почвообразовательного процесса условия стока весенних вод на водосборе изменяются и паводки приобретают бурный характер, то начинается процесс образования слоистой поймы. Если условия зернистых пойм (глубина, продолжительность и сроки затопления) изменяются в неблагоприятную сторону, например часто повторяющиеся недостаточные затопления поймы полыми водами, засухи, неправильное осушение и переосушка почв или, наоборот, очень продолжительные и глубокие затопления, отложения песчаных наносов, то наиболее ценные корневищные злаки постепенно вытесняются и сменяются менее ценными рыхлокустовыми и плотнокустовыми злаками с последующим образованием кочек; наиболее плодородная зернистая пойма постепенно сменяется поймой слоистой. Поэтому во многих случаях и наблюдается залегание слоистых пойм на зернистых.

Зернистые поймы отличаются несравнимо лучшими свойствами, чем слоистые, по структуре и плодородию почвы, условиям микрорельефа, составу растительного покрова, равномерности увлажнения.

Явления заболачивания в поймах возникают как в силу отмеченных выше процессов почвообразования, так и вследствие гидрографических и гидрогеологических условий. Очень часто в поймах, особенно в притеррасной части их, выклиниваются или подходят близко к поверхности грунтовые воды, притекающие в реку, и многие заболоченные земли в поймах по условиям своего водного питания принадлежат к типу болот так называемого грунтового питания. Вторым источником водного питания заболоченных земель, особенно на слоистых поймах, являются застаивающиеся в низинах поверхностные полые воды, зарастание озер, стариц, рукавов и т. д. Этот источник заболачивания пойм тесно связан с режимом паводковых вод в реке, с характером гидрографа паводка, с условиями поступления паводковых вод в пойму.

Из вышеизложенного вытекают те главнейшие требования, которые нужно предъявлять к мелиорации пойм. Мелиоративные мероприятия в поймах должны повышать плодородие их почв и способствовать образованию наиболее ценных зернистых пойм. Нужно поддерживать необходимый режим затопления пойм полыми водами — продолжительность, глубину и сроки. В зависимости от местных условий затопление может длиться от 7—10 до 15—20 суток при глубине воды на пойме 0,3—0,5 *м*; сроки затопления зависят от режима паводков. Не следует допускать отложения на пойме пылеватых и песчаных наносов; если их нельзя избежать, то нужно, чтобы они отлагались в низинах и на грубых слаборазложившихся торфах. В пойму должны поступать и отлагаться (во всяком случае на культурных почвах) только илистые и органические наносы (тонким слоем 2—4 *мм*); только это обеспечит зернистую прочнокомковатую структуру почв поймы и наиболее благоприятный водно-воздушный режим их. Для недопущения поступления в пойму песчаных и пылеватых наносов необходимо *изменить режим паводков данной реки* приданием большей равномерности стоку, снижением пиковых расходов паводка, уменьшением скоростей поступления их в пойму и прохождения по ней.

Далее, необходимо *регулировать горизонты поступления паводковых вод из русла реки в пойму*, слой и продолжительность затопления поймы (стояние паводковых вод в пойме). Эта задача решается регулированием русла реки, если оно позволяет получить нужное снижение горизонтов воды в периоды паводков, а также обвалованием поймы дамбами (со стороны реки и внутри по отдельным участкам; некоторые из дамб могут служить также для прокладки по ним дорог); дамбы, допускающие поступление в пойму только верхних горизонтов полых вод и, следовательно, илистых наносов, позволяют регулировать слой и продолжительность затопления по отдельным участкам поймы.

Обеспечение нужного водного и пищевого режимов почв на поймах, соответственно характеру сельскохозяйственного их использования, связано не только с осушением заболоченных площадей на них, но часто и с орошением пойм, особенно в засушливые периоды.

Изменение режима паводков реки в соответствии с потребностями наилучшего использования пойм представляет большую задачу по регулированию стока в широком понимании и требует применения системы комплексных мероприятий как на водосборе данной реки, так и в ее русле. Мероприятия на водосборе являются комплексными (облесение и правильное размещение лесных насаждений, введение севооборотов, правильная система обработки почвы, борьба с эрозией, снего- и водозадержание, регулирование русла, строительство прудов и водоемов на водосборе и др.).

Все *эти мероприятия, способствуя задержанию стока на водосборе и поглощению воды в почву, уменьшают высоту* (пики) *паводков и увеличивают меженное питание реки, т. е. делают гидрограф реки более равномерным*; они снижают скорость стока, количество и крупность поступающих в реку наносов. Конкретный план всех этих мероприятий должен осуществляться на основе предварительно составленной *побассейновой схемы их*. Эта схема должна установить объем и размещение отдельных видов мероприятий на водосборе данной реки, какие нужны и возможны по природным и хозяйственным условиям, чтобы изменить в нужном направлении режим стока реки, особенно ее паводков и поступления их в пойму. Для уменьшения скорости поступления полых вод и количества вносимых ими песчаных наносов в пойму полезно создание прибрежной лесной и кустарниковой полосы вдоль реки на прирусловом вале, по откосам и склонам речных берегов, а также вдоль внутренних дамб или крупных приводящих каналов на пойме. Эти полосы делаются из насаждений ивы.

Если водные ресурсы данной реки используются комплексно для нескольких отраслей хозяйства, например для гидроэнергетики, водного транспорта, сельского хозяйства и других целей, то строительство регулирующего водохранилища на данной реке может оказывать большое влияние на изменение в нужном направлении режима паводков реки ниже водохранилища; однако в верхнем бьефе плотины, вследствие подпора, создаются условия затопления или подтопления прилежащих пойменных земель, требующие специальных мелиораций.

Рассмотрим следующие вопросы мелиорации пойм: 1) обеспечение необходимого водного режима почв на поймах; 2) регулирование горизонтов воды и длительности затопления пойм полыми водами, а также связанные с этими двумя вопросами 3) повышение уровня затопляемых низменностей и пойм путем кольматирования их (отложения наносов в них) и 4) борьба с затоплением и подтоплением пойменных земель при крупном гидростроительстве.

2. УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ПОЧВ НА ПОЙМАХ

Управление водным режимом почв на поймах имеет очень большое значение по следующим причинам. Водный режим почв на поймах подвержен значительным колебаниям во времени и в пространстве в силу ряда причин. Во-первых, вследствие больших колебаний гидрологических условий стока и затопления пойм по годам в одни годы (многоводные) поймы подвергаются значительным и длительным затоплениям, в другие годы (маловодные), наоборот, они затопляются очень слабо, а некоторые даже вовсе не затопляются; водный же режим почвы на поймах очень сильно зависит от условий их затопления. Во-вторых, многие, особенно слоистые, поймы отличаются значительной неравномерностью увлажнения и наличием нередко избыточно увлажненных и заболоченных площадей. Наконец, водный режим почв на поймах изменяется вследствие колебания гидрометеорологических условий. Более или менее значительно увлажненные с весны после паводка пойменные почвы и растения на них летом, в засушливые

периоды, резко испытывают недостаток влаги; это наблюдается в центральных и лесостепных районах, но особенно сильно проявляется в степных и в более южных засушливых районах.

Длительные затопления влекут за собой подъем уровня грунтовых вод и заболачивание — в одних районах и засоление почв — в других (засушливых) районах. Все это снижает плодородие почв и урожаи сельскохозяйственных культур, делает их неустойчивыми.

Изменчивость водного режима почв на поймах и возникающие от этого последствия определяют применение двоякой системы мероприятий регулирования, позволяющей не только осушать пойменные земли от избытка влаги, но и увлажнять, орошать их в периоды недостатка влаги.

Перед осушением заболоченных пойменных земель должны быть установлены основные причины и условия их заболачивания и выявлен источник водного питания, что позволит наметить и систему необходимых осушительных мероприятий: устройство нагорных, или ловчих, каналов при наличии притока поверхностных или грунтовых вод на притеррасную пойму; отвод воды из бессточных низин рельефа, заливаемых в паводки, и др. Расположение осушительных каналов, глубины и расстояния их принимаются в зависимости от почвенных и гидрологических условий поймы и характера ее использования. На осушительной сети необходимо устройство шлюзов-регуляторов, позволяющих управлять режимом работы осушительных каналов и выключать их в засушливое время, сообразно изменению гидрометеорологических условий и потребности культур.

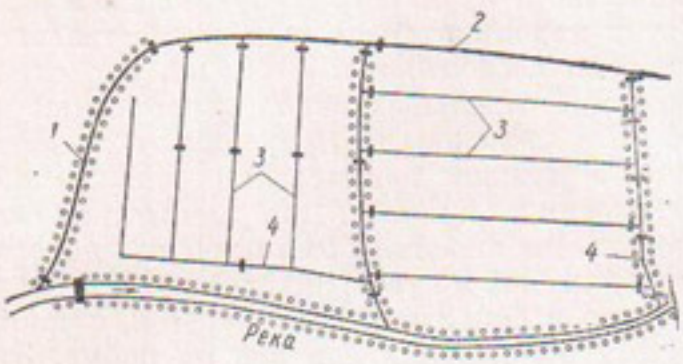


Рис. 327.

1 — водопроводящий канал; *2* — нагорный, или ловчий, канал; *3* — осушительно-оросительные каналы; *4* — собиратели.

Кроме шлюзования осушительных каналов, на поймах должна быть обеспечена и возможность добавочного увлажнения почвы в засушливые периоды путем доставления на пойму воды извне и орошения нуждающихся в увлажнении культур. Для этого устраивается специальный водоприводящий канал, получающий воду из той же реки или из другого источника; он трассируется по окраине речной долины по повышенным отметкам ее вдоль пойменной террасы, чтобы иметь наиболее хорошее командование. В качестве водоприводящего канала может использоваться нагорный, или ловчий, канал с подачей воды в него из реки. На рисунке 327 показаны также открытые проводящие каналы с расстоянием 400—600 *м*, между которыми закладывается дренирующая или временная оросительная сеть. В качестве распределительных и оросительных каналов служат специальные каналы или те же осушительные каналы, но шлюзованные и получающие воду в засушливые периоды из главного водопроводящего канала.

Для трав влажность активного слоя почвы должна поддерживаться около 80—85% от полной влагоемкости, причем летом длительное затопление почвы водой недопустимо, так как нужно, чтобы весь объем воздуха в почве обновлялся в течение 7—8 суток. В засушливое время вегетационного периода поверхностное затопление лугов слоем 3—5 *см* допускается в течение не более 18 часов.

Здесь следует остановиться на примере схемы мелиорации заболоченной поймы, предложенной Н. М. Титовым и позволяющей производить двустороннее регулирование водного режима мелиорируемых земель. Она включает следующие основные части: 1) два нагорно-магистральных канала, проложенных по обеим окраинам долины реки вне ее подпора и перехватывающих все впадающие притоки; 2) регулирование русла реки, имеющее задачей снижение горизонтов воды, нужное для осушения заболоченных

частей поймы; 3) осушительную сеть каналов на заболоченных частях поймы с возможностью шлюзования их для целей обводнения и орошения. Эти мелиоративные мероприятия сочетаются с решением задачи транспортного использования реки и получением водной энергии. Нагорные магистральные каналы перехватывают как поверхностные воды притоков, так и часть грунтовых вод. Они одновременно служат водоприемниками для вышележащей осушительной сети на притеррасных землях долины и обводнительно-оросительными каналами, позволяющими подавать воду для орошения нижележащих пойменных земель в засушливое время.

При устройстве нагорно-ловчих каналов, перехватывающих часть поверхностных и грунтовых вод, в центральной части поймы можно делать менее густую осушительную сеть. Почва в засушливое время увлажняется инфильтрацией путем шлюзования осушительных каналов и подачей воды из нагорных каналов, перехватывающих притоки и потому несущих летом достаточный расход воды. Притоки перехватывают нагорным каналом посредством земляных перемычек (ниже пересечения притока каналом) с такими отметками, которые отвечают горизонтам воды в канале при расчетных летних паводковых расходах. Весенние полые воды притоков, содержащие илистые наносы, полностью пропускаются в пойму путем закрытия шлюзов на нагорных каналах.

Увлажнение лугов (на склонах и на недостаточно затапливаемых частях пойм) может быть достигнуто также задержанием стекающих с вышележащих склонов весенних вод при помощи невысоких валов (0,3—0,4 *м*), образующих искусственные пойменные лиманы. Устройство валов или дамб у каналов применяется иногда также для распределения воды при увлажнении пойм из каналов; для сброса излишней воды валы должны иметь шлюзы. Размеры отдельных участков между постоянными валиками и канавами должны быть таковы, чтобы они не препятствовали механизации сельскохозяйственных работ (не меньше 20—40 *га*); сеть валиков и канавок внутри этих участков (если они требуются) должна быть временной.

Изложенные схемы мелиорации пойм относятся преимущественно к тем поймам, где преобладающим мероприятием является осушение, а орошение служит дополнительным средством регулирования водного режима в засушливое время; такие условия имеют место в большинстве нечерноземных западных, северо-западных и частью центральных районов (БССР, Ленинградская, Новгородская, часть Московской и другие области). В более засушливых районах — лесостепных и южных нечерноземной полосы, осушение и орошение в большинстве случаев занимают почти одинаковое место в мелиорации пойм; для орошения здесь часто устраиваются самостоятельные системы (для поверхностного полива или дождеванием); примерами этого являются мелиорации пойм рр. Ирпень, Здвиж, Ю. Буг, Остер и др. в УССР, некоторых пойм в Молдавской ССР и др. Наконец, в южных районах (Поволжье, Северный Кавказ и др.) в мелиорации пойм ведущую роль занимает орошение, как регулярного, так и лиманного типа; осушительная водоотводная сеть устраивается в этих случаях более редкая и, главным образом, для борьбы с засолением почвы и для понижения уровня близких грунтовых вод (во многих случаях минерализованных в этих районах).

Для надлежащего управления водным режимом почв в поймах и на затопляемых низменностях очень важно регулировать высоту и продолжительность затопления их паводковыми водами, в соответствии с характером их хозяйственного использования. Эта задача решается или обвалованием поймы дамбами соответствующей высоты, с шлюзами в них для сброса и впуска воды, или же регулированием русла реки, рассчитанным на определенные уровень и длительность затопления.

3. ОБВАЛОВАНИЕ ПОЙМ И ЗАТОПЛЯЕМЫХ НИЗМЕННОСТЕЙ

Значительным и длительным затоплением, требующим обвалования, могут подвергаться: а) поймы рек; б) земли, затопляемые водами водохранилищ, устраиваемых как на суходольных балках, так и на реках; в) низмен-

ности рельефа, затопляемые водами поверхностного стока или морскими приливами (низменности по морским побережьям).

Для мелиорации затопляемых площадей применяется обвалование их от затопляющих вод, причем сама обвалованная площадь, смотря по хозяйственным и гидрологическим условиям, подвергается осушению (часто механическому) или совместно осушению и орошению. В некоторых случаях для улучшения затопляемых низменностей применяется повышение поверхности их путем осаждения наносов, содержащихся в речной воде, специально для этой цели пропускаемой по этим площадям (кольматаж).

В СССР наибольшее значение по распространенности и хозяйственным условиям имеют случаи обвалования сельскохозяйственных земель и в особенности пойм для защиты их от затопления речными паводками. Обвалование побережий для защиты от морских приливов применяется в Калининградской и других областях.

Обвалование пойм (и других низменностей) применяется главным образом в тех случаях, когда необходимое понижение горизонта воды в реке в паводки для регулирования затопления данной площади (или полного исключения его) не может быть эффективно достигнуто приемами выправления русла.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОБВАЛОВАНИЯ

Обвалование позволяет защищать ценные в хозяйственном отношении площади от затопления и поступления на них крупных наносов и правильно использовать их; дает возможность в нужных случаях орошать полыми водами обвалованные поймы и регулировать их водный и питательный режимы, способствуя образованию зернистых пойм; содействует улучшению санитарных условий местности и борьбе с малярией.

Обвалование может иметь и ряд слабых сторон, которые необходимо устранять при осуществлении его; главнейшие из них следующие.

1. Вследствие сужения русла, отложения наносов в обвалованном русле и уменьшения гидравлического уклона реки выше обвалованного участка, горизонт полых вод в реке постепенно повышается и осушение обвалованной низины становится более трудным, поэтому в последующем приходится прибегать к повышению валов или к механическому водоподъему.

2. В обвалованную низменность в паводки фильтрует вода под дамбами из реки, в силу чего увеличивается количество подлежащих отводу грунтовых вод; при спаде же воды в водоприемнике обратное движение фильтрационных вод может выщелачивать почву.

3. Режим реки нарушается в отрицательную сторону: а) поднимается горизонт воды, б) возрастает скорость течения в обвалованном участке реки, что может вызвать размыв дна, берегов и откосов дамб, увеличивается опасность прорыва дамб и затопления местности.

4. Обвалование уменьшает регулирующую емкость долины в отношении паводковых вод, вследствие чего максимальный расход паводковых вод ниже обвалованных пространств возрастает и увеличивается затопление нижележащих земель долины.

Обвалование не допускает поступления в пойму крупных песчаных и пылеватых наносов — в этом положительное значение его; однако высокие незатопляемые дамбы могут лишить пойму и поступления в нее мельчайших плодородных илистых наносов, что снижает плодородие почвы; поэтому при обваловании пойменных сельскохозяйственных земель надо делать такую высоту дамб или такие отверстия в них, которые, исключая поступление в пойму песчаных и пылеватых наносов, допускали бы туда илистые наносы (если не требуется специальной кольматации низины).

Стоимость обвалования, особенно при высоких дамбах, обычно весьма значительная, поэтому очень важно проведение вышеуказанных мероприятий по изменению режима паводков реки путем комплексного регулирования стока.

В целях улучшения состояния пойм и снижения стоимости дамб предпочтительнее устройство затопляемых весенними водами дамб, при которых возможно поступление в пойму плодородного ила и образование зернистой поймы; все селения в пределах затопляемой площади в этом случае должны быть окружены высокими дамбами со шлюзами-водоспусками для сброса излишних вод. Для уменьшения высоты и стоимости дамб нередко оказывается полезным соединение обвалования с регулированием реки.

В СССР применяется главным образом обвалование речных побережий, так как многие реки, как крупные, так и малые, характеризуются высокими паводками, в результате которых создаются длительные затопления речных долин, недопустимые в хозяйственном отношении. Особенно много таких мест в низовьях наших южных рек — Днепра, Кубани, Дона, Волги, Терека и др.

При сопоставлении способа обвалования рек со способами регулирования их и, в частности, с методом спрямления большое значение имеет высота и частота паводков и характер использования поймы (населенные пункты, заводы, сельскохозяйственные площади той или иной значимости и т.п.), а также ширина поймы.

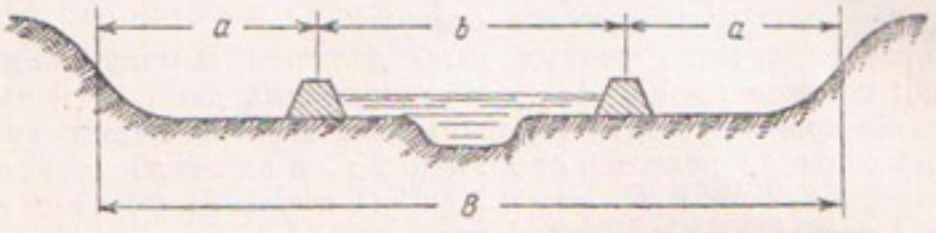


Рис. 328.

З а т о п л я е м а я п о й м а у з к а я (не более 2 *км*). В этом случае предпочтительнее метод спрямления, так как стоимость дамб обычно не оправдывается вовлечением в хозяйственный оборот тех узких полос земли (a — a), какие будут защищены дамбами (рис. 328), так как дамбы должны быть удалены друг от друга на расстояние, определяемое в зависимости от пропускаемого расхода паводков, и при малой ширине долины B обвалованные площади $2a=(B—в)$ будут малы; при таких условиях вместо спрямления старого русла иногда может оказаться более выгодным проведение нового канала.

З а т о п л я е м а я п о й м а ш и р о к а я. В этом случае обвалование может быть целесообразным, если расход полых вод значителен; создаваемое спрямлением повышение пропускной способности русла и, следовательно, увеличение стока воды из долины при этом будут обычно незначительны по сравнению с притоком полых вод. В результате понижение горизонта окажется небольшим. Между тем обвалование *затопляемыми* дамбами будет способствовать поступлению в пойму мелких илистых наносов.

З а т о п л я е м а я д о л и н а с р е д н е й ш и р и н ы (от 3 до 10 *км*). Здесь наиболее выгодным оказывается смешанный способ: река спрямляется и в наиболее низких местах обваловывается; соответственно сокращается длина дамб, уменьшается их высота и стоимость.

ВИДЫ ДАМБ И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЕ

Речные дамбы разделяются на два вида.

Н е з а т о п л я е м ы е, или так называемые в е с е н н и е д а м б ы, защищающие долину от высоких весенних вод и незатопляемые этими водами; они устраиваются по преимуществу на землях, занятых населенными пунктами, заводами, ценными насаждениями или полевыми культурами.

Затопляемые дамбы, защищающие долину от высоких летних вод и незатопляемые ими; полые же весенние воды переливаются через гребни затопляемых дамб, почему они должны быть укрепляемы достаточно прочной одеждой, во избежание размыва гребня при переливе воды. Лучше перелив осуществлять организованно через боковые водосливы (укрепленные) или отверстия, размещаемые вдоль дамбы; расстояния между отверстиями или водосливами и их параметры определяются из расчета затопления поймы за время подъема горизонта паводка в реке до гребня дамб. *Затопляемые дамбы по преимуществу устраиваются при обваловании пойм, лугов.* Высота этих дамб должна быть такова, чтобы они допускали поступление в пойму только верхних слоев полых вод, содержащих илистые наносы, и тем самым содействовали образованию зернистых пойм.

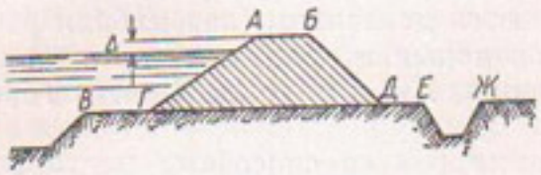


Рис. 329.

В незатопляемых дамбах на поймах для указанной цели нужно делать соответствующие водопропускные отверстия.

Поперечное сечение речных дамб делается обычно таких размеров (рис. 329): ширина гребня *АБ* у незатопляемых дамб не меньше 3—6 *м*, если по дамбе нужен проезд; затопляемые дамбы имеют ширину гребня 2—4 *м*. Наружный откос *АГ* делается от 1 : 3 до 1 : 5 и одевается дерном или мостовой; внутренний откос *БД* — от 1 : 2 до 1 : 6 и одевается дерном или камнем. Чем выше дамбы, тем положе должны быть откосы. Внешняя берма *ВГ* определяется по расчету, сообразно расстоянию между дамбами, но ширина ее должна быть не меньше 10 *м*. Канал *ЕЖ* служит для отвода фильтрационных вод. Превышение гребня незатопляемой дамбы над уровнем самых высоких вод должно быть равно от 0,6 до 1,5 *м*. При этом приходится считаться с высотой прибоя воды.

Профили незатопляемых (*а*) и затопляемых (*б*) дамб показаны схематически на рисунке 330.

Поперечное сечение дамбы рассчитывается, исходя из условий фильтрации (по методам Н. Н. Павловского и других авторов).

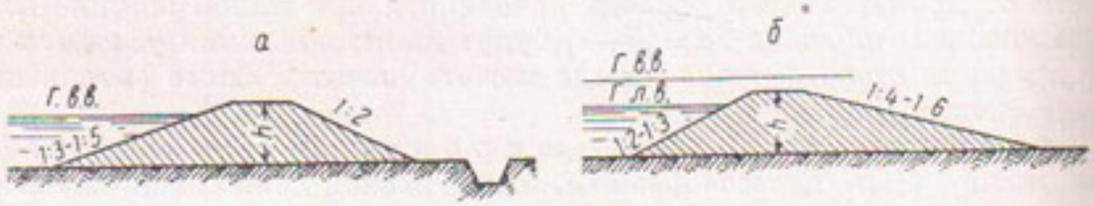


Рис. 330.

При фильтрационных расчетах следует иметь в виду, что в отличие от водоподпорных плотин, речные дамбы обвалования работают при высоких горизонтах непродолжительное время (при прохождении паводков), т. е. фильтрационные расчеты следует вести с учетом неустановившегося движения во избежание необоснованных запасов в размерах дамб и дренажей. Устройство банкетов затрудняет фильтрацию воды и защищает дамбы от прорывов (рис. 331). При высоких дамбах для усиления их основания, во избежание фильтрации, с внутренней стороны делаются иногда бермы; высота берм должна быть выше поверхности фильтрационных вод в дамбе. Бермы должны иметь небольшой уклон (0,1) от оси дамб во избежание застоя воды.

Для перехватывания фильтрационных вод вдоль дамбы с внутренней стороны делается осушительный канал или дрена, что позволяет уменьшить ширину дамб и понизить грунтовые воды за дамбой.

Между дамбой и берегом реки оставляется полоса шириной не меньше 10 *м*; из нее берутся резервы земли при насыпке дамб. Резервы делаются

глубиной около 0,6—0,8 *м* вблизи дамбы и до 2,5 *м* в отдалении от нее; дно резервов должно иметь уклон к реке около 0,02[1].

Расстояние между дамбой и началом резерва должно быть не меньше $2H$ при прочных песчаных и глинистых грунтах и не меньше $4H$ — при слабых и торфяных грунтах, где H — высота дамбы.

Береговая полоса засаживается кустарником для уменьшения скорости течения воды.

Гребень дамб по течению реки имеет такой же уклон, как и уклон береговой полосы. Въезды на дамбы устраиваются с продольным уклоном $^1/_{10}$—$^1/_{13}$ и следуют параллельно или под очень острым углом к оси дамбы, и притом вниз по течению, смотря с вершины дамбы, чтобы они не повреждались течением воды. Ширина въездов делается не меньше 2,5—3 *м* (рис. 332). Если дамбу пересекает большая проезжая дорога, то в теле дамбы делается шандорный шлюз, с порогом на уровне берега реки, или около 1 *м* выше него; шлюз должен иметь массивные боковые стенки (на расстоянии обычно около 3,5 *м*) и прочный флютбет, достаточно заглубленные в дно реки и откосы дамб.



Рис. 331.

Дамбы строятся на одном берегу реки, если другой берег крутой, не заливается высокими водами или не используется, или же на обоих берегах, если оба они заливаются. Расстояние между дамбами (или между дамбой и высоким берегом) должно быть таково, чтобы: 1) затопление поймы в паводок и горизонт воды между дамбами не превышали допустимой величины; 2) дамбы не стесняли русло, не были бы очень высокими и не увеличивали существенно скорость прохода между ними полых вод; 3) не терялось много земли под полосу затопления. После обвалования русло реки получает двойной профиль (рис. 333): по нижней глубокой части A, представляющей коренное русло реки, проходят меженные воды, верхняя же часть $Б$ затопляемой поймы служит для пропуска полых вод, не вмещаемых основным руслом реки.

Расстояние между дамбами или дамбой и высоким берегом, при определенной высоте их, назначается в зависимости от расхода высоких вод в реке (летних или весенних паводков, смотря по тому, от каких вод защищается данная площадь). Если обвалование тянется на значительном протяжении реки, на котором долина реки меняет свой характер, то река делится на отдельные участки, более или менее однообразные по своему характеру, и расстояние между дамбами определяется для каждого участка отдельно.

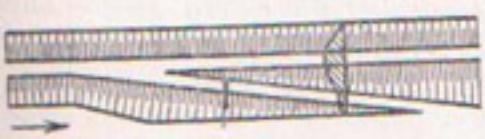


Рис. 332.



Рис. 333.

Расстояние между дамбами определяется следующим расчетом. Положим, что до обвалования вода в рассматриваемый период (в весеннее половодье — для незатопляемых дамб или в летние высокие воды — для затопляемых дамб) поднималась в пойме слоем

---

[1] Когда за незатопляемой дамбой делается глубокий дренажный канал, грунт при его выемке целесообразно использовать на насыпку дамбы.

Закладка резервов с внешней стороны (как рекомендовано автором) должна производиться с большой осторожностью во избежание вскрытия более проницаемого пласта и усиления фильтрации; для городских территорий по санитарным условиям нежелательны внешние резервы.

В связи со сказанным иногда целесообразны другие способы производства работ (гидромеханизация с намывом речного аллювия и устройством диафрагмы, привозной грунт и др.).

t *м*, при ширине поймы b (рис. 334). Расход полых вод приближенно будет равен:

$$Q = vF = bC\sqrt{It^3} + Q_0,$$

где Q_0 — расход воды, проходящий по самому руслу реки, и

$$v = C\sqrt{It}.$$

Обозначив расстояние между дамбами B, а глубину стояния высоких вод над поверхностью поймы между дамбами $T = t + h$, где h — подпор воды, создаваемый дамбой, по предыдущему, получим [1]:

$$Q = BC_1\sqrt{IT^3} + Q_1.$$



Рис. 334.

Полагая для упрощения $Q_1 = Q_0$, будем иметь:

$$BC_1\sqrt{IT^3} = bC\sqrt{It^3},$$

откуда по сокращении получим:

$$\frac{C_1 B}{Cb}\left(\frac{t}{T}\right)^{1,5} \quad \text{и} \quad T = t\left(\frac{bC}{BC_1}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

В соответствии с этим средняя скорость течения воды в сжатом русле между дамбами будет равна $v_1 = v\sqrt{\frac{bC_1^2}{BC^2}}$, где $v = C\sqrt{It}$ есть средняя скорость течения полых вод в реке без обвалования. Таким образом, скорость прохода полых вод вследствие обвалования увеличивается тем больше, чем меньше расстояние между дамбами.

Величина подпора, получающаяся в реке в пределах обвалования, приближенно равна:

$$h = T - t = t\left[\left(\frac{Cb}{C_1 B}\right)^{\frac{2}{3}} - 1\right].$$

Величины t и b известны. Задаваясь определенным допустимым повышением горизонта воды h и, следовательно, высотой дамб (так как последняя должна быть на 0,8—1,2 *м* выше подпертого горизонта воды), можем определить расстояние между дамбами B, или обратно, задаваясь величиной B, определить высоту подпора h; если при этом h получается слишком большим, нужно увеличивать расстояние между дамбами B (чтобы не повышать высоту дамб и скорость течения воды).

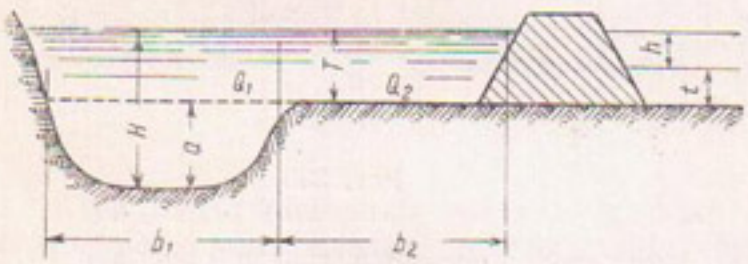


Рис. 335.

Точнее, расстояние между дамбами B и высоту подпора $h = (T - t)$ можно определить таким приемом: поперечное сечение обвалованного русла делят на две части — русло реки шириной b_1 и береговые полосы между руслом и дамбами шириной b_2, и подсчитывают расходы и скорости воды для каждой части отдельно, а затем суммируют полученные расходы (рис. 335) [2]. Зная глубину воды до обвалования и задаваясь вели-

[1] Принятое допущение действительно для случая, когда основная часть расхода в паводок течет по пойме; обычно, ввиду высокой шероховатости поймы, $Q_1 \gg Q_0$.

[2] Исследования последнего времени, проведенные на кафедрах гидрологии и сельскохозяйственной мелиорации МИИВХ (Г. В. Железняков, Ким Ду Ген), показали, что пойма после ее затопления оказывает значительное тормозящее действие на русловой поток, отчего простое суммирование расходов воды может вносить значительные (до 30%) ошибки; также неприемлемо рассмотрение составного сечения как единого (по Н. Н. Павловскому). Вопрос подлежит дальнейшему исследованию, поэтому на рекомендации автора следует смотреть как на ориентировочные, дающие несколько завышенный расход.

чиной допустимого подпора h, получим значения $T=t+h$ и, следовательно, $H=a+T$, т. е. глубины подпертой воды на береговых полосах в русле реки. Отсюда расходы воды:

$$Q_1=b_1Hv_1 \quad \text{и} \quad Q_2=b_2Tv_2,$$

причем

$$Q_1+Q_2=Q_{\max}, \quad \text{а} \quad b_1+b_2=B.$$

Скорости же воды равны:

$$v_1=C_1\sqrt{HI} \quad \text{и} \quad v_2=C_2\sqrt{TI}.$$

Для береговой затопляемой полосы коэффициент шероховатости n в среднем равен 0,08 для неочищенной от кустарника поймы и около 0,045 — для очищенной.

Максимальные значения средних скоростей течения воды в сжатом русле принимаются, в зависимости от грунта, следующие (в *м/сек*): иловатая земля — 0,15; жирная глина — 0,30; мелкий песок — 0,45; обычный песок — 0,70; плотный песок с гравием — 1,25; плотная глина и галька — 1,50; галька с камнем — 1,90; одернованная поверхность — 1,25; мощение — 2,5—3,50; фашинное крепление —1,5—2.

Во избежание размыва берегов реки и откосов дамб при проходе полых вод между дамбами, необходимо укреплять откосы дамб и откосы реки, как надводные, так и подводные. Откосы дамб, в зависимости от величины скорости течения и степени ответственности сооружений, укрепляются дерном, хворостяной одеждой, мостовой.

Подводные откосы реки укрепляют фашинными тюфяками или каменной наброской; надводные откосы — хворостом, каменной мостовой в плетневых клетках и другими местными материалами.

При установлении величины расстояний между дамбами B надо учитывать также следующее.

1. Наибольшая скорость течения воды между дамбами не должна превышать пределов, опасных в отношении размыва рек русла и дамб. Подпор воды, создаваемый дамбами, не должен быть чрезмерным, так как при очень высоких дамбах увеличивается опасность их прорывов и затоплений.

2. Между дамбами и рекой следует оставлять достаточную береговую полосу земли для закладки карьеров, а также для предохранения дамб от подмыва их рекой при перемещениях русла реки и для отложения крупных наносов.

3. Под влиянием давления от веса близко расположенных к реке дамб не должно возникать сползания и обрушения откосов реки.

4. Высота затопляемых дамб должна быть такова, чтобы песчаные и пылеватые наносы не поступали в пойму.

Однако сильно увеличивать расстояние между дамбами нецелесообразно, так как хотя чем больше расстояние между дамбами B, тем они дешевле, но зато тем больше потери полезной площади, поэтому более целесообразно такое расстояние между дамбами, при котором стоимость амортизации и содержания дамб плюс потери продукции с затопляемой полосы поймы (не могущей быть использованной) будут минимальными.

Подсчеты показывают, что высота дамб может быть тем больше, а расстояние между ними тем меньше, чем больше расход полых вод, чем выше стоимость продукции, чем дешевле стоимость дамб и чем меньше уклон и скорость стока воды.

При расчете затопляемых дамб значения Q и t берутся соответствующие не весеннему половодью, а высоким летним водам. В дамбах должны быть сделаны шлюзы для регулирования высоты и продолжительности затопления.

Выбор расхода воды, на какой должно рассчитываться обвалование, зависит от характера использования обвалованной площади. В случае защиты от наводнений населенных территорий (городов, заводов, селений) в качестве расчетного Q приходится выбирать расход максимальных паводков

в данной реке, как бы редко они не повторялись. При обваловании сельскохозяйственных площадей выбор расчетного расхода зависит от характера использования и от степени повторяемости паводков различной интенсивности для того периода, для которого строится обвалование (т. е. при затопляемых дамбах — летних паводков, при незатопляемых дамбах — весенних



Рис. 336.

паводков); в основе выбора расчетного Q должны лежать те же принципы, что и при выборе расчетного модуля стока. Если на защищаемой обвалованием площади есть селения, может оказаться наиболее целесообразным ограждение селений высокими дамбами, а всей остальной площади низкими затопляемыми дамбами.

Расположение дамб. Дамбы располагают более или менее параллельно направлению течения паводковых вод реки; однако нужно спрямлять крутые изгибы реки, обходить места со слабым грунтом и низины, оставляя их со стороны реки, чтобы они запосились наносами. Если река обваловывается с обеих сторон, то дамбы должны быть, по возможности, параллельны друг к другу, за исключением крутых поворотов, где расстояние между дамбами увеличивается. Дамбы следует вести, по возможности, по возвышенным местам.

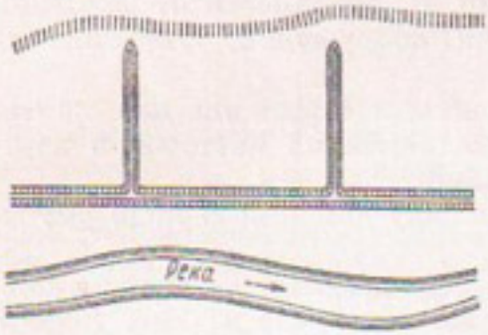


Рис. 337.

Обваловываться могут как главная река, так и впадающие в нее притоки, если они пересекают защищаемую низменность.

Если обвалование ведется с расчетом на самые высокие, редко повторяющиеся паводки на данной реке и расстояния между дамбами получаются значительные (рис. 336), в этом случае устраивают вторую линию более низких дамб, затопляемых в самые высокие паводки и незатопляемых при более низких паводках. Таким образом получается возможность использования земель во все годы, кроме отдельных, наиболее многоводных. Эта мера не только позволяет использовать земли при более низких паводках, но и является предохранительной на случай возможного прорыва дамб.

Во избежание риска затопления ценных, особенно заселенных площадей при прорыве дамб, устраивают, кроме продольных дамб, поперечные, продолжающиеся до высокого берега и разделяющие все обвалованное пространство на отдельные участки (рис. 337). Устройство наряду с продольными дамбами поперечных может быть полезным также в том отношении, что оно позволяет регулировать глубину затопления на разных по условиям рельефа или использования участках поймы.

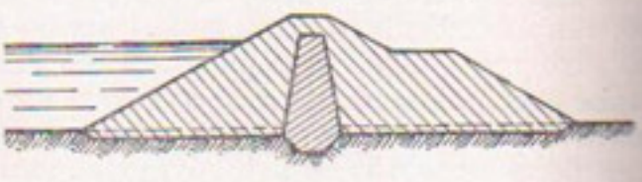


Рис. 338.

Лучшие грунты для постройки дамб — глинистые с содержанием до 35—45% песка. Если дамба строится из песка, то внутри делается ядро из водонепроницаемого грунта высотой до уровня высоких вод и с внутренней стороны берма, по которой может проходить дорога (рис. 338). Земля и дерн могут браться только с наружной стороны дамб, но не из внутреннего обваловываемого пространства[1]. Под основание дамб снимается весь растительный слой, удаляются корни деревьев; обнаженная площадь вспахивается; укладка тела дамбы ведется послойно, с тщательным трамбованием, причем

[1] См. сноску на стр. 525.

на осадку грунта делается прибавка около 20—25% высоты. Хороший способ постройки дамб намывной (гидромеханизация).

Если грунт под дамбой водопроницаемый, то, для предупреждения фильтрации воды делают под основанием дамбы замок из суглинистого грунта до непроницаемого грунта или обеспечивается перехват фильтрационного потока береговой дреной.

Гребень *затопляемых* дамб должен укрепляться: мостовой, дерновани-ем, хворостяной выстилкой и другими одеждами против размыва при переливе паводковых вод. Скорость переливающейся воды определяется по формуле водослива с широким порогом, причем напор воды определяется по разнице отметок горизонта воды максимального паводка и гребня дамбы. Откосы дамб планируются и укрепляются.



Рис. 339.

Постройка дамб должна производиться с таким расчетом, чтобы насыпь к наступлению половодья достаточно осела.

Дамбы требуют постоянного надзора и тщательного содержания; все повреждения дамб должны сейчас же исправляться. Если нужно усилить профиль дамбы, то отсыпку следует делать с наружной речной стороны, так как внутренняя отсыпка не в состоянии удерживать фильтрующуюся через старую насыпь воду. Особенно важно содержание в порядке береговой полосы и защита ее от размыва и обвалов. Поврежденные волнами места дамб защищаются хворостяной кладкой. Трещины и щели в дамбах заделываются двояко: 1) присыпкой земли с навозом за дощатый шпунтовой ряд, забитый по откосу дамбы, если трещина неглубока, и 2) устройством с внутренней стороны полукруглого контрвала; в этом случае пространство между главной дамбой и контрвалом заполняется фильтрационной водой, и когда оба уровня сравняются, фильтрация прекращается; после этого можно начать укрепление внешнего откоса в поврежденном месте. Для защиты незатопляемых дамб от повреждения льдом на гребне устраивается шпунтовая перемычка, заполненная песком или землей с навозом. Исправления повреждений дамб показаны на рисунке 339.

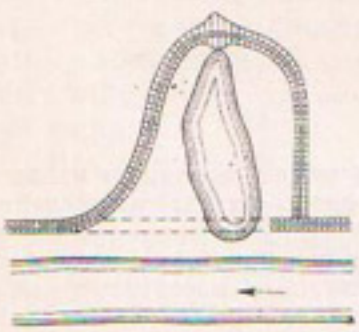


Рис. 340.

Прорывы дамб и вымоины лучше заделывать с внутренней стороны, так как в этом случае вымоина может быть постепенно занесена в половодье наносами (рис. 340). Если вымоина велика, приходится прибегать к восстановлению дамбы по прежней ее оси.

В тех случаях, когда дамба подходит близко к реке (на вогнутых и низких берегах), для удаления динамической оси потока от подошвы дамбы, кроме укрепления откоса, на береговой полосе у дамбы устраиваются защитные шпоры, направленные вверх по течению и образующие с осью дамбы угол около 70°. Длина шпор должна быть такова, чтобы определенное расчетом минимальное сечение обвалованного русла не стеснялось.

Русло обвалованной реки должно быть отрегулировано соответствующим образом, причем особенно важно предупреждение образования в русле поперечных песчаных кос между изгибами реки, так как эти косы во время паводков создают сильный подпор, значительно поднимая горизонт воды.

Для предупреждения прорыва дамб в паводки следует принимать соответствующие меры: а) иметь прогнозы паводков; б) создать резервы рабочей силы; в) организовать на определенных расстояниях по длине дамб склады с нужными инструментами и материалами (мешки для земли, брезент и пр.) для защиты и ремонта дамб; г) предусмотреть взрывы заторов льда.

Обвалование пойм должно сопровождаться необходимыми мелиоративными мероприятиями на самой обвалованной площади. С обвалованной площади приходится удалять: 1) излишние поверхностные воды, поступающие на нее (сток атмосферных осадков); 2) избыточные почвенно-грунтовые воды, залегающие близ поверхности; 3) фильтрационные воды, просачивающиеся из реки через основание дамб в периоды паводков, вследствие разности горизонтов воды в реке и на обвалованной площади; 4) в случае затопляемых дамб — часть поступающих на обвалованную площадь весенних вод, причем это должно быть сделано в сроки, продолжительность которых определяется

сельскохозяйственными требованиями. Необходимо также обеспечить возможность подачи воды на обвалованный участок как летом — для орошения в засушливые периоды, так и весной при незатопляемых дамбах — для доставления на обвалованную пойму илистых наносов.

Приток фильтрационных вод в пойму во время половодья может быть определен методами расчета фильтрации через земляные плотины на проницаемом основании[1].

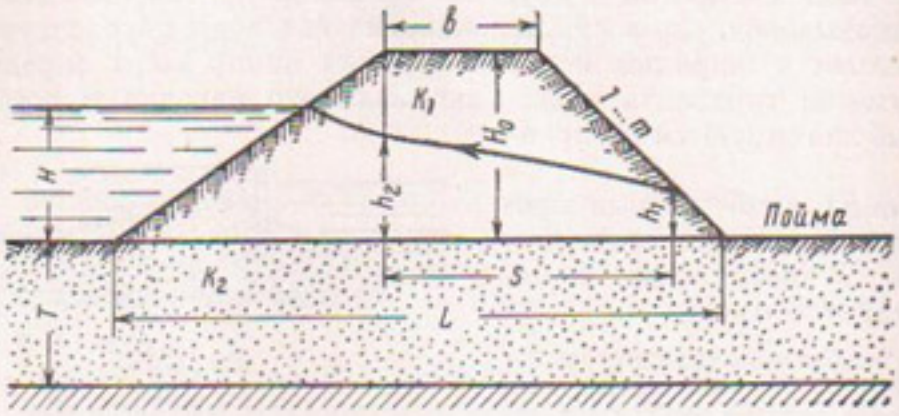


Рис. 341.

Например, по Н. Н. Павловскому, фильтрационный расход воды на единицу длины дамбы определяется следующим образом (рис. 341):

$$q = q_1 + q_2 = k_1 \frac{h_2^2 - h_1^2}{2S} + k_2 \frac{HT}{nL},$$

где

$$S = b + m(H_0 - h_1);$$

n — коэффициент, зависящий от отношения $L : T$, а именно:

$\frac{L}{T} =$	20	4	2	1
$n =$	1,15	1,23	1,44	1,87

Для перехватывания фильтрационных вод, поступающих на обвалованную площадь со стороны реки (особенно при длительных затоплениях), вдоль дамбы устраивается перехватывающий головной осушительный канал.

В этот канал поступает приток фильтрационных вод от водоприемника и приток грунтовых вод со стороны обвалованной поймы. Расчет головного перехватывающего канала может вестись по методам расчета осушительных каналов при глубоком водоупоре. Специально вопрос о расчете перехватывающих каналов при обваловании рассмотрен С. Ф. Аверьяновым[2]. По его данным, расход канала с приближением к реке увеличивается, но процент перехвата фильтрационного потока уменьшается, поэтому целесообразно трассу канала, по возможности, отодвигать от дамб.

При значительном притоке на обвалованную площадь грунтовых вод с водосбора устраивается дренажный канал со стороны притока и осушительная сеть, открытая или закрытая.

Каналам осушительной сети необходимо давать допустимые минимальные уклоны, чтобы облегчить самотечный отвод воды в реку или уменьшить высоту откачки. Размеры внутренних каналов должны быть так рассчитаны, чтобы они могли вмещать, по возможности, весь приток внутренних вод с обвалованной площади за время подъема воды, когда водоспуск закрыт, и чтобы горизонт воды в них не превышал допустимой величины подпора. Пропускная способность главного осушительного (магистрального) канала должна быть такова, чтобы обвалованное простран-

[1] Следует учитывать при этом кратковременность паводков и неустановившийся характер фильтрации (см. стр. 524).

[2] Справочник по мелиорации и гидротехнике, т. III. ВНИИГиМ — Сельхозгиз, М., 1945, стр. 617—619. *Прим. автора.*

ство могло быть освобождено от воды к нужному сроку — началу сельскохозяйственных работ на данной площади. *Магистральный канал осушительной сети подводит воду к водоспуску в дамбе, через который он сообщается с наружным каналом, ведущим воду в водоприемник.*

ВОДОПРОПУСКНЫЕ ОТВЕРСТИЯ В ДАМБАХ

Для регулирования высоты и продолжительности затопления обвалованных площадей, для сброса и подачи воды на них (для орошения или кольматации) в дамбах устраиваются впускные и сбросные шлюзы. Они делаются как в незатопляемых, так и в затопляемых дамбах.

Водосбросные шлюзы размещаются в наиболее низком месте обвалованного участка и обычно в конце водоотводного канала; впускные шлюзы, наоборот, располагаются на командующих отметках обвалованной площади и обычно соединяются с водоприводящим (кольматационным или оросительным) каналом. Через водосбросные шлюзы можно сбрасывать излишнюю воду с обвалованной площади частично или полностью и тем самым регулировать уровень и продолжительность затопления. Шлюзы особенно необходимы в затопляемых дамбах, так как при этом чаще могут поступать на пойму излишки воды.

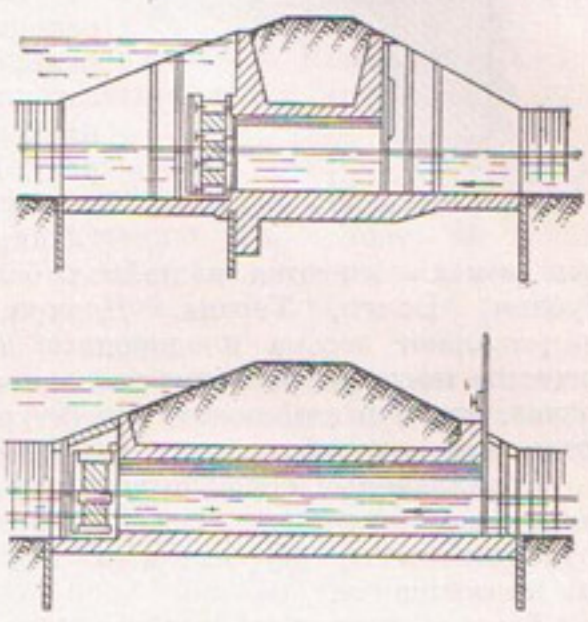


Рис. 342.

Водовпускные шлюзы в затопляемых дамбах позволяют подавать на обвалованную пойму воду, во-первых, при низких паводках (имеющих горизонт ниже расчетной высоты дамб); во-вторых, летом для орошения пойменных земель в засушливые периоды.

Водовпускные шлюзы в незатопляемых дамбах позволяют впускать на обвалованную площадь полые воды, содержащие мельчайшие илистые наносы, и не допускать песчаных и пылеватых наносов; в соответствии с этим должна регулироваться высота порога этих шлюзов (например, шандорами) при разной высоте паводка. Этим сооружением можно регулировать степень и продолжительность затопления поймы и качество поступающей воды, поэтому в незатопляемых дамбах впускные шлюзы устраиваются шандорного типа.

Водопропускные отверстия в дамбах делаются в виде: а) труб или галерей, проходящих через тело дамбы; б) щитовых или шандорных шлюзов, а при высоких дамбах — в виде в) двустворчатых ворот, запирающихся при избытке давления с наружной стороны дамбы. Отверстия в дамбах должны устраиваться в хорошем грунте (после осадки дамбы); к отверстию — выше и ниже его должны примыкать достаточно длинные участки канала.

Размеры поперечного сечения отверстий зависят: а) от количества отводимой или приводимой ими воды и б) от времени, потребного на отвод воды. Это зависит от интенсивности стока в данной местности, от характера использования площади и допустимой продолжительности затопления обвалованной площади.

Т р у б ы бетонные, каменные, железобетонные применяются главным образом для спуска воды; ось трубы должна быть перпендикулярна к оси дамбы (рис. 342). Для малых труб затвором служит наклонный деревянный клапан с горизонтальной осью вверху, открывающийся автоматически для выпуска воды, как только уровень воды в обвалованном пространстве становится выше, чем в реке.

Для выпуска воды из небольшого обвалованного пространства можно закладывать трубы небольшого диаметра (рис. 343). Напор над центром входного отверстия трубы допускается не больше 0,50—0,70 *м* при заложении трубы на глинистом основании и не больше 3 *м* — для труб на каменном или бетонном основании.

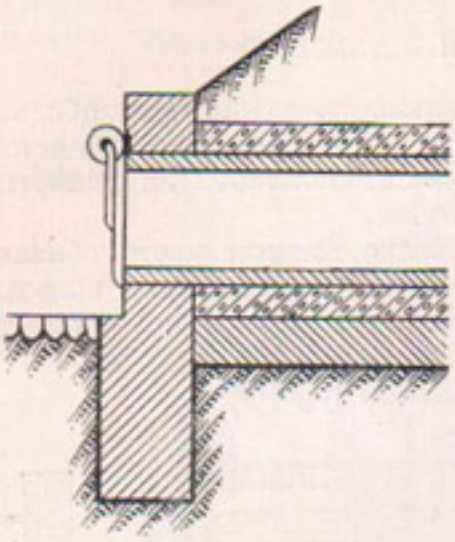


Рис. 343.

Шлюзы, закрываемые щитами или шандорами (рис. 344), применяются обычно для впуска воды в обвалованное пространство (нужна возможность учета и регулирования количества впускаемой воды), а иногда и для проезда через дамбу. Порог шлюза располагается на 0,4—1 *м* ниже уровня низовой воды; он образует гребень донной плотины.

Большое значение имеют работы по обвалованию *плавней*, т. е. заболоченных земель, образующихся в поймах рек вследствие затопления высокими полыми водами, не имеющими достаточного обратного стока в реку. Плавни располагаются между высоким коренным берегом реки и береговой дюной. Обширные пространства таких затопляемых земель имеются в поймах большинства наших южных рек: Дона, Кубани, Волги, Терека, Днепра, Днестра и др. Плавни обычно представляют весьма плодородные земли. Накопленные там органические вещества после осушения и распашки почвы дают большое количество нитратов, что при комковатой структуре почв обеспечивает высокую урожайность сельскохозяйственных растений.

Обвалованные, осушенные и орошаемые плавни в южных районах используются под посевы риса, кенафа, люцерны, овощей, табака и других сельскохозяйственных культур, а также для плодоводства.

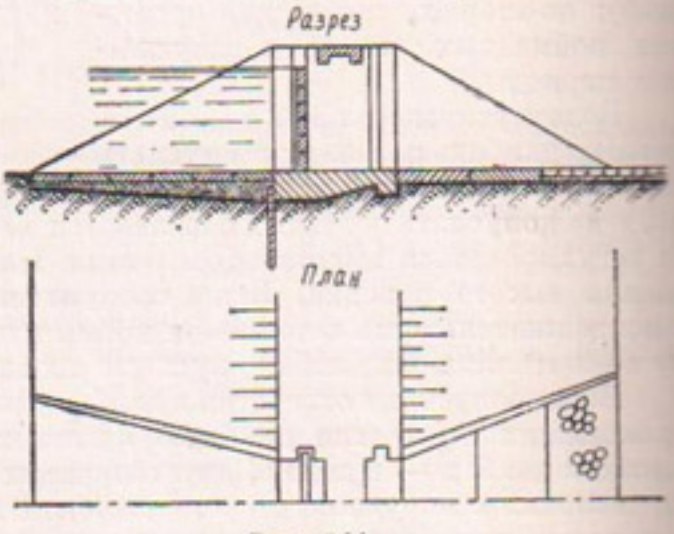


Рис. 344.

При обваловании нижних участков многих рек (например, дельты Волги) интересы обвалования в сельскохозяйственных целях приходится сочетать с интересами рыбного хозяйства, так как многие площади, подлежащие обвалованию, служат местами нереста рыб.

При ограждении от затопления низменных морских побережий применяются морские дамбы. Морские дамбы имеют значительно большие размеры по сравнению с речными. Гребень их принимают на 1 *м* выше гребня волн самых высоких прибоев и на 3 м выше уровня спокойных, наиболее высоких приливов, которые, в свою очередь, на 2—3 *м* выше уровня обычных приливов. Наружный к морю откос устраивают очень пологим — от 4 : 1 до 10 : 1 (в зависимости от силы прибоя волн) и одевают вверху дерном, а внизу фашинами или камнем. Нижнюю часть откоса делают более пологой с особой бермой шириной 12—25 *м*, расположенной на 1—3 *м* выше береговой полосы. Внутренний откос принимают двойным или тройным. Между дамбой и морем оставляют береговую полосу для уменьшения удара волн и для резервов земли на дамбы. Направление дамб должно быть по возможности перпендикулярно к направлению господствующих ветров.

Вследствие отложения морских наносов, задерживаемых дамбами, береговая полоса снаружи дамб постепенно увеличивается. Если обвалованная площадь расположена на уровне или ниже морского отлива, необходима механическая откачка как поверхностных, так и грунтовых вод; такие приморские системы носят название *польдерных*.

4. ПОВЫШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НИЗМЕННОСТЕЙ ПУТЕМ КОЛЬМАТАЖА

В некоторых случаях, когда осушение низменностей путем регулирования водоприемника является сложным и дорогим, может быть применен способ повышения поверхности их путем искусственного отложения наносов, или кольматирования. Кольматаж осуществляется путем систематических напусков на данную площадь речной воды, богатой наносами, и осаждения этих наносов из речной воды на данной площади, благодаря чему постепенно повышается ее поверхность.

Способ кольматирования применим: 1) в тех случаях, когда достаточно мощная река несет большое количество взвешенных наносов и протекает на недалеком расстоянии от мелиорируемой площади, и 2) когда мелиорация площади не является срочной, может быть начата заблаговременно и нет опасности ухудшения санитарных условий местности. Там, где возможно, целесообразно сочетание кольматажа с наполнением регулирующих водохранилищ.

В СССР кольматаж осуществляется, например, в Колхидской низменности Грузии водами р. Риона; в приднестровских плавнях Молдавии водами р. Днестра.

Процесс кольматажа может быть ускорен, если он ведется не самотеком, а механически — с помощью землесосов, подающих разжиженный грунт из реки на низменность, подлежащую повышению. Расстояние, на которое можно подавать землесосами разжиженный грунт, определяется экономическими соображениями; нередко этот способ может быть целесообразно соединен с углублением русла водоприемника.

Кольматаж применяется также для улучшения и возможности сельскохозяйственного использования площадей, занятых песками, галечниками: покрытие их слоем более или менее тонких наносов создает условия для образования здесь почвенного слоя и использования этой площади.

Кольматаж осуществляется таким образом, что из реки посредством одного или системы каналов выводится в периоды паводков вода, богатая наносами, и подается на предварительно обвалованную мелиорируемую площадь. Здесь мутная речная вода распределяется по неглубоким бассейнам, в которых она стоит или медленно движется и осаждает свои наносы. Осветленная вода, после осаждения содержащихся в ней наносов, отводным каналом сбрасывается обратно в реку. Достоинством кольматажа является возможность обогащения почвы плодородным илом; недостаток же его — длительный характер процесса, продолжающегося нередко десятки лет. Осаждение наносов на кольматируемом участке во времени надо вести с таким расчетом, чтобы в первые годы осаждались наиболее крупные, а в последующие годы, по мере повышения поверхности, осаждались бы все более мелкие и, наконец, илистые наносы. Такой порядок отложения наносов создает вертикальный разрез вновь образуемого грунта с крупнозернистыми и водопроницаемыми слоями внизу и с более тонкими и илистыми слоями, богатыми питательными веществами, вверху. Пока происходит кольматирование участка, площадь его не только не эксплуатируется, но может ухудшать санитарные условия окружающей местности.

Поэтому способ кольматирования может быть применяем на землях, еще подлежащих освоению, и притом если река, используемая для кольматажа, богата наносами и имеет достаточное командование над мелиорируемой площадью.

Общая продолжительность кольматирования равна:

$$T = \frac{\omega h \gamma}{\Sigma (Qt)\, pa},$$

где ω — площадь участка;

h — требуемое среднее повышение поверхности его;

γ — вес единицы объема осаждаемых наносов;

p — мутность напускаемой речной воды, т. е. весовое количество взвешенных веществ, содержащихся в 1 $м^3$ воды;

Q — расход кольматажного канала, в $м^3/сек$;

t — время, в течение которого канал работает этим расходом в году; обычно t равно продолжительности паводка в данной реке, так как в межень река несет мало наносов;

α — коэффициент поправки, так как не все наносы, содержащиеся в речной воде, осаждаются в кольматажных бассейнах.

При использовании формулы надо иметь в виду, что она исходит из *средней* толщины наносов h, тогда как в практике (Колхида) распределение наносов по поверхности участка весьма неравномерно; формула не учитывает также осадки основания (например, торфа) и возможного вмыва тонких наносов в грунт основания.

В среднем за год, в зависимости от разной мутности, нарастает слой грунта от 0,5 до 10 *см*; в особо благоприятных случаях он доходит до 25—30 *см* в год.

Воды рек с малым твердым стоком в паводки непригодны для кольматажа, так как срок кольматирования в таких случаях удлиняется.

Только в том случае, если кольматированию подвергаются и без того заболоченные низины или незаселенные местности, можно мириться с продолжительным периодом кольматажа. При проектировании необходимо тщательное предварительное изучение содержания и качества наносов в речной воде и их колебаний во времени при изменении расходов реки.

Чтобы частицы определенного диаметра могли оседать в текучей воде, вертикальные составляющие скорости течения должны быть меньше скорости осаждения этих частиц в воде или гидравлической крупности их w. По исследованиям Д. Я. Соколова, гидравлическая крупность частиц $w = 36\sqrt{d}$ *см/сек*, где d — диаметр частиц в сантиметрах.

Вертикальная составляющая скорости течения $u = \alpha v$, где v — средняя скорость потока и α — коэффициент, равный 0,10—0,05.

Таким образом, для осаждения в кольматажном бассейне частиц определенного диаметра необходимо соблюдение условия:

$$w > u \quad \text{или} \quad w > \alpha v.$$

Расстояние, проходимое частицей в бассейне до осаждения ее на дно, равно $l = \frac{vH}{w}$, где H — глубина бассейна; поэтому длина кольматажного бассейна должна быть не меньше этой величины l; как видим, она увеличивается с уменьшением w, т. е. диаметра частиц. Продолжительность осаждения частицы на дно равна:

$$t = \frac{H}{w} = \frac{l}{v}.$$

Для оседания частиц средняя скорость течения воды v должна быть меньше критической на заиление при данной мутности, определяемой по изложенным выше принципам и формулам.

Изменяя скорость течения воды по кольматируемой площади, можно регулировать крупность отлагающихся на ней наносов. Это обстоятельство очень важно; как сказано выше, нижние горизонты образуемого кольматированием слоя грунта должны быть более крупнозернистыми и водопроницаемыми; верхние же горизонты этого слоя, наоборот, должны содержать возможно больше илистых, более плодородных частиц; поэтому скорость пропуска воды по кольматируемой площади в первые годы должна быть больше, постепенно уменьшаясь в последующие годы, по мере повышения наносного слоя.

Скорость кольматирования должна сообразоваться также с характером наносов, содержащихся в речной воде в период кольматажа в каждом году: чем мельче эти наносы, тем меньше должна быть скорость кольматирования.

Сообразно допустимой скорости течения воды в кольматажных бассейнах, с одной стороны, и размерам этих бассейнов, с другой — устанавливается и глубина слоя напускаемой воды. Однако эту глубину желательно принимать не меньше 0,5 *м*, во избежание сильного нагревания воды и загнивания ее.

Расход воды, поступающий для кольматирования, берется максимальный, какой можно изъять из реки без ущерба для других отраслей использования этой реки.

При устройстве кольматажа необходимы следующие сооружения.

1. Впускное сооружение в виде головного шлюза-регулятора, забирающее паводковую воду из реки и подающее ее в водоприводный канал.

2. Водоприводный, или кольматационный, канал, доставляющий воду на кольматируемую площадь; когда участок залегает вблизи самой реки, воду можно направлять в пойму непосредственно (без водоприводного канала).

3. Огражденные дамбами кольматажные бассейны, на которые разбивается кольматируемая площадь, с водосливами в дамбах.

4. Сбросные шлюзы для спуска отработавшей воды в сбросной канал и реку.

Головной регулятор должен забирать воду из нижних слоев реки, насыщенных наносами, поэтому он делается щитового типа. Порог головного шлюза должен быть так расположен, чтобы он командовал над заиляемой площадью, даже по мере повышения поверхности этой площади, и в то же время не служил препятствием к попаданию в канал крупных наносов. Для небольших кольматируемых площадей впускной шлюз может быть сделан в виде трубы.

Водоприводный, или кольматационный, канал должен иметь максимальный уклон, чтобы скорость течения воды в нем была больше критической на заиление. Во избежание размыва дно и откосы канала иногда приходится укреплять той или другой одеждой.

При больших площадях кольматирования и неправильной форме их нередко приходится делать несколько водоприводных каналов.

Площадь, подлежащая кольматированию, разбивается на отдельные кольматажные бассейны, огражденные дамбами; гребни дамб должны быть на 0,5 *м* выше уровня воды в бассейнах. Сообразно этому высота дамб делается от 0,75 до 1,5 *м*. Размеры бассейнов и расстояния между дамбами зависят от рельефа местности и нужного слоя повышения h; они должны быть таковы, чтобы после окончания кольматажа можно было придать всей поверхности однообразный уклон около 0,0002, во избежание застоя воды. Поверхностные слои закольматированной площади должны состоять из тонких илистых наносов, позволяющих при последующей культуре создать структурные почвы[1].

Высота поверхности закольматированной площади должна быть так спроектирована, чтобы наиболее низкие участки этой площади стали на 1—1,5 *м* выше низкого уровня воды в реке.

Различают два главных вида кольматирования: 1) периодическое, производимое при стоячей воде, 2) непрерывное, выполняемое в условиях текучей воды.

Периодический кольматаж состоит в том, что огражденные дамбами бассейны заполняются водой, которая стоит в них определенное время и осаждает свои наносы; затем осветленная вода сбрасывается, и в бассейн напускается новая мутная вода из реки. Сначала воде дают стоять недолго, чтобы осаждались крупные песчаные наносы, а в последующие напуски держат воду все дольше, чтобы в верхних слоях оседали мелкие илистые частицы, важные для плодородия создаваемой почвы. Слой воды должен поддерживаться возможно более глубоким, чтобы получить больший слой осадка за то же время. Продолжительность стояния воды колеблется от $^1/_2$ до 2 суток, в зависимости от крупности и содержания наносов и толщины слоя воды.

Периодический кольматаж требует постоянного надзора, большего количества дамб и крупных сбросных каналов, но происходит быстрее.

[1] Имеются предложения (А. Ф. Скворцов) о формировании путем кольматажа искусственного рельефа в виде чередующихся пологих гребней и понижений, что создает лучший водный режим почв в условиях избыточного увлажнения.

При непрерывном кольматаже подаваемая вода движется в бассейне с очень малой скоростью, при которой содержащиеся в воде наносы осаждаются. Вода из бассейнов спускается с поверхности и очень тонким слоем, причем между входным и выходным отверстиями не должно образовываться постоянного направления струй.

Поперечное живое сечение и ширина бассейнов затопления при непрерывном кольматировании, приходящиеся на одно впускное отверстие, должны быть так рассчитаны, чтобы средняя скорость движения воды была не больше той величины, какая необходима для осаждения из воды определенной фракции взвешенных наносов. Чтобы регулировать распределение крупных наносов более или менее равномерно по длине бассейна и облегчить отложение их в нижних частях наносного слоя, необходимо, чтобы скорость протекания воды через бассейны была больше в верхних частях бассейнов, чем в нижних, и чтобы в первые годы кольматажа она была больше, чем в последующие. Руководствуясь этим и сообразно характеру рельефа кольматируемой местности, нужно проектировать размеры и форму отдельных кольматажных бассейнов и устанавливать расход подаваемой в них воды. Непрерывный кольматаж легче осуществим при разнообразном рельефе местности, но протекает дольше периодического.

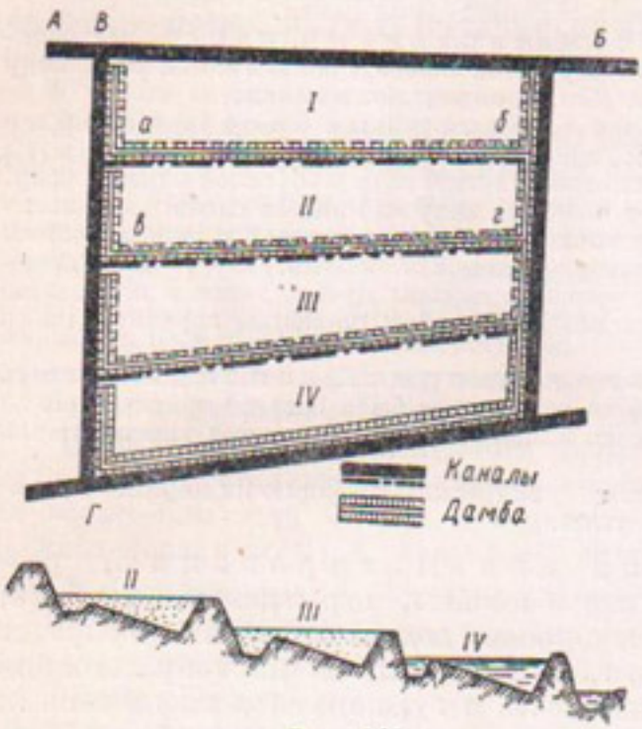


Рис. 345.

Размеры кольматажных бассейнов могут быть тем больше, чем ровнее кольматируемая местность и меньше ее уклоны.

Если глубина бассейна, подлежащего закольматированию, значительна, то в него желательно пускать воду, переносящую гравий, так как в этом случае ускоряется процесс заиления и создается хорошо водопроницаемый подпочвенный слой. Наполнение бассейнов водой начинают с верхних и постепенно передвигаются вниз. На достаточно закольматированные бассейны впуск воды прекращают, ограждая их дамбами и вводя в эксплуатацию.

В целях ускорения освоения кольматируемой площади целесообразно вести кольматаж по частям, т. е. сначала закольматировать часть площади и ввести ее в эксплуатацию, а затем начать кольматаж другой части площади.

Чтобы равномерно распределять воду по отдельным бассейнам кольматируемой поверхности и создавать всюду нужный слой кольматирования, иногда устраивают между главным водоприводным и главным сбросным каналами сеть распределительных и отводящих воду каналов второго порядка и дополнительных направляющих дамб. Схема расположения этой сети показана на рисунке 345.

Вода из канала *АБ* поступает в бассейн *I*; наполнив его, вода через водосливы в дамбе *аб* переходит в бассейн *II*; через водосливы в дамбе *вг* вода поступает в бассейн *III* и т. д. Когда через определенное число лет верхний бассейн *I* закольматируется на полную глубину, впуск воды в него прекращают и пускают воду прямо в бассейн *II* при помощи отвода из канала *ВГ* и т. д. Однако при этом способе в верхних бассейнах отлагаются более крупные фракции наносов, в нижних же бассейнах более мелкие. Для устранения этого недостатка было бы лучше впускать воду отдельно в каждый бассейн (каналами, идущими параллельно дамбам *аб*, *вг* и т. д.), но это удорожает систему.

Если местность имеет уклон, то линия гребней дамб вдоль по уклону имеет наклон параллельный поверхности.

Для перепуска воды из одного бассейна в другой служат водосливы, устраиваемые в дамбах. Гребни водосливов, сообразно повышению уровня дна бассейнов, постепенно повышаются. Ширина водосливов делается от 4 до 6 м. Водосливы эти временного характера, так как по мере повышения поверхности приходится поднимать гребень водосливов и самое положение их в плане нужно время от времени менять, чтобы поддерживать равномерное отложение наносов в каждом бассейне. Располагаются водосливы обычно в шахматном порядке, чтобы удлинить путь движения воды по бассейнам (рис. 346). Водосливы делаются чаще всего из каменной наброски между деревянными клетками или же из деревянных свай с закладываемыми между ними толстыми досками; боковые стенки водосливов укрепляются каменным мощением.

В нижней части последнего бассейна в дамбах устраивается сбросной шлюз водосливного шандорного типа, отводящий осветленную воду в сбросной канал. Ширина этого водослива должна быть так рассчитана, чтобы слой сливающейся воды был малым и сток происходил медленно.

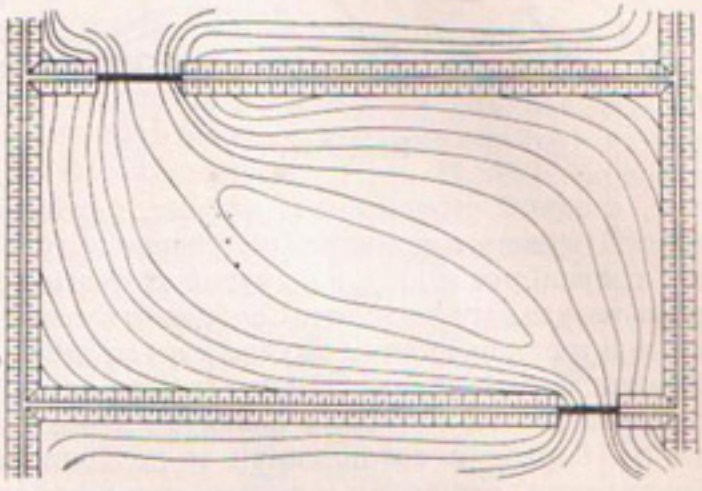


Рис. 346.

Приведенная схема устройства кольматажа довольно сложна. При благоприятных условиях рельефа обвалованный участок поймы может быть закольматирован при помощи береговой продольной дамбы, одного кольматационного канала с двумя шлюзами в главной дамбе: верхним — водоприводным и нижним — сбросным и нескольких поперечных дамб (со шлюзами), разделяющих низменность на отдельные крупные бассейны. При помощи водоприводного шлюза и кольматационного канала кольматируемые бассейны наполняются водой; после осаждения содержащихся в воде наносов осветленная вода через шлюзы в бассейнах и через главный сбросной шлюз сбрасывается обратно в реку. При такой схеме кольматирования, если она возможна по топографическим и гидрологическим условиям, стоимость кольматажа снижается.

Сбросной канал удаляет отработавшую осветленную воду с кольматируемого участка обратно в реку или в другой водоприемник.

Скорость воды в сбросном канале в отношении заиления не опасна, так как вода идет осветленная; нужно только, чтобы не размывался грунт канала.

По окончании заиления всех бассейнов поверхность их запахивается, причем ей придается общий скат с необходимым уклоном к реке.

5. БОРЬБА С ЗАТОПЛЕНИЕМ И ПОДТОПЛЕНИЕМ ПОЙМ ПРИ ПОДПОРЕ ВОДЫ НА РЕКАХ

Затопление и подтопление пойменных земель, замедление отвода воды и подъем грунтовых вод могут обусловливаться подпором воды в реке (рис. 347), образуемым теми или иными искусственными сооружениями: гидросиловыми установками, плотинами, высоким заложением дна труб под дорожными насыпями, узкими отверстиями мостов и др.

Подпор воды, как известно, распространяется вверх по реке на длину кривой подпора. Приближенно длина кривой подпора составляет $l = \frac{a + \Delta h}{I}$, где $(a + \Delta h)$ — наибольшая подпертая глубина воды, a — бытовая глубина и I — уклон воды в реке до подпора. При малых значениях Δh полная длина подпора близка к величине $l = \frac{2\Delta h}{I}$, т. е. вдвое больше длины подпора при стоячей воде [1].

[1] См. П. Г. Киселев. Справочник по гидравлическим расчетам. Госэнергоиздат, 1957, стр. 178.

Вопрос о подпоре имеет большое значение в связи с крупным гидротехническим строительством. Необходимо всестороннее обоснованное установление отметок подпора для вновь строящихся гидротехнических сооружений. Подпор, создаваемый на равнинных реках в энергетических, транспортных или других целях, давая большой народнохозяйственный эффект, нередко влечет за собой в той или иной степени непосредственное затопление или подтопление вышерасположенных земель не только поймы, но иногда и следующих террас.



Рис. 347.

Размеры ущерба, связанного с затоплением, в каждом конкретном случае различны, а сообразно этому различаются и мероприятия по его ликвидации.

При решении этих вопросов должны быть учтены и сопоставлены, с одной стороны, тот эффект, который дает для народного хозяйства создание нужного подпора (получение гидроэнергии, улучшение условий водного транспорта и др.), а с другой стороны—тот ущерб, который несет хозяйство в результате подпора. Сообразно с этим и должны быть намечены необходимые в каждом данном случае наивыгоднейшие в народнохозяйственном отношении мероприятия. Они могут быть следующими: 1) допущение проектных подпоров и в то же время развитие необходимых мелиоративных мероприятий по борьбе с затоплением и подтоплением прилежащих земель путем обвалования, осушения и других мер в целях частичного или полного сохранения их для хозяйственного использования; 2) допущение подпоров нужной высоты с заменой затапливаемых и подтапливаемых земель эквивалентными площадями новых земель из имеющегося резервного фонда свободных земель; 3) снижение подпорных отметок в целях уменьшения площадей затопления и подтопления, с применением, если нужно, мелиоративных мероприятий на страдающих от подтопления землях. Выбор каждого из этих вариантов зависит от того, насколько ценными и незаменимыми для народного хозяйства в каждом случае являются земли, на которых сказывается влияние подпора.

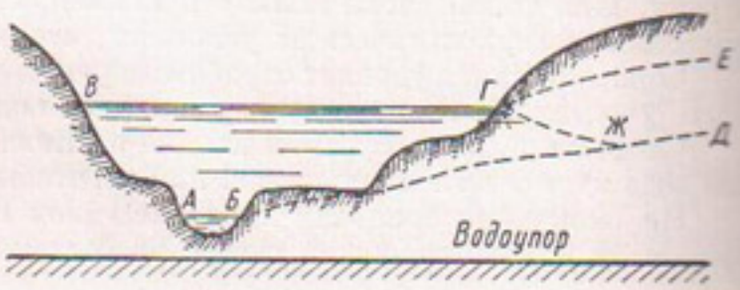


Рис. 348.

Подпор воды в водоприемнике создает условия затопления или подтопления земель. Основной мерой борьбы с затоплением является обвалование земель дамбами нужной высоты с последующим, в случае надобности, осушением земель.

Подтопление земель выражается в постепенном подъеме уровня грунтовых вод на них. Подтопление в результате подпора в реке может происходить или путем инфильтрации воды из подпертого бьефа реки в береговую полосу, или же вследствие подпора грунтовых вод речной долины, выклинивающихся в реку, а часто тем и другим путем. На рисунке 348 линия $А$ — $Б$ показывает горизонт воды в реке до подпора; линия $Б$ — $Д$ — депрессионную поверхность грунтовых вод до подпора; линия $В$ — $Г$ — горизонт воды в реке после подпора; линия $Г$ — $Е$ — поверхность грунтовых вод после подпора; линия $Г$ — $Ж$ — кривую инфильтрации из подпертого бьефа реки в начале подпора.

Грунтовые воды в долине поднимаются вследствие как инфильтрации, так и подпора стекающих в реку грунтовых вод, но не сразу после подъема горизонта воды в реке, а постепенно, в зависимости от высоты подпора

и водопроницаемости грунтов долины и от дебита выклинивающихся в реку (на единицу длины ее) грунтовых вод.

Величина подъема уровня грунтовых вод y_1 на расстоянии x от реки (рис. 349) при подъеме уровня воды в реке на величину y при постоянстве притока грунтовых вод в реку q (на единицу длины) может быть, по Г. Н. Каменскому, приближенно определена из следующего уравнения:

$$q = k\left(\frac{h+h_1}{2}\right)\left(\frac{H_1-H}{x}\right) =$$

$$= k\left[\frac{(h+y)+(h_1+y_1)}{2}\right]\left[\frac{(H_1+y_1)-(H+y)}{x}\right].$$

Анализ кривой подпора делается по отдельным последовательным участкам; при этом принимается, что приток грунтовых вод до подпора и после него не изменяется; это может быть допущено не для всех случаев. Расчет кривых подпора, учитывающих расход грунтового потока, может быть сделан по методам Н. Н. Павловского, С. Ф. Аверьянова и др. В этих способах расчет подпора ведется также по отдельным участкам.

В способе С. Ф. Аверьянова (рис. 350) расход грунтового потока, притекающего к реке, принят изменяющимся не только до и после подпора, но и по длине потока (под влиянием местных водоприемников, испарения и др.). При однородном строении грунта расход воды для первого участка от реки l_1 равен:

$$Q_0 = \frac{k(h_1+h_2)}{2}\,\frac{z}{l_1}\ м^3/сек \text{ и } h_2 = h_1 + z \pm Il_1.$$

Из этих уравнений можно получить значение z на участке l_1:

$$z = \pm\frac{Il_1}{2} - h_1 + \sqrt{\left(h_1 \mp \frac{Il_1}{2}\right)^2 + \frac{2l_1Q_0}{k}},$$

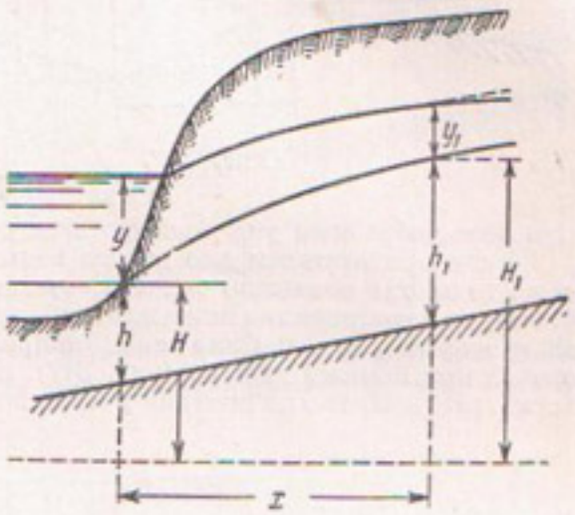


Рис. 349.

где верхний знак при Il_1 (в первом случае плюс, во втором минус) относится к прямому уклону водоупора I, а нижний знак к обратному уклону.

Расход грунтового потока на участке l_1 берется с учетом изменения расходов по длине потока. Величина h_1, т. е. мощность грунтового потока в начальном сечении, проходящем через точку выклинивания его на поверхность, равна $h_1 = h_0 + a_0$, где a — высота выклинивающихся грунтовых вод, определяемая по Н. Н. Павловскому. Зная h_1, k, I и Q_0 на участке l_1, можно определить z и h_2. Определив h_2, переходят к определению h_3 в конце следующего участка l_2 аналогичным образом (принимая в предыдущих формулах вместо h_1 значение h_2 и получая h_3) [1].

Время, в течение которого грунтовые воды поднимутся и примут установившееся положение для подпертого горизонта в реке, приближенно можно определить по формуле $t = \frac{\Delta h}{2}\,\frac{\delta L}{\Delta q}$, где L — длина кривой подпора грунтовых вод; Δh — высота подъема выклинивающихся грунтовых вод в начальном сечении у реки; δ — недостаток насыщения грунта до полной влагоемкости; q — расход грунтовых вод на единицу длины реки (средний за время t), задерживающийся в грунте прибрежной зоны вследствие уменьшения притока грунтовых вод в реку при подпоре горизонта ее; при постоянстве питания грунтовых вод среднее за время t значение Δq можно принять равным (Ф. И. Пикалов и П. И. Шипенко) половине разности притока грунтовых вод при нормальном и при подпертом горизонтах воды в реке. Инфильтрация воды из подпертого бьефа реки ускоряет подъем грунтовых вод [2].

Если грунтовые воды поднимаются только вследствие инфильтрации воды из подпертого бьефа реки, то приток инфильтрационной воды и положе-

---

[1] Подробнее об этом способе см. Справочник по мелиорации и гидротехнике, ВНИИГиМ, т. III. Сельхозгиз, М., 1945, стр. 598—607. *Прим. автора.*

[2] См. также В. В. Богатырев. Инженерная защита в зонах водохранилищ крупных гидроэлектростанций. Госэнергоиздат, М.—Л., 1958.

ние депрессионной поверхности грунтовых вод в различные моменты времени могут быть определены на основе приведенных выше соображений о растекании фильтрационных вод.

Зона подтопления более или менее точно может быть установлена путем заложения гидрогеологических профилей и определения скважности и коэффициента фильтрации грунтов.

Для предварительных подсчетов зона подтопления может определяться, исходя из подпертого горизонта воды в реке (наибольшей повторяемости в течение сельскохозяйственного периода) с прибавлением к этому горизонту высоты, достаточной для возможности поддержания на подтопляемых сельскохозяйственных землях уровня грунтовых вод на 0,8—1,5 *м* ниже поверхности (в зависимости от характера угодий).

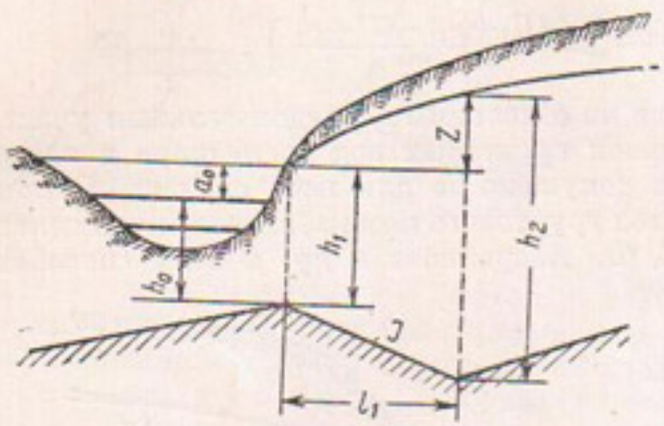


Рис. 350.

Основной мерой борьбы с подтоплением является уничтожение или уменьшение подпора.

Если подпор образуется устаревшими небольшими или мало ответственными сооружениями, может быть целесообразным уничтожение этих сооружений или снижение подпорных отметок.

Если препятствием для отвода воды служит высокий горизонт воды в пруду или озере, то иногда возможно вывести осушительный канал в обход водохранилища и спустить воду в водоприемник ниже плотины; если при этом трасса осушительного канала пересекает открытый водоток или канал (например, деривационный), то сброс может осуществляться при помощи дюкера (рис. 347). Если нельзя спустить воду в обход, необходимо рассмотреть вопрос о понижении уровня воды в водохранилище.

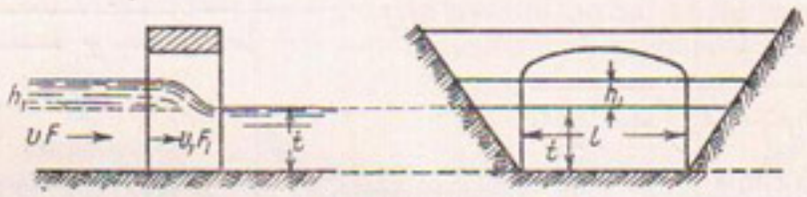


Рис. 351.

Подпор воды на водоприемнике может образоваться также вследствие недостаточного отверстия мостов, шлюзов или труб (рис. 351).

Ширина отверстия моста или шлюза, нужная для того, чтобы не образовалось подпора, должна быть равна: $l = \frac{F}{\mu t}$, где F — площадь живого сечения высоких вод, проходящих по водоприемнику, t — глубина высоких вод и μ — поправочный коэффициент, равный $\mu = 0{,}95$ при скошенных крыльях и $\mu = 0{,}80$ при нормальных крыльях отверстия.

Наибольший расход воды, проходящий через отверстие, определяют на основании непосредственных гидрометрических наблюдений или же, если таковых нет, по величине водосборной площади и наибольшему значению модуля стока. Бытовую глубину реки в незатопленном состоянии находят непосредственными наблюдениями.

Отверстие рассчитывают по формулам затопленного или незатопленного водослива, смотря по соотношению бытовой глубины реки и допустимой скорости и глубины воды в конце водослива.

Очень часто подпор воды в реке-водоприемнике образуется вследствие высокого заложения подошвы (порога) отверстий в насыпях, т. е. мостов или труб. В этом случае необходимо понижение их, причем могут быть два следующих случая:

1) если основания сооружений заложены достаточно глубоко, то приходится углублять настил;

2) если основания сооружений заложены мелко, то делается двойной укрепленный профиль, закладывается на нужной глубине дополнительно водоотводная труба (рис. 352) или, наконец, понижается основание сооружения.

Если подпор в реке не может быть снижен, то применяются следующие меры:

1. Проведение вдоль водоприемника достаточно глубокой береговой дрены или канала (рис. 353), перехватывающей приток фильтрационных вод из подпертого бьефа реки и приток грунтовых вод из долины — на глубине, необходимой и достаточной для нужного сельскохозяйственного исполь-

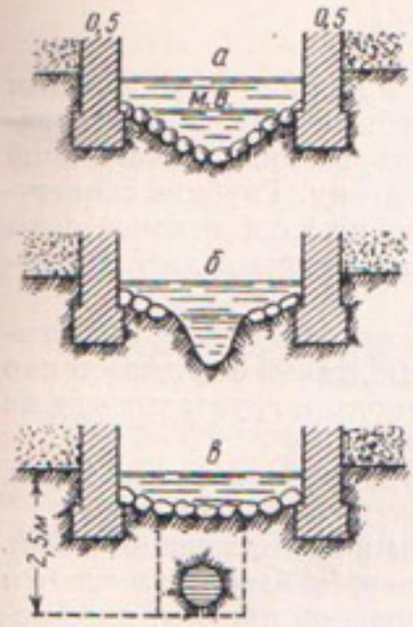


Рис. 352.

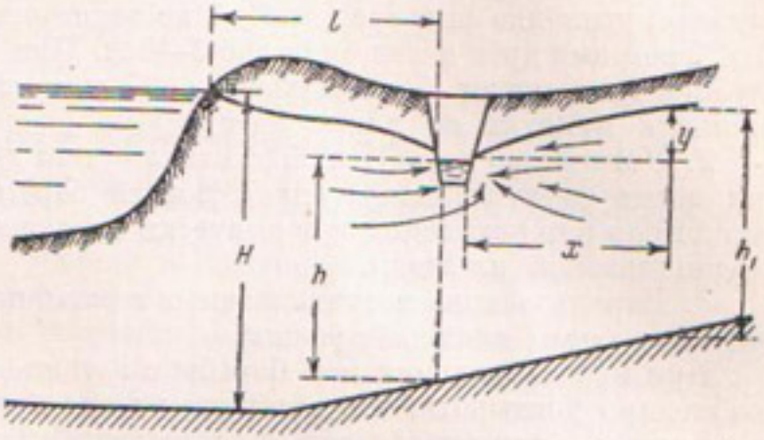


Рис. 353.

зования подтапливаемой территории. Достаточно глубокая береговая дрена может предотвратить влияние подпора на повышение грунтовых вод на подтапливаемых землях.

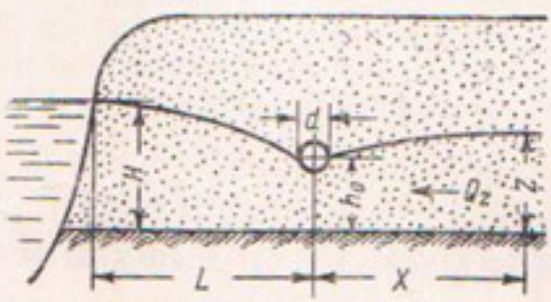


Рис. 354.

Приток грунтовых вод в береговую дрену на 1 пог. *м* длины ее равен [1]:

$$Q_0 = \frac{2\alpha_1}{1+\alpha_1}\left[Q_z + \frac{kT_1(H-h_0)}{L}\right] \text{ м}^3/\text{сут},$$

где Q_z — приток грунтовых вод со стороны водосбора, в $м^3/сут$ на 1 пог. *м* длины дрены;

k — коэффициент фильтрации грунта, в $м/сут$;

$T_1 = 0{,}5\,(H + h_0)$;

$$\alpha_1 = \frac{L}{L + h_0 A};$$

$$A = 1{,}47 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi d}{2h_0}};$$

d — диаметр дрены;

H, h_0, L показаны на рисунке 354.

---

[1] С. Ф. Аверьянов. Управление режимом грунтовых вод вблизи гидротехнических сооружений. «Гидротехническое строительство» № 7, 1949. *Прим. автора.*

Ординаты поверхности грунтовых вод на расстоянии x от дрены в сторону поймы могут быть найдены по формулам:

$$z-h_0=\frac{1-\alpha_1}{1+\alpha_1}(H-h_0)+\frac{\alpha_x+\alpha_1}{\alpha_x(1+\alpha_1)}\cdot\frac{Q_2x}{kT_2};$$

$$T_2=0{,}5(h_0+z) \quad \text{и} \quad \alpha_x=\frac{x}{x+h_0A}.$$

Вода из береговой дрены выводится самотеком в нижний бьеф плотины или же механической откачкой в верхний бьеф. Слабыми сторонами устройства береговой дрены являются высокая стоимость ее при значительной глубине, усиление фильтрации воды из водосбора в дрену. Глубина самотечных береговых дрен делается около 3—6 *м*. При механической откачке воды глубина дрен может быть меньше, особенно если перекачка делается в нескольких пунктах по длине дрены.

2. Устройство осушительных каналов или дрен на подтапливаемых землях в тех случаях, когда одной ловчей береговой дреной неосуществимо технически или невыгодно экономически исключить подъем грунтовых вод на подтапливаемой площади.

3. Использование подтапливаемых земель под такие угодья, на которых допустим более влажный режим.

При проектировании мер борьбы с затоплением и подтоплением земель необходимо учитывать, что горизонты воды в подпертом бьефе изменяются во времени — снижаются под влиянием сработки водяной призмы, повышаются в периоды паводков. Эти изменения отражаются на размерах затопления и подтопления и должны быть рассмотрены по отдельным сельскохозяйственным периодам, чтобы сообразовать с ними необходимые мелиоративные мероприятия.

Глава пятнадцатая

ВОДОПРИЕМНИКИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Магистральные каналы отводят избыточные воды с данной осушаемой площади в водоприемники, которыми могут быть те или иные водотоки с постоянным или периодическим расходом воды,— реки, ручьи, балки, закрепленные овраги; водоприемниками могут быть также моря, водохранилища, большие озера и пруды с обеспеченным стоком и, наконец, иногда подземные хорошо водопроводящие слои грунта, могущие поглощать и отводить избыточные воды с осушаемой площади. *Водоприемник имеет важнейшее значение в осушительной системе*: от характера и режима его во многом зависят возможности и успех осушения. Как бы хорошо ни была устроена осушительная сеть на заболоченной площади, если водоприемник оказывается неудовлетворительным, надлежащее осушение не может быть достигнуто. Часто сама заболоченность и потребность в осушении обусловливаются неблагоприятным состоянием водоприемника, который вместо удаления избыточных вод с данной площади, наоборот, создает условия ее заболачивания.

Поэтому при проектировании и производстве осушительных работ должно быть обращено самое серьезное внимание на характер и состояние водоприемника.

1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ВОДОПРИЕМНИКУ УСЛОВИЯМИ ОСУШЕНИЯ И СОСТОЯНИЕМ ПОЙМ

Водоприемник должен иметь такое состояние русла и такой режим стока, которые позволяли бы поддерживать на мелиорируемых землях нужный, по условиям их использования, водный режим.

Главнейшие требования, предъявляемые к водоприемнику, следующие.

1. Положение горизонта воды в водоприемнике не должно создавать подпора и подтопления впадающих в него осушительных каналов и осушительной сети. Необходимо, чтобы горизонт воды в водоприемнике не создавал подпора в магистральном канале, т. е. был обычно (в бытовой период) ниже дна его в месте впадения в водоприемник. Вредное влияние подпора сказывается не только в поднятии горизонта воды в магистральном канале, но и в уменьшении пропускной способности его, что может быть подсчитано по методам расчетов неравномерного движения воды в открытых руслах.

2. Водоприемник должен иметь обеспеченный сток и равномерное движение воды по своей длине, так как неравномерное течение уменьшает пропускную способность его и обусловливает деформации русла.

Связь между горизонтами воды в естественном русле и его расходом при неравномерном движении определяется, как известно, следующим уравнением:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{\alpha Q^2}{2g}\left(\frac{1}{F_2^2} - \frac{1}{F_1^2}\right) + \frac{Q^2 l P_0}{F_0^3 C_0^2},$$

где Δh — разность горизонтов воды на участке русла длиной l между двумя соседними живыми сечениями потока F_1 и F_2;

F_0, P_0 и C_0 — средние значения живого сечения, смоченного периметра и скоростного коэффициента на рассматриваемом участке, т. е. $F_0 = 0{,}5\,(F_1 + F_2)$ и т. д.;

α — коэффициент, $\alpha \approx 1{,}1$.

Разделяя русло L на отдельные участки и последовательно суммируя значения Δh для этих участков, получим общее падение горизонта воды ΔH на длине русла L при расходе его Q:

$$\Delta H = Q^2 \left[\frac{\alpha}{2g} \sum \left(\frac{1}{F_2^2} - \frac{1}{F_1^2} \right) + \sum \frac{P_0 l}{F_0^3 C_0^2} \right].$$

Если русло водоприемника имеет неодинаковые поперечные сечения по своей длине и в нем имеются определенные участки с расширенными и со сжатыми (с боков или снизу) сечениями, в этом случае пропускная способность такого русла (при одном и том же падении ΔH на длине L) будет меньше, чем при равномерном течении, так как в ряде участков водоприемника нижележащие живые сечения F_2 будут меньше вышележащих живых сечений F_1 и вследствие этого выражения $\frac{1}{F_2^2} - \frac{1}{F_1^2}$ в вышеприведенном уравнении будут иметь положительные значения, что уменьшит Q при данном ΔH [1].

Если $F_1 = F_2$,

то
$$Q_0 = F_0 C_0 \sqrt{\frac{F_0 \Delta H}{P_0 \Sigma l}} = F_0 C_0 \sqrt{RI},$$

т. е. имеет место равномерное течение, и при одинаковом общем $F_0 = 0{,}5\,(F_1 + F_2)$ пропускная способность $Q_0 > Q$, где Q — пропускная способность русла с переменными сечениями.

В силу этого русло водоприемника для наилучшей пропускной способности должно иметь по своей длине, по возможности, постоянное сечение и не испытывать подпоров.

Если русло водоприемника имеет неодинаковые сечения по длине, приходится прибегать к регулированию русла: расчистке и углублению мелких и захламленных сечений, сужению расширенных плесов и т. д.

Если данный водоприемник находится в подпоре со стороны главной реки и в нем образуется кривая подпора и связанное с этим понижение пропускной способности, то должны быть приняты меры к упорядочению и главной реки.

3. Водоприемник должен иметь достаточную пропускную способность, позволяющую своевременно удалять все поступающие в него в расчетный период количества воды с осушаемой площади.

Пропуск расчетных расходов воды должен обеспечиваться при надлежащих допустимых горизонтах воды в водоприемнике.

Эти горизонты должны быть таковы, чтобы затопления и подтопления осушаемых земель паводковыми водами водоприемника не превышали бы допустимых пределов.

Если горизонт воды в водоприемнике стоит ниже дна магистрального канала в месте его впадения, то в канале образуется кривая спада и могут появляться размывающие грунт скорости; в этих случаях нужно соответствующее крепление дна и откосов канала по длине проявления опасных скоростей.

---

[1] В обратном случае, т. е. когда член $\frac{1}{F_2^2} - \frac{1}{F_1^2}$ отрицателен, то его или принимают равным нулю или берут в половинном размере (Н. Н. Павловский), ввиду того что кинетическая энергия при расширении потока не полностью переходит в потенциальную.

4. Водоприемниками осушительных систем в большинстве случаев являются реки (главным образом, малые и средние), причем часто осушаемые площади располагаются в заболоченных поймах их. Реки-водоприемники должны иметь такой режим паводков, при котором в поймах не отлагались бы крупные пылеватые и песчаные наносы, а поступали бы только тонкие илистые наносы, более ценные для плодородия. Для этого водоприемник должен иметь соответствующие горизонты, скорости и длительность прохождения паводковых вод в русле и по пойме реки.

5. Водоприемник должен обладать постоянством и устойчивостью русла и достаточно прочными берегами.

Если водоприемник не удовлетворяет всем указанным требованиям в естественном своем состоянии, приходится прибегать к специальным мероприятиям по упорядочению его.

Мероприятия по упорядочению рек-водоприемников должны изменять в нужном направлении самый режим данной реки и оказывать благоприятное влияние на состояние поймы.

ПРИЧИНЫ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ВОДОПРИЕМНИКОВ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ УПОРЯДОЧЕНИЮ

Причины неудовлетворительного действия водоприемника и недостаточной пропускной способности его могут лежать как в режиме стока воды и особенно прохождения паводков данной реки, так и в состоянии русла водоприемника (его уклона, сечения) и сводятся к следующим:

1) бурное прохождение паводков, влекущее большое поступление в пойму песчаных и пылеватых наносов, высокие затопления, размывы;

2) извилистость течения реки, обусловливающая уменьшение уклона и, следовательно, малые скорости и высокие горизонты воды в меженный период;

3) зарастание русла и засорение его наносами, камнями, корчами и т. д., уменьшающее поперечное сечение русла и повышающее коэффициент шероховатости его;

4) неодинаковые размеры и неправильные формы поперечных сечений русла и большие колебания их (резкие переходы от широких сечений к узким, от глубоких к мелким), обусловливающие неравномерное движение воды в водоприемнике (создание подпоров), и, как следствие этого, уменьшение пропускной способности;

5) подпоры воды, создаваемые искусственными сооружениями на водоприемниках (узкие отверстия мостов, высокие подпоры плотин силовых установок, рыбные заколы и др.);

6) высокое положение водоприемника по отношению к уровню подлежащих осушению площадей (низины, котловины и т. д.).

Сочетание указанных причин оказывается иногда таким, что одного устранения их достаточно, чтобы обеспечить нужный водный режим на данной площади поймы без специальных осушительных работ; в этом случае мелиорация водоприемника приобретает самостоятельное сельскохозяйственное значение.

К мероприятиям по улучшению водоприемника приходится прибегать в тех случаях, когда в естественном состоянии он не обеспечивает в нужные сроки определенных горизонтов воды, допустимой продолжительности затопления и других предъявляемых к нему требований.

Мероприятия по мелиорации водоприемников можно разделить на следующие.

1. Понижение горизонта воды и увеличение пропускной способности рек и других водотоков. Сюда относятся: а) спрямление русла водоприемника; б) расчистка от наносов и углубление русла; в) выправительные работы на реке, сводящиеся к созданию однородных сечений, равномерного течения и к увеличению пропускной способности; г) устранение искусственных

подпоров воды; д) снижение высоких расходов реки или разгрузка водоприемника от них.

2. Когда непосредственным водоприемником осушительной системы являются не реки, а замкнутые водоемы (озера, пруды и др.) или подземные водоотводящие слои, применяются: а) понижение горизонта воды в озерах, прудах и других водоемах и обеспечение нужного стока их или б) вертикальная система осушения.

В дальнейшем рассмотрим главнейшие из перечисленных мероприятий. Однако нужно иметь в виду, что мелиорации водоприемников значительно облегчаются, если достигнуты изменения самого режима реки путем осуществления на водосборе мероприятий, регулирующих сток, включая устройство водохранилищ на притоках и в верхнем течении реки, о которых говорилось выше.

2. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДОПРИЕМНИКОВ

Мероприятия по упорядочению и регулированию водоприемников, осуществляемые для осушения, *имеют и самостоятельное значение*. Главнейшие задачи, разрешаемые при регулировании рек, были сформулированы выше в виде требований, предъявляемых к водоприемникам.

Все эти задачи достигаются наилучшим образом в том случае, если в водоприемнике *в результате регуляционных работ создаются условия, при которых движение воды приближается к равномерному; неравномерное же движение с образованием кривых подпора воды в русле снижает его пропускную способность.*

В результате работ по урегулированию водоприемника должно образоваться устойчивое русло, сохраняющее постоянство *сечения и динамической оси потока и не подвергающееся размыву, заилению и зарастанию при колебаниях расходов воды*. Вопрос об устойчивости русел рек при колебаниях расходов еще мало изучен.

Имеющиеся данные позволяют говорить о том, что для устойчивого русла рек (текущих в своем аллювии) существует определенная связь между расходом и уклоном потока, мутностью воды, с одной стороны, и средней шириной, глубиной и скоростью течения воды в русле — с другой. Развитие морфометрических исследований должно помочь дальнейшему освещению рассматриваемого вопроса, уточнению и выявлению необходимых закономерностей.

Приведем результаты морфометрических исследований для небольших рек бассейнов Верхней и Средней Волги и Оки. На основе этих исследований С. И. Рыбкиным установлены следующие зависимости [1]:

$$B = 4{,}67 Q_0^{0{,}57} k^{0{,}13} I^{-0{,}07};$$

$$H = 0{,}069 Q_0^{0{,}22} k^{0{,}50} I^{-0{,}24};$$

$$v = 3{,}10 Q_0^{0{,}21} k^{0{,}37} I^{0{,}31};$$

$$I = \frac{0{,}000378}{Q_0^{0{,}35}},$$

где Q_0 — средний многолетний расход воды в $м^3/сек$;

k — модульный коэффициент $\left(\frac{Q}{Q_0}\right)$;

Q — расход реки, в $м^3/сек$;

I — уклон реки;

B — средняя ширина реки, в $м$;

H — средняя глубина реки, в $м$;

v — средняя скорость воды, в $м/сек$.

Величины B, H и v относятся к свободному меженному руслу реки при нормальном движении воды.

[1] «Метеорология и гидрология», 1947, № 4, стр. 38, Морфометрическая классификация рек. *Прим. автора.*

Вышеприведенные зависимости могут быть полезными для предварительных расчетов при проектировании русла регулируемых водоприемников. С. И. Рыбкин считает их применимыми также и для рек западных и юго-западных районов Европейской части СССР[1].

Если регулирование рек в судоходных целях служит для поддержания в русле достаточной глубины потока и скорости воды, то регулировочные работы при осушении имеют задачей обеспечение нужной пропускной способности водоприемника, создание требуемых условий затопляемости (или незатопляемости) пойм и поддержание нужного для осушения горизонта воды. Рассмотрим главнейшие виды регулировочных работ.

СПРЯМЛЕНИЕ РУСЛА

При течении в наносных отложениях или слабых грунтах равнинные реки, как известно, получают более или менее извилистую форму; в результате этого падение реки распределяется на большую длину, часть напора теряется бесполезно на закруглениях, и река получает очень малый гидравлический уклон. Извилистость русла заболоченных рек-водоприемников обычно очень велика; коэффициент ее равен 2—3; вследствие этого скорость воды сильно уменьшается.

Потеря напора на закруглении потока (при постоянных живом сечении и ширине потока в начале и конце закругления) равна, по А. Я. Миловичу:

$$h = 2{,}23\frac{b}{R}(n+\sin\alpha)\frac{v^2}{2g},$$

где b — ширина потока поверху;
R — внешний радиус закругления;
α — угол закругления;
n — число целых прямых углов в величине α;
v — средняя скорость потока в закруглении.

Вследствие подпоров, вызванных дополнительными сопротивлениями на поворотах, а также ввиду потерь на трение на длинных излучинах горизонт воды в реке поднимается, становясь нередко вровень с берегами даже в меженное время. Поэтому при подпоре и в небольшие паводки река выходит из берегов и затопляет пойму. Вместе с тем уровень грунтовых вод в пойме, подпираемый рекой, стоит высоко.

Спрямление реки и замена извилин прямыми участками или прорезями уменьшают общую длину течения и шероховатость русла, снижают потери напора, увеличивают гидравлический уклон, вследствие чего увеличивается скорость течения, уменьшается живое сечение и понижается горизонт воды. При сокращении длины участка реки вдвое скорость течения возрастает на 40—50% и соответственно уменьшается живое сечение.

Влияние спрямления русла или прорезей на режим стока воды в реке схематически представлено на рисунке 355.

Рассмотрим два случая. Первый (рис. 355, *I*), когда уклон i излучины на длине BGE меньше уклона i на выше- и нижележащих прямых участках реки (AB и EF). Здесь излучина создает подпор, величина которого равна разности сопротивлений течению воды по кривой BGE и прямой BE. Вследствие этого подпора гидравлический уклон на вышележащем участке реки AB уменьшается и скорости потока снижаются. Спрямление излучины уничтожает подпор, в силу чего гидравлический уклон и скорость течения воды на участке ABE возрастают, приближаясь к равномерному движению, отвечающему уклону i.

Второй случай (рис. 352, *II*): излучина имеет уклон, близкий к уклону реки выше и ниже излучины, но этот уклон невелик и может быть увеличен путем спрямления реки. Здесь уклон на длине излучины BGE до спрямления равен разности отметок BE, деленной на длину излучины L, т. е. $i=\frac{BE}{L}$; уклон реки на участке BE после спрямления станет равен $i_2=\frac{BE}{l}$, причем $i_2>i$. Увеличенный уклон прорези создает бо́льшую скорость и мень-

[1] Аналогичные морфометрические зависимости получены Л. Б. Левановским для рек Мещеры и Полесья («Осушение и освоение земель Мещерской низменности», изд. ВАСХНИЛ. Сборник под ред. А. Н. Костякова и К. Г. Липатова, СХГ, М., 1955).

шую глубину воды в прорези; вследствие этого в верховье прорези на участке AB образуется кривая спада воды; далее, на участке BE имеет место равномерное течение воды со скоростью, отвечающей новому уклону прорези (больше прежней бытовой скорости реки); наконец, на участке EF образуется кривая подпора, т. е. скорость начинает постепенно уменьшаться и ниже сечения F становится равной нормальной бытовой скорости в реке (соответственно уклону). Глубина воды в сечении F должна быть равна глубине в сечении A. Длина участка с равномерным течением при уклоне i_2 зависит от длины прорези l. Действие прорезей во время паводков на реке будет следующим. Выше сечения A и ниже сечения F горизонт воды будет стоять таким, каким был до устройства прорези; между

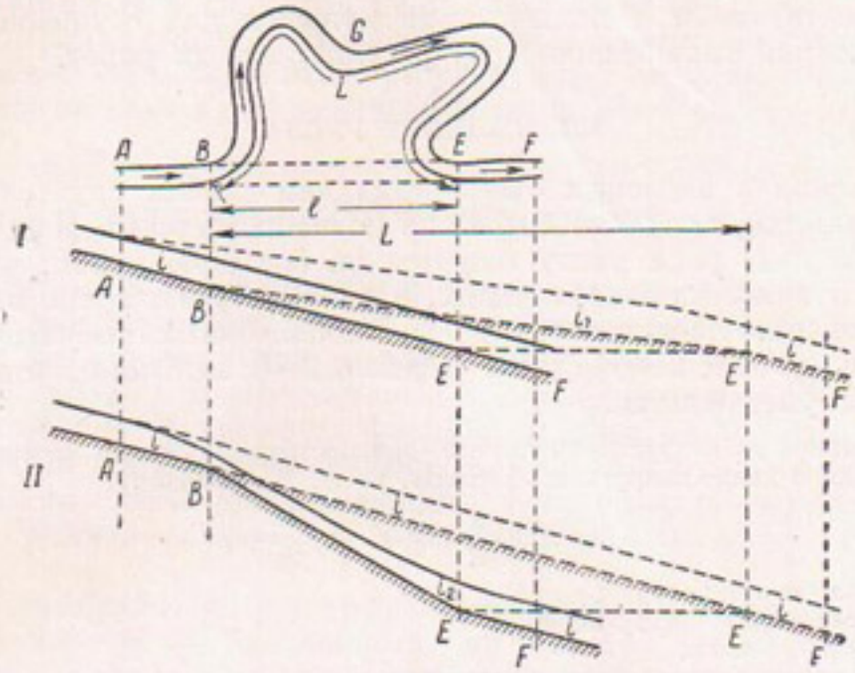


Рис. 355.

сечениями A и F (а при продолжительных паводках между B и E) вода будет стоять ниже, чем она стояла до спрямления. *В том случае, если пойма затапливалась до регулирования реки, то ниже пункта E затопление поймы может быть даже больше, чем до устройства прорези*, так как полоса поймы вдоль прорези BE в меньшей степени будет затоплена водой, а избыток воды, размещавшийся раньше на этой полосе, будет теперь стекать в реку. Кроме того, в силу сокращения длины русла время стока станет меньше; вода скорее достигнет низовий, вследствие чего расход ниже пункта E может увеличиться, горизонт воды подняться и затопление станет более длительным (если только уклон реки и высота берегов на нижнем участке реки такие же, как и на верхнем участке).

Затопление поймы ниже спрямленных участков реки увеличивается также и потому, что на участках с кривой подпора EF легко отлагается много наносов, особенно в том случае, если на вышележащем участке BE вода размывает русло прорези; отлагающиеся наносы повышают дно реки и горизонт воды и способствуют постепенному образованию песчано-пылеватых отложений в пойме. На верхних участках поймы (выше прорезей) затопление становится меньше, благодаря более быстрому стоку воды.

Если пропускная способность ниже спрямлений окажется недостаточной для пропуска увеличенного расхода воды, необходимо регулирование доводить до устья реки или обваловать нижнее течение реки.

Кроме того, нужно принимать все меры к тому, чтобы условия течения воды (скорость, сечение русла, шероховатость) на всем протяжении водоприемника, как в прорезях, так и на старых участках реки, были, по возможности, одинаковые, обеспечивающие равномерное течение воды в русле реки и наилучшую пропускную способность водоприемника. Радиусы закруглений на трассе выпрямляемых рек должны быть не меньше 10-кратной ширины нормального русла по верху.

Поэтому при проектировании спрямлений водоприемника следует руководствоваться следующими положениями.

Спрямления делаются на участках реки с недостаточными уклонами дна и скоростями течения воды ($v<0{,}4$ *м/сек*), при которых русло реки зарастает и заиляется, а горизонт воды стоит высоко, т. е. по возможности выполняются спрямления по схеме рисунка 355, *I*.

Задаваясь той средней скоростью, какую нужно поддерживать на регулируемой длине водоприемника и зная расход реки в тот период, для которого производится регулирование, определяют нужный для этого уклон потока, принимая определенное устойчивое сечение водоприемника. Имеются предложения (А. Д. Брудастов) минимальный уклон реки определять из допускаемых скоростей течения воды в бытовой период во избежание интенсивного зарастания русла реки после регулирования.

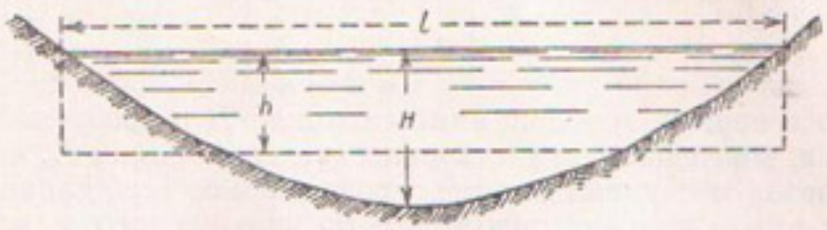


Рис. 356.

Это сечение водоприемника, которое должно поддерживаться на всей длине регулируемого участка, берется с учетом морфометрических зависимостей для «устойчивых» сечений данного русла.

Если принять параболическую форму устойчивого поперечного сечения (рис. 356) русла реки, то живое сечение равно:

$$F = \frac{2}{3} BH = Bh,$$

где B — ширина воды в русле (на рис. 356 $l = B$);
H и h — наибольшая и средняя глубины воды.

Принимая скорость течения воды в реке равной

$$v = \frac{Q}{F} \simeq C\sqrt{hI}$$

(т. е. приближенно приняв $R \simeq h$), будем иметь:

$$\frac{Q}{Bh} = C\sqrt{hI},$$

откуда получим:

$$h = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2C^2I}} \quad \text{и} \quad B = \frac{Q}{Ch}\sqrt{\frac{1}{hI}}.$$

Эти формулы дают возможность определить сечение водоприемника, пропускающее расчетный расход воды в нем [1].

Расход воды Q, на который ведется расчет при регулировании, берется для того периода, в течение которого нужно обеспечить пойму от затоплений и поддержать достаточную устойчивость русла. Обычно это будет расход летних, весенних или предпосевных паводков (в зависимости от условий использования поймы) с поверкой на меженные расходы (в отношении поддержания в русле скорости воды, препятствующей зарастанию).

По исследованиям Института мелиораций и болотного хозяйства БССР в таблице 100 приведены коэффициенты откосов на участках отрегулированных рек.

Для предохранения откосов от разрушения основания откосов закрепляются фашинами (диаметром 25 *см*), прибитыми метровыми кольями на высоту сползания грунта.

Коэффициент шероховатости при регулировании принимается в спрямляемых участках русла равным $n = 0{,}03$; в старых участках он может быть значительно выше.

---

[1] Приведенные формулы являются приближенными, пригодными для грубо ориентировочных подсчетов (ввиду того, что $R \neq h$, а коэффициент C зависит от R). Проверка производится обычным путем — зная B, H, I, n, определяются χ, ω, R, C, v и Q.

Таблица 100

Грунт	Глубина от поверхности (в м)			
	0—1	1—2	2—3	3—4
Торф	1,5	1,75	2,0	—
Песок	1,5	2,0	2,5	3,0
Песок под слоем торфа	—	3,4	4,0	—

Задаваясь в первом приближении величиной R и требуемой скоростью течения воды v, определяем нужный уклон водоприемника I_0, обеспечивающий эту скорость. Этот уклон должен сохраняться по всей длине водоприемника или, если возможно, увеличиваться по направлению к устью. Затем строится развернутый профиль данной реки. *Сравнение нужного уклона I_0 с действительным уклоном реки I на развернутом профиле реки определит*: 1) те участки, уклон которых $I > I_0$, где не требуется спрямления; 2) те участки, уклон которых $I < I_0$, где нужны спрямления; длина спрямлений устанавливается с учетом положения трассы в плане, допустимости радиусов закруглений (см. выше) и характера продольного профиля по всей длине регулируемой реки.

Спрямления должны быть расположены с таким расчетом, чтобы направление прорезей было параллельно направлению течения паводковых вод в реке, так как это лучше предохраняет прорези от занесения их наносами. Кроме того, необходимо располагать прорези так, чтобы они образовывали плавное направление всей трассы урегулированной реки (в своих сопряжениях с нетронутыми участками) и давали минимум потерь полезной площади и минимум стоимости работ.

При проектировании регулирования водоприемников большое значение имеет создание устойчивого (неразмываемого и незаиляемого) русла регулируемого потока.

Наблюдения показывают, что большинство устойчивых русел имеет параболическую форму поперечного сечения.

Для устойчивости сечения русла должны соблюдаться определенные соотношения между B, h и v при данном Q и мутности воды. Эти соотношения, однако, изучены еще недостаточно, особенно для заболоченных рек-водоприемников. По вышеприведенным формулам С. И. Рыбкина, ширина нормального естественного меженного русла рек B (м), в зависимости от уклона реки I и среднего многолетнего расхода Q_0 в $м^3/сек$, изменяется в пределах, представленных в таблице 101 (при модуле $k=1$).

Таблица 101

I	Q_0 $м^3/сек$		
	1,0	5,0	10,0
0,0001	8,9	22,4	33,1
0,0005	7,9	19,9	29,5
0,0010	7,6	19,0	28,1

Обеспечение необходимого соотношения $B : H$ при данных грунтах и расходах воды *позволяет в той или иной степени поддерживать устойчивость русла в отношении неразмываемости и незаиляемости, а регулировочные—выправительные работы в русле позволяют поддерживать нужное направление динамической оси потока.*

По исследованиям А. Ф. Нечкурова на отрегулированных участках рек в БССР, основная деформация русла происходит в первые 2—3 года. Наибольшей устойчивостью обладают крупные спрямления и наименее устойчивы — расширенные плесы с поворотами. Ежегодный слой заиления дна на плесах в четыре раза больше, чем на смежных спрямлениях, а ежегодный объем отложений на плесах в два раза больше, чем на спрямлен-

ных участках. Чем меньше отношение ширины поверху нормального русла к ширине поверху расширенного русла, тем больше заиление переката. Перекаты, по наблюдениям А. Ф. Печкурова, образуются: 1) на расширенных участках русла; 2) в местах пониженных берегов, по сравнению с общим уровнем поймы; 3) в местах подпора от сооружений и крутых поворотов; 4) на участках выхода воды из русла в пойму; 5) на закруглениях с расширенным руслом.

Решающим фактором в образовании перекатов является изменение вдоль по течению удельного руслообразующего потока (при полном заполнении меженного русла водой). Для предупреждения образования перекатов нужно выправлять русло, соответствующее высоким водам, до среднего уровня берегового вала (создание нормальной ширины русла, крепление откосов и др.).

При регулировании реки путем спрямлений для обеспечения равномерного движения по всей длине ее должны приниматься соответствующие меры и на старых участках реки (расчистка и углубление их, сжатие сечения и др.). При производстве работ по спрямлению место работ ограждается перемычками; работа ведется экскаваторами; вынутая земля употребляется на засыпку старых рукавов реки. Старое русло реки в местах соединения с прорезью заполняется земляными или фашинными дамбами; на остальном же протяжении оно остается в виде староречья, постепенно зарастающего и заиляющегося.

РАСЧИСТКА И УГЛУБЛЕНИЕ ВОДОПРИЕМНИКА

Очень часто высокое стояние уровня воды в водоприемнике обусловливается засорением и зарастанием русла. Зарастание обычно происходит при скоростях воды в русле менее 0,5 *м/сек*. Растительность, увеличивая шероховатость русла и уменьшая скорость течения воды, увеличивает живое сечение, повышает горизонт воды и способствует образованию подпоров.

Как показывают наблюдения, коэффициент шероховатости заросших русел может доходить до $n=0{,}4$ и выше (по формуле Н. Н. Павловского). Расчищают русло от растительности в низкую воду — в конце лета или начале осени.

Для чистки заболоченных водоприемников от растительности пока нет еще достаточно хороших машин и ее выполняют кустарно (с лодок при помощи специальных граблей, длинных кос, протаскивания цепей с шипами и т. п.). Проводимые в последние годы широкие производственные испытания химических средств (гербицидов) борьбы с зарастанием каналов и рек сорной растительностью показали их избирательную эффективность. Так, препарат 2,4-Д вызывает гибель из древесно-кустарниковых: ивы, ольхи, березы, но не действует на осину, дуб и некоторые другие породы; в комбинации с препаратом ПХФ (2,4-Д+ПХФ) действие значительно улучшается. На двудольные указанный препарат действует губительно, но однодольные от него не погибают (ситник, рогоз). Для борьбы с погруженной в воду растительностью испытывается каменноугольный сольвент (ГОСТ 2706—44)[1].

Расчистка русла от растительности уменьшает коэффициент шероховатости n на 30% и более и тем самым увеличивает скорость стока и пропускную способность Q (проценты уменьшения n и увеличения Q приближенно одинаковы).

Русло засоряется также от отложения наносов, камней, потонувших деревьев и других предметов, от образования перекатов. Эти препятствия создают подпор воды в русле и вызывают подъем горизонта.

Уничтожение подпора увеличивает гидравлический уклон реки и вместе с ним — скорость воды и пропускную способность русла. При постоянстве расхода реки живое сечение ее вследствие расчистки уменьшается и горизонт воды понижается.

---

[1] См. М. Г. Зеланд, И. М. Загорский. Журн. «Гидротехника и мелиорация» № 4, 1956; Н. К. Бессеребренников. Труды Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства, т. VIII, Минск, 1958.

Так, расчистка р. Плюссы создала понижение средних паводковых вод в болотной части ее на 0,32 *м* и вызвала спад воды на 10 дней раньше, чем до расчистки.

При расчистке русла нужно соблюдать условие, чтобы скорость течения воды в русле после расчистки не уменьшалась и не началось его заиление; поэтому расчистка русла в основном должна вестись в глубину, а не в ширину.

Земляные работы по расчистке и углублению дна заболоченного водоприемника производятся мокрым способом, т. е. под водой.

Для этой цели применяют землесосы и землечерпательные машины, экскаваторы разных систем, поставленные на понтоне или работающие с берега. Твердые выступы удаляют взрывным способом.

Поддержание углублений достигается ежегодной расчисткой до проектных отметок дна или же стеснением русла в месте углубления при помощи дамб, шпор или щитов. Действие водостеснительных сооружений рассматривается ниже, здесь же отметим, что они должны быть расположены на таком расстоянии друг от друга, при котором производимый ими подпор воды не снижал бы эффекта, достигнутого углублением.

ВЫПРАВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ В РУСЛЕ

Высокое стояние уровня воды и малая пропускная способность водоприемника часто обусловливаются неправильной формой русла — чередованием суженных и более глубоких участков с широкими мелкими участками, делением русла на рукава и др. В силу такого состояния пропускная способность русла уменьшается, сток замедляется; в паводки вода поступает в пойму стремительнее, так как русло реки не успевает отводить паводковую воду и затопления увеличиваются. Чтобы избежать этих явлений и создать условия нормального прохождения паводков в русле и в пойме реки, при которых в пойме отлагаются только илистые наносы, нужно повысить пропускную способность русла реки и обеспечить равномерное движение воды на всем его протяжении.

Это достигается выправительными работами в русле: 1) приданием руслу реки правильных формы и направления течения воды и 2) созданием и поддержанием однообразной ширины русла, а также надлежащих скоростей течения воды и глубин.

Для этой цели применяются два типа сооружений: 1) *струенаправляющие дамбы, запруды и полузапруды*, служащие для выправления динамической оси потока и создания нужного направления русла и 2) *водостеснительные сооружения*, суживающие расширенные участки реки и обеспечивающие поддержание однообразного поперечного сечения.

Правильное очертание, которое могут принять динамическая ось потока и направление береговых линий на данном участке реки, назначается по изгибам упругой линейки, возможно ближе подходящим к существующему направлению динамической оси в середине и совпадающим с ним на концах этого участка (рис. 357). Дамбы *АБ* и *ВД* являются только струенаправляющими, при наличии же дамбы *ВГ* дамба *ГВД* приобретает характер водостеснительной. Если же эта задача — сжатия русла — не ставится, то дамбу *ВД* до берега не продолжают, ограничиваясь лишь дамбами *АБ* и *ВД*. Если противоположный направляющей дамбе *АБ* берег реки, имеющий более или менее правильное очертание, вогнутый и есть опасность размыва его, то этот берег укрепляется, как это показано на рисунке 358.

Продольные направляющие дамбы могут быть заменены системой поперечных дамб, идущих от берега и на определенном расстоянии друг от друга, концы которых располагаются по очертанию нужной выправительной линии. Такие дамбы называются *поперечными полузапрудами, или бунами* (рис. 359); они делаются двух видов: а) с горизонтальным или слабо наклонным гребнем — обычные буны, и б) с сильно наклонным гребнем, спускающимся от

берега ко дну реки,— так называемые донные запруды. Поперечные дамбы делаются параллельными друг другу и трапецеидального сечения; все точки *Б* их должны лежать на очертании выправительной линии и уклон гребней их *БВ* должен быть одинаков. Система поперечных полузапруд, ограждая происшедшее углубление речного дна, вызывает отклонение динамической оси потока от берега к середине реки. Струенаправляющие сооружения могут достигать требуемых результатов при достаточной прочности противоположных берегов; поэтому при выправительных работах часто приходится прибегать к укреплению берегов.

Берегоукрепительные работы бывают нужны и независимо от выправительных работ, в тех случаях, когда река подмывает бере-

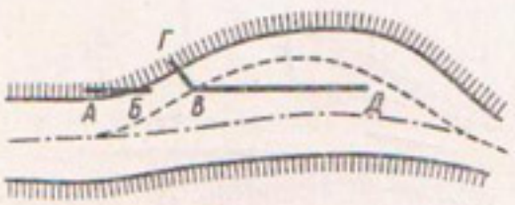


Рис. 357.

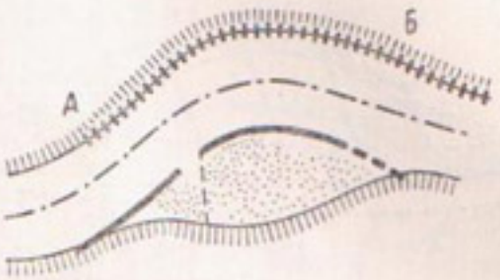


Рис. 358.

га и отнимает используемую сельскохозяйственную площадь. Разрушениям подвергаются главным образом вогнутые берега, их по преимуществу и приходится укреплять.

Укрепление берега должно: 1) придать на известную высоту от подошвы правильную по форме и прочную по характеру поверхность укрепляемого откоса реки и 2) обеспечить правильное очертание берега в плане.

Высота крепления зависит от высоты и колебаний горизонта воды в реке. Она должна быть сделана выше нормального меженного горизонта и не ниже горизонта развития травяной и кустарниковой растительности, служащей естественной защитой берега.

Очертание укрепляемого откоса в плане должно быть достаточно плавным, согласуясь с очертаниями прилежащих частей берега с верховой и низовой стороны (по течению) и с наивыгоднейшим направлением динамической оси потока. Поперечный профиль крепленого откоса и характер крепления зависят от грунта и крутизны берегов и от размеров реки.



Рис. 359.

Для небольших рек крепление берега может быть следующим (по возрастающей прочности): 1) посев травяной смеси; 2) покрытие дерном, причем при пересечении откоса и дна кладутся фашины, прищиваемые кольями к дну на крутых откосах; 3) крепление фашинами подошвы откосов в слабых оползающих грунтах, причем фашины прибиваются кольями; 4) выстилка хворостом или плетневые заборы; 5) вымащивание камнем в плетневых клетках.

Для больших рек при правильном очертании берега и пологих откосах применяют крепления: 1) фашинными тюфяками в нижней части и мостовой в верхней части; 2) кладкой из тяжелых фашин до горизонта низких вод, а выше — каменной мостовой.

Крутые и подмытые откосы укрепляют: 1) фашинной (погружаемой) кладкой, 2) каменной наброской, 3) тем и другим способами вместе, 4) габионной кладкой.

Для крепления размываемого берега (обычно вогнутого) может быть применен метод отклонения динамической оси потока от размываемого берега при помощи поперечных полузапруд или же направляющих систем М. В. Потапова, образующих в потоке поперечную циркуляцию обратного направления (когда донные течения направлены к вогнутому, а поверхност-

ные к выпуклому берегу) и таким образом способствующих отложению наносов у размываемого вогнутого берега.

Водостеснительные дамбы устраивают поперечные (рис. 360) *и продольные* (рис. 361). Иногда применяются сочетания тех и других. Продольные дамбы, если они незатопляемы, должны иметь разрывы (через 100 *м*), через которые проникает речная вода, постепенно занося пространство за дамбой отложениями наносов; продольные дамбы соединяют с берегом траверсами.

Поперечные дамбы, или буны, ставят под углом 100—110° к оси русла против течения реки.

При расположении бун против течения струи воды, переливающиеся через буны, направляются не к берегу, а к середине реки, вследствие чего не размываются корни бун и берегов реки. Кроме того, при таком располо-

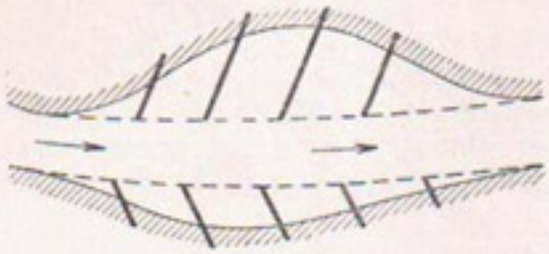


Рис. 360.

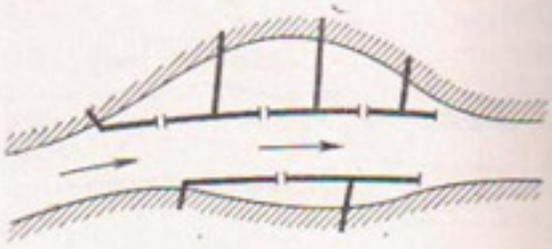


Рис. 361.

жении бун лучше отлагаются наносы в пространстве между ними. Расстояния между бунами принимают от $^1/_3$ (в больших реках) до $^3/_4$ (в малых реках) нормальной ширины реки или же не более четырехкратной длины бун; нередко расстояние между бунами делают равным $k\,(B - B_1)$, но не больше B_1, где B — ширина несуженного сечения реки, а B_1 — ширина сужения, коэффициент k равен от 0,75 до 2. В промежутках между отдельными бунами, где вода не имеет течения, усиленно отлагаются наносы, постепенно заполняющие пространства между дамбами.

Недостатки продольных дамб следующие: 1) дамбы приходится строить в глубоких частях реки, вследствие чего они стóят дороже и уход за ними сложнее; 2) ширина сжатого сечения реки фиксируется продольными дамбами сразу, между тем трудно заранее точно определить величину сужения, при которой получается нужный эффект регулирования.

Поперечные же дамбы можно возводить постепенно, выдвигая их от берега в реку и тем самым суживая сечение реки по мере надобности, выясняющейся в процессе работы этих дамб; устройство поперечных дамб легче и проще путем постепенного выдвигания дамбы от берега к глубоким местам реки.

Недостатками поперечных дамб являются: 1) образование водо воротов, могущих вызвать местные размывы русла; 2) регулирующее действие их сказывается в полной мере по истечении того срока, когда произойдет достаточное занесение наносами промежутков между дамбами; продольные же дамбы начинают действовать сразу после их возведения.

Смешанная система регулирования состоит в том, что при небольшой глубине воды или небольшом удалении трассы выправленного русла реки от берега применяют продольный способ и, наоборот, при большой глубине или при удалении трассы от берега применяют поперечный способ.

Чтобы возможно меньше изменять естественные условия потока, выправительные сооружения возводят постепенно сверху вниз по течению реки.

На заболоченных реках-водоприемниках хорошие результаты дает устройство продольных и поперечных дамб в виде двухрядных плетней с расстоянием между ними не меньше 1—1,5 *м* и заполнением пространства между ними торфяным или растительным грунтом и покрытием сверху дерном. При устройстве плетней колья толщиной 6—10 *см* забиваются в дно водоприемника на глубину 1,5—2 *м* на расстоянии 33 *см* друг от друга

Двойные плетни через каждые 2 *м* скрепляются сверху поперечными затяжками из кольев толщиной 10 *см*. Колья оплетаются плотной лозой.

Реже продольные и поперечные дамбы устраивают: 1) из фашинной кладки шириной поверху от 2 до 4 *м*, с одинарными откосами; 2) из каменной наброски шириной поверху от 1 до 2 *м*, с полуторными откосами; 3) из фашин или ряжей с камнем; 4) из проволочных сетчатых тюфяков с каменной загрузкой (габионов).

С берегом дамбы смыкаются так называемыми корнями, т. е. дамбы на известную глубину запускают в коренной берег.

Высота водостеснительных дамб должна находиться в пределах расчетных горизонтов регулирования и быть сообразована с шириной проектируемой трассы реки и с горизонтами ледохода и ледостава. Обычно возводят дамбы до уровня воды на 0,25—0,50 *м* выше межени, при котором они не страдают от ледохода, реже до уровня средних летних паводков или предпосевных вод. Ширину трассы определяют сообразно с принятой высотой дамб.

Сужение русла рек особенно необходимо на широких, мелких, илистых и зарастающих плесах; широкие, но глубокие плесы можно не сужать.

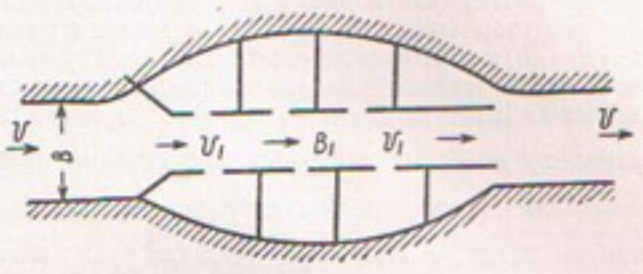


Рис. 362.

При сужении естественного расширения следует в целях создания более или менее равномерного режима, о чем было сказано выше, назначать ширину суженной части (между продольными дамбами или концами поперечных — см. рис. 362, B_1) приблизительно равной проектной ширине реки выше и ниже сужения (B). Если этого не соблюдать и сделать $B_1<B$, то возникнет неравномерный режим, который может быть рассмотрен на основании приводимых ниже соображений.

Сужение русла с ширины B до B_1 (рис. 362) создает подпор воды, и на определенной длине вверх от начала сужения образуется кривая подпора. В суженном русле на некотором протяжении, если длина сужения значительная, установится равномерное движение воды со скоростью v_1 и глубиной h_1, соответствующей сжатой ширине русла B_1, и, наконец, в нижней части сжатого участка реки образуется кривая спада, которая смыкает глубину в сжатом русле h_1 с нормальной глубиной h в свободной нижней части реки.

Нас интересуют значения увеличенных скоростей течения воды в пределах стесненного русла, так как от величины их зависят: 1) степень размывания дна и 2) пропускная способность русла.

Для сжатого участка с равномерным течением будем иметь (при $R \sim h$):

$$h_1 I = A_1 v_1^2 = A_1 \frac{Q^2}{B_1^2 h_1^2},$$

где $A_1 = \frac{1}{C_1^2}$.

Для нестесненного русла реки имеем:

$$hI = Av^2 = A\frac{Q^2}{B^2 h^2},$$

где $A = \frac{1}{C^2}$.

Принимая приближенно $C = C_1$ и $A_1 = A$ и деля первое уравнение на второе, получим[1]:

$$h_1 = h \sqrt[3]{\left(\frac{B}{B_1}\right)^2},$$

[1] Некоторым уточнением является принятие $C = \frac{1}{n} Ry$ при $y = 0{,}25$ (для широких русел, по рекомендации Н. Н. Павловского). Тогда $h_1 \sim h\left(\frac{B}{B_1}\right)^{0{,}57}$; $v_1 = v\left(\frac{B}{B_1}\right)^{0{,}43}$.

откуда определится величина подпора в пределах сжатого русла:

$$z = h_1 - h = h_1\left(\sqrt[3]{\left(\frac{B}{B_1}\right)^2} - 1\right).$$

Из этой формулы видим, что значение $h_1 = h + z$ зависит от степени сужения, так как подпор z тем больше, чем меньше B_1. С величиной h_1 связана высота дамб, которая должна быть сообразована с теми расходами (и горизонтами) воды, в пределах которых дамбы должны оказывать свое регулирующее действие на сток реки. Для достижения одного и того же подпора $z = h_1 - h$ с увеличением высоты дамб надо увеличивать и ширину трассы. Величина скорости v_1 в суженном участке в пределах равномерного движения равна:

$$v_1 = v\sqrt[3]{\frac{B}{B_1}}.$$

Так как величина $B > B_1$, то в стесненном русле получится увеличение скорости тем большее, чем больше сужение. При определенной степени сужения скорость воды может достигнуть величины, достаточной для размыва грунта дна.

Подпор воды, образуемый сужением русла и равный, по предыдущему, величине $z = h_1 - h$, уничтожается в нижней части суженного участка на некотором протяжении, равном длине кривой спада. Это длина спада от глубины h_1 до глубины h может быть найдена по общим методам построения кривых спада; приближенно она может быть принята равной: $S = \frac{h}{3I}$, где h — бытовая глубина реки, а I — уклон дна ее.

Что касается длины регулирования или сжатия русла, то если таковая меньше кривой спада, в этом случае сжатие русла вызовет подпор, равный $z_0 \approx z\frac{x}{S}$, где x — длина сжатого участка, а S — длина кривой спада, отвечающая подпору z. Подставив в это выражение найденные выше значения x и S получим

$$z_0 = 3Ix\left(\sqrt[3]{\left(\frac{B}{B_1}\right)^2} - 1\right).$$

Если же длина дамб $x > S$, то на протяжении равном $x - S$, будем иметь подпор $z = h_1 - h$.

Таким образом, в сжатом русле получается увеличение скорости течения, что ускорит отвод воды по руслу водоприемника и может вызвать углубление русла в стесненной части; если это углубление y окажется больше подпора $z = h_1 - h$, то регулирование русла вызовет и понижение горизонта воды в сжатом русле на величину $y - z$, зависящую от степени сжатия русла, т. е ширины трассы B_1.

В слабо размываемых грунтах понижение горизонта воды в пределах подпора в сжатом русле может быть достигнуто землечерпанием; и обратно, сжатие русла часто применяется для того, чтобы закрепить результаты произведенного ранее углубления дна водоприемника. *Влияние сужения русла на ускорение стока, понижение горизонта воды и затопление поймы должно быть проанализировано для разных периодов стока — весеннего паводкового, летнего бытового и летне-осеннего паводкового*, чтобы создать требуемые условия для водоприемника и поймы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ РЕГУЛИРУЕМОГО РУСЛА

От правильного выбора ширины регулируемого русла зависит эффект регуляционных работ в отношении их влияния на скорость потока, положение горизонта воды в реке и условия затопления поймы.

Нужно, однако, отметить, что точно определить требуемую ширину теоретическим путем трудно, так как реки имеют не постоянный режим стока, и процесс формирования русла зависит от многих факторов, не поддающихся точному учету; поэтому, как отмечено выше, большое преимущество имеют поперечные дамбы, позволяющие сужать русло постепенно, по мере надобности. Для ориентировочных соображений кратко остановимся на вопросе о влиянии скорости течения воды на размываемость грунта.

Размыв, т. е. сдвиг частиц грунта, начнется тогда, когда динамическое давление воды на частицы грунта будет превышать сопротивление их сдвигу, т. е. при условии

$$\lambda\gamma\frac{\pi d^2}{4}\cdot\frac{v_0^2}{2g} \geqslant \frac{\pi d^3}{6}(\gamma_1 - \gamma)f,$$

где v_0 — скорость течения по дну;
d — диаметр частиц;
γ — вес единицы объема воды;

λ — коэффициент шероховатости, зависящий от формы частиц и степени восприимчивости частиц к давлению воды (насколько они выступают над дном и т. д.), он равен 0,50—0,80;

f — коэффициент трения для данного грунта;

γ_1 — удельный вес частиц.

Из приведенного уравнения получаем значение той донной скорости v_0, при которой может начаться размыв грунта, частицы которого имеют средний диаметр d:

$$v_0 > \sqrt{\frac{4gd(\gamma_1 - \gamma)f}{3\lambda\gamma}}.$$

При выводе этого значения v_0 не учитывалось, что на частицы на дне при размыве действует не только лобовое давление воды, но и подъемная сила, возникающая в силу несимметричного обтекания частиц потоком; эта сила, по исследованиям А. И. Лосиевского, приблизительно пропорциональна квадрату донной скорости потока. С учетом подъемной силы значение размывающей донной скорости v_0, по исследованиям И. И. Леви, равно:

$$v_0 = \sqrt{\frac{gd(\gamma_1 - \gamma)f}{\gamma A}},$$

где $A = A_1 + A_2$ — коэффициент, характеризующий сопротивление частиц лобовому давлению воды A_1 и подъемной силе потока A_2, зависящих от относительной шероховатости русла $\frac{d}{h}$, т. е. отношения диаметра частиц d к глубине воды h, от формы частиц, плотности их размещения на дне потока, от отношения донной и средней скорости к коэффициенту трения. Автором дается выражение для коэффициента A, которое здесь, однако, не приводится, так как он может быть определен только опытным путем.

Таким образом, значение критической донной скорости, при которой начинается размыв грунта, полученное из приведенных выше формул, приводится к виду $v_0 = \zeta\sqrt{d}$, где $\zeta = 6—9{,}2$, при диаметре частиц d в метрах.

М. А. Великановым найдена следующая связь между средней скоростью потока v, при которой начинается размыв дна, и диаметром d размываемых частиц песка:

$$\frac{v^2}{g} = \alpha d + \beta,$$

где α и β — некоторые числовые коэффициенты, $\alpha \approx 14$ и $\beta \approx 0{,}006$.

Отсюда средняя скорость воды, при которой начинается размыв дна, определяется так:

$$v = 3{,}13\sqrt{14d + 0{,}006},$$

где d — диаметр частиц песка, в *м*.

По этой формуле получаются следующие значения критической средней скорости размыва для разных диаметров частиц песка:

диаметр частиц d (в *мм*)	0,25	0,50	1,0	1,5	2,0	4,0	10,0
средняя размывающая скорость (в *м/сек*) . .	0,30	0,35	0,44	0,52	0,58	0,77	1,19

На основании обработки результатов опытов многих авторов И. И. Леви дает такие значения средней размывающей скорости:

$$v = 1{,}4\sqrt{gd}\ln\frac{h}{7d}, \qquad \text{при} \quad \frac{h}{d} > 60;$$

$$v = 1{,}4\sqrt{gd}\left(1 + \ln\sqrt{\frac{h}{7d}}\right) \quad \text{при} \quad 10 < \frac{h}{d} < 60.$$

Значение донной размывающей скорости $v_0 = \varphi v_0$ где φ — отношение донной к средней скорости, зависящее от глубины потока и относительной шероховатости русла. Вышеприведенные зависимости относятся к частицам однородного состава и несвязным песчанистым грунтам и потому являются схематическими.

В действительности значение донной размывающей скорости больше, так как, кроме силы трения, между частицами грунта действуют еще силы сцепления, которые не учитывались. Если для донной скорости реки принять, что $v_0 = C_0\sqrt{HI}$, где C_0 —

постоянный коэффициент донной скорости и H — глубина воды в реке, и подставить это значение v_0 в вышеприведенную формулу, получим:

$$\gamma HI \geqslant \frac{gd(\gamma_1 - \gamma)f}{AC_0^2}.$$

Это выражение γHI, где H — глубина потока, I — гидравлический уклон его и γ — вес единицы объема воды, характеризует величину размывающего действия воды. Этому действию противопоставляется способность данного грунта сопротивляться размыву, т. е. выдерживать известное касательное напряжение, вызываемое движением воды:

$$\gamma HI = 1000\ HI = S_0\ кг/м^2.$$

Величина S_0, характеризующая степень размываемости данного грунта, может быть определяема опытным путем.

Принимая значения критической донной скорости размыва $v_0 = \xi\sqrt{d}$ для разных грунтов и подставляя их в формулу для S_0, получим значения сопротивления данного грунта размыву, а именно:

$$S_0 = \frac{\gamma v_0^2}{C_0^2} = \frac{\xi^2 \gamma d}{C_0^2} \approx \frac{10^3 \cdot 36d}{40} \approx 90d\ кг/м^2 \text{ (при } \xi = 6),$$

где $C_0 = C - 14$ и d — диаметр частиц в $м$, так как $v_0^2 = C_0^2 HI$.

Отсюда получим такие значения S_0 (в $кг/м^2$): для мелкого песка 0,1—0,4, для крупного песка 0,6—0,8, для гравия 1,0—3,0, для крупной гальки 5,0.

Определяя критическую скорость размыва грунта по М. А. Великанову, получим бо́льшие значения сопротивления грунта размыву — S_0.

Определения значения S_0 по диаметру частиц относятся к рыхлому сложению наносов, когда частицы песка не связаны между собой.

Величина S_0 для естественных грунтов сильно зависит от степени их связности и сцепления корнями растений: в зависимости от этого значение S_0 для плотных глинистых грунтов доходит до 2 $кг/м^2$; для неразложившихся волокнистых торфов до 3 $кг/м^2$; для разложившегося же торфа S_0 около 0,5—0,6 $кг/м^2$.

Так как, согласно предыдущему (стр. 548), ширина русла по урезу воды равна $B = \frac{Q}{Ch}\sqrt{\frac{1}{hI}}$, то, во избежание размыва, нужно чтобы $hI = \frac{S_0}{\gamma}$, поэтому ширина трассы реки, при которой не размывается русло, определится следующим выражением:

$$B = \frac{Q}{Ch}\sqrt{\frac{\gamma}{S_0}},$$

где Q — расход реки;

C — значение коэффициента скорости при нормальном режиме и глубине реки h_1;

γ — вес единицы объема воды;

S_0 — сопротивление грунта размыву, определяемое опытным путем.

Если сечение сжато дамбами, то с шириной регулированного русла должна быть связана и высота дамб, как об этом было сказано выше.

Вследствие размыва русла глубина и, следовательно, сечение сжатой части будет постепенно увеличиваться, а скорость уменьшаться. Поэтому после увеличения размывом живого сечения до известного размера скорость уменьшится настолько, что размыв прекратится.

Для случаев спрямления реки ширина нового русла может быть также определена по приведенной формуле для B, причем h в этом случае будет та глубина воды, какая соответствует увеличенному уклону нового русла или прорези. Если h и B установлены, то по приведенным формулам можно выяснить вопрос о возможности или невозможности размыва русла (сообразно сопротивлению данного грунта, с одной стороны, и размывающей силе потока — с другой).

Приведенные соображения показывают связь между сужением русла, горизонтом воды в нем и размывом грунта дна и позволяют судить о том эффекте, какой может быть достигнут в результате регуляционных работ при тех или иных условиях (расходах и горизонтах воды в реке и свойствах грунта ее ложа). Количество донных наносов, перемещаемых потоком в регулируемом русле в единицу времени на 1 пог. $м$ ширины его, при разных горизонтах и скоростях воды может быть (приближенно) определено на основании

исследований М. А. Великанова, И. И. Леви, Г. В. Лопатина, Г. И. Шамова, В. Н. Гончарова и др.[1]

Пример расчета ширины трассы регулируемой реки. Расход водоприемника в период регулирования равен 200 $м^3/сек$. Соответствующая этому расходу бытовая глубина воды $h=2$ $м$, уклон дна $I=0{,}0004$. Принимая $R=h=2$ $м$ и коэффициент шероховатости $\gamma=1{,}70$ (в формуле Базена), получим $C=44$.

При этих условиях ширина водоприемника:

$$B=\frac{Q}{Ch\sqrt{hI}}=\frac{200}{44\cdot 2\sqrt{2\cdot 0{,}0004}}=81{,}2\ м.$$

Если сопротивление данного грунта размыву определяется величиной $S_0=1$ $кг/м^2$, то по приведенной выше формуле получим допускаемую глубину неразмываемого сжатого русла:

$$\gamma h_1 I=S_0,\ h_1=\frac{S_0}{\gamma I}=\frac{1}{1000\cdot 0{,}0004}=2{,}50\ м.$$

При этой глубине ширина сжатого сечения равна:

$$B_1=B\left(\frac{h}{h_1}\right)^{1{,}5}=81{,}2\left(\frac{2{,}0}{2{,}5}\right)^{1{,}5}=58\ м\ (Q=200\ м^3/сек,\ I=0{,}0004).$$

Следовательно, предельное сужение русла, не вызывающее размыва грунта, будет $B-B_1=81{,}2-58{,}0=23{,}2$ $м$.

3. РАЗГРУЗКА ВОДОПРИЕМНИКА

В ряде случаев горизонт воды в водоприемнике может быть понижен путем разгрузки его, т. е. отведения части паводкового расхода водоприемника особым дополнительным руслом (естественным или искусственным).

К устройству этого добавочного обводного канала (рис. 363) прибегают в тех случаях, когда естественный водоприемник не может отводить всю воду паводков без вреда для прилежащей площади (по недостатку уклона или малому сечению) и когда регулирование его иными способа-

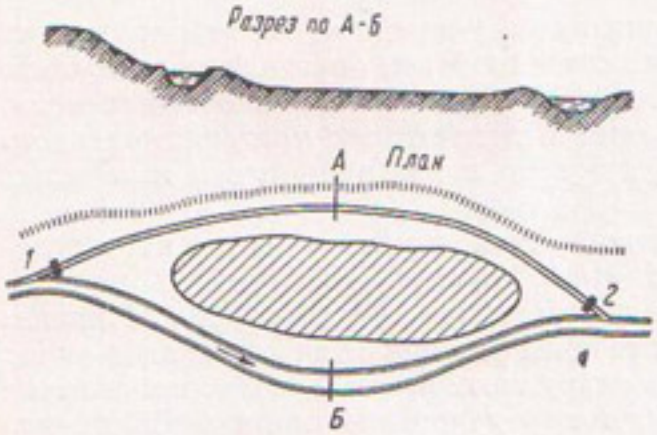


Рис. 363.

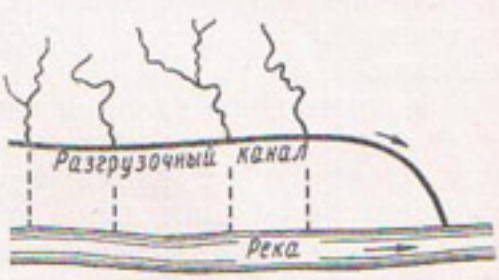


Рис. 364.

ми затруднительно или дорого. Выше и ниже улучшаемого участка обводной канал смыкается с водоприемником и соединяется с ним шлюзом *1* вверху и шлюзом *2* внизу. Впуск обводного канала в водоприемник делается в том месте, где последний имеет достаточный уклон. Устройство обводного канала позволяет использовать его для орошения пойменных земель и доставления на них мелких плодородных илистых наносов (путем устройства системы шлюзов регуляторов).

Обводной канал часто делается *двойного поперечного профиля*, чтобы он мог успешно работать для отвода паводковых вод в половодье и для отвода грунтовых вод — в меженное время. В меженное время обводной канал работает только нижней частью своего сечения, которая рассчитывается так, чтобы скорость воды в ней была не менее 0,40 $м/сек$ во избежание зарастания. В половодье обводной канал работает полным своим сечением и пропускает паводковый расход за вычетом расхода, протекающего по руслу реки.

[1] М. А. Великанов. Динамика русловых потоков. М., 1954 и 1955; И. И. Леви. Динамика русловых потоков. Л., 1948; Г. В. Лопатин. Наносы рек СССР, М., 1952. *Прим. автора.*

Достоинством двойного поперечного профиля каналов является возможность поддержания достаточной скорости воды при минимальных расходах реки, а недостатком — уменьшение пропускной способности составного сечения.

Разгружать водоприемник приходится также в тех случаях, когда река несет много наносов, вследствие чего русло постепенно поднимается настолько, что сток воды в него становится затруднительным.

Во многих случаях разгрузка основного русла от избытков воды возможна путем перехватывания особым каналом всех боковых притоков, впадающих в главную реку в пределах низинной части долины, подлежащей мелиорации, и выпуска этих вод в реку ниже, в тех местах, где река имеет достаточные уклон и сечение для приема этих вод. Схема подобной разгрузки реки представлена на рисунке 364. При этом способе возможно также орошать поймы из обводного канала и уменьшать интенсивность осушения заболоченной низменности, вследствие перехватывания избыточных вод притоков.

Обводной нагорный канал, перехватывающий притоки, трассируется по окраинным повышенным отметкам осушаемой долины и имеет определенный расход воды не только в паводки, но и в межень, равный сумме меженных расходов перехватываемых им притоков. Поэтому, если разница отметок обводного канала и реки и бытовой расход воды притоков, объединяемый в канале, достаточны, то возможно использовать имеющийся перепад (напор) для устройства ГЭС. Это составляет одно из достоинств устройства обводных каналов.

4. ВЛИЯНИЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ ВОДОПРИЕМНИКА НА СТОК ВОДЫ И ЗАТОПЛЕНИЕ ПОЙМ

Как было сказано выше, мероприятия по упорядочению водоприемника в мелиоративных целях имеют задачей создание в нем определенного водного режима, отвечающего характеру использования связанных с ним земель, т. е. нужных горизонтов воды, нужных и допустимых продолжительности и величины затопления поймы, недопущения в нее песчаных и пылеватых наносов.

Упорядочение русла водоприемника, улучшая условия стока на регулируемом участке реки, может, однако, вызывать повышение уровня и усиление затопления на землях, ниже урегулированного участка реки. Слишком медленный сток, длительное затопление пойм (на многих заболоченных реках оно продолжается до июля и августа) нарушают правильное использование пойм; с другой стороны, слишком большое ускорение стока весенних вод и сокращение половодья могут повлечь обеднение поймы питательными веществами; поэтому регулирование водоприемников надо рассчитывать на определенную допустимую продолжительность затопления пойм.

ВЛИЯНИЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ ВОДОПРИЕМНИКА НА ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ НА НИЖЕЛЕЖАЩИХ УЧАСТКАХ РЕКИ

Уровень воды ниже урегулированного участка повышается вследствие того, что регулирование или обвалование водоприемника, уменьшая затопление прилежащей местности, увеличивает количество воды, поступающей в нижележащие участки реки, так как та вода, которая до регулирования шла на затопление поймы, теперь поступает в реку, отчего расход полых вод увеличивается, а продолжительность паводка сокращается.

Предположим, что без регулирования уровень воды в пойме во время паводков поднимается над береговой линией (рис. 365) на величину t, и по реке и пойме проходит расход воды $Q=Q_1+Q_2$, из которого по руслу реки $Q_1=b(t_1+t)v_1$ и по пойме $Q_2=Bt\,v_2$.

За период времени T, пока уровень воды поднимается от t_1 до t_1+t, не вся вода стекает по реке, а часть ее, именно объем ωt, идет на затопленные поймы, где ω — площадь затопления; на это количество воды уменьшится сток за время T. Среднее умень-

шение стока в единицу времени в период нарастания паводка будет равно $\Delta q = \frac{\omega t}{T}$. В период же спада паводка с уровня $t_1 + t$ до t_1, в течение времени T_1, расход стока увеличится в среднем на величину $\Delta q_1 = \frac{\omega t}{T_1}$.

После регулирования русла и ослабления затопления поймы найденное выше уменьшение стока Δq сократится или даже не будет иметь места и, следовательно, на эту величину возрастет расход стока (в период подъема паводка T) и соответственно повысится горизонт воды в нижнем течении реки ниже зоны регулирования; в период же спада паводка на величину Δq_1 уменьшится расход стока. Вследствие этого приток полых вод ниже регулированного участка будет более высоким, но менее продолжительным. Это может вызвать в нижнем течении реки (ниже зоны регулирования) увеличенные затопления поймы и отложение в ней песчаных и пылеватых наносов.

На основании изысканий и гидрометрических наблюдений можно найти величины ω, t, T и следовательно, определить Δq. Зная расход реки, размеры поперечного сечения и уклоны реки в нижней неурегулированной части ее, можно вычислить ожидаемый здесь подъем уровня воды, вследствие повышения расхода на величину Δq. А зная подъем уровня воды в реке ниже регулируемого участка, можно судить и о степени вреда этого подъема для прилежащих земель.

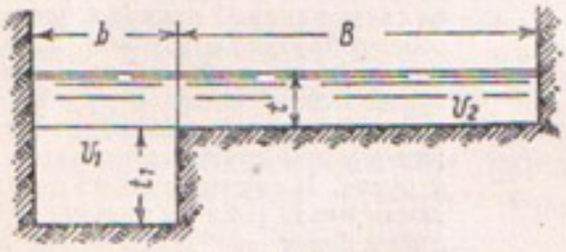


Рис. 365.

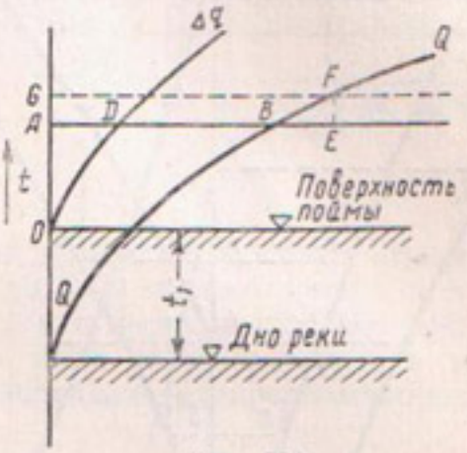


Рис. 366.

Решение задачи для разных значений t может быть сделано графическим методом. На основании нивелировки реки и наблюдений над стоянием уровня воды определяют для полых вод значения ω, t, T и вычисляют соответствующие значения Δq. Эти значения наносят на график (рис. 366) — как абсциссы по отношению к ординатам t (кривая OD). Для тех же уровней воды вычисляют расходы $Q = Q_1 + Q_2$ в неурегулированном русле и наносят на графике — как абсциссы для разных ординат t. На основании этого графика можно найти, какое повышение уровня воды в реке обусловливается регулированием русла при любом расходе полых вод. Например, если река несет расход полых вод $Q = AB$, в этом случае $t = OA$ и $\Delta q = AD$ и, следовательно, сечение реки (ниже урегулированного участка), пропускавшее ранее расход $Q = AB$, после регулирования должно будет пропускать расход воды, равный $AB + AD = AE$, где $AD = BE$. Этому расходу соответствует повышение уровня воды в нижней неурегулированной части реки, равное FE, так как $AE = FG$.

Зная из предварительных изысканий, насколько часто в нижележащие участки реки поступают такие расходы воды Q, можно судить, как часто повторяются соответствующие им подъемы воды в реке и вызываемые ими затопления прилежащей местности (ниже зарегулированного участка реки).

ВЛИЯНИЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ ВОДОПРИЕМНИКА НА ЗАТОПЛЕНИЕ ПОЙМ

При регулировании или обваловании реки водоприемника нужно осветить вопрос, на какой модуль стока с единицы водосборной площади q следует рассчитывать пропускную способность водоприемника, чтобы затопления поймы имели определенные допустимые размеры и продолжительность. Чем больше пропускная способность русла водоприемника Q, тем реже затопления, меньше их площадь и продолжительность, но выше стоимость регулирования.

Путем соответствующих изысканий должна быть установлена связь между величинами модуля стока данной реки q и соответствующими им горизонтами воды h, площадями ω и продолжительностью затопления поймы. Эти данные наносят на график (рис. 367), где на оси ординат показаны различные горизонты воды h в русле, а на оси абсцисс соответствующие им значения модуля стока q, их продолжительности t и площади затопления ω_0.

Из рисунка 367 видно, что затопления поймы начинаются при подъеме горизонта воды в реке выше уровня h_0, т. е. при модулях стока, превышающих q_0, причем площадь и продолжительность затоплений при разных значениях q, превышающих q_0, определяются кривыми ω_0 и t.

При регулировании реки русло ее будет пропускать расходы воды по большему модулю (q_1) без затопления поймы или при меньших горизонтах воды (h_0), чем до регулирования.

При регулировании реки и расчете отрегулированного русла по модулю q_1 пойма будет затопляться при подъеме горизонта воды в русле выше уровня h_1; площади затопления в этом случае, при подъеме уровня воды от h_1 до h_2, определятся следующим образом.

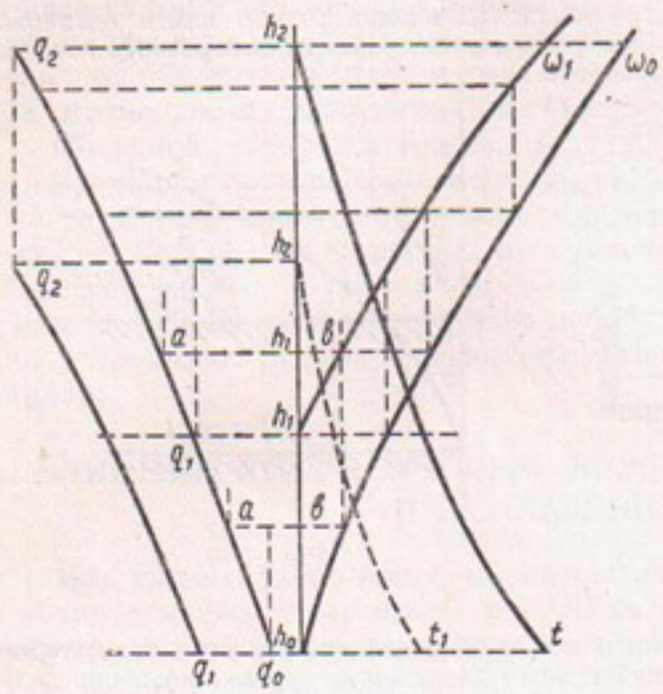


Рис. 367.

В те периоды, когда модуль стока равен q_1+a, часть стока (соответствующая a) не будет вмещаться в обвалованном русле и вызовет затопление поймы, причем площадь этого затопления будет такая же, какая была при стоке с модулем q_0+a (затопления не было при стоке с модулем q_0), т. е. будет измеряться абсциссой $в$. Откладывая эту величину $в$ против абсциссы q_1+a, получим одну из точек искомой кривой площади ω_1, соответствующую горизонту воды h', или модулю стока q_1+a. Таким же путем можно найти и другие точки искомой кривой площадей затопления ω_1, при других горизонтах воды в русле. В случае расчета регулирования русла реки по модулю стока q_1 пойма будет затопляться при модулях от расчетного q_1 до максимального q_2, при горизонтах воды в русле от h_0 до $[h_2-(h_1-h_0)]$, так как регулирование русла обеспечивает пропуск стока с модулем q_1 при горизонте воды в русле h_1 (вместо h_0). Площади затопления в этом случае могут определяться по кривой ω_1, а продолжительности затопления — по кривой t_1. Описанное построение может оказать помощь в установлении расчетного значения модуля стока для регулирования водоприемника, соответствующего определенным допустимым условиям продолжительности t и площадей ω затопления поймы.

Влияние спрямления реки-водоприемника на понижение горизонта воды в ней определяется следующим путем. Положим, что на данном участке реки до спрямления живое сечение потока при прохождении расчетного паводкового расхода Q составляло $\omega_1=\frac{Q}{v_1}$, где v_1 — скорость, отвечающая гидравлическому уклону I_1 до спрямления. После спрямления гидравлический уклон увеличивается до $I_2>I_1$, а средняя скорость до $v_2>v_1$; при прохождении того же расхода Q живое сечение потока будет равно $\omega_2=\frac{Q}{v_2}$, т. е. $\omega_2<\omega_1$. Зная размеры и форму живого сечения ω_2 спрямленного русла, можно определить глубину воды в нем h_2, которая будет меньше бывшей до регулирования h_1, так как:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1}=\frac{v_1}{v_2}$$

Для решения вопросов, связанных с проектированием работ по регулированию водоприемников, должны быть получены следующие данные: количество осадков и стока за ряд лет; характер водосбора: облесенность, свойства почвы, перспективы и возможности изменения стока; расходы водоприемника и горизонты стояния воды в нем в разные периоды времени с охватом крайних пределов колебаний. Особое значение имеет определение следующих горизонтов: низких вод, бытового, летних высоких и средних вод и высоких весенних вод. Для суждения о значении отдельных горизонтов воды должна быть построена кривая повторяемости их за ряд лет; для построения этой кривой вычисляют среднее за ряд лет число дней стояния различных горизонтов воды (0—20 *см*; 20—40 *см*; 40—60 *см* и т. д.) и затем по оси

абсцисс откладывают продолжительность стояния, а по оси ординат высоту соответствующего горизонта (рис. 368). Кривые показывают, сколько дней вода в реке стоит в пределах данного интервала горизонтов (сплошная кривая) и выше этого интервала горизонтов (пунктирная кривая). Наблюдения за стоянием уровня воды в реке должны вестись и после регулирования, чтобы можно было судить о действии его.

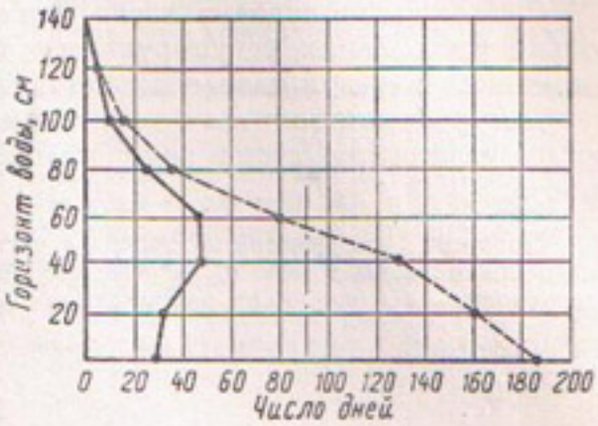


Рис. 368.

Для проектирования регулирования нужны также следующие данные: карта поймы, охватываемой регулированием реки, и площади, подверженные затоплению при разных горизонтах стояния воды в реке, подробная съемка реки со всеми сооружениями на ней; продольная и поперечная нивелировка реки — дна и зеркала воды; профиль зеркала воды, приведенный к одному дню и для разного стояния уровня воды — при высоком и меженном уровне; определения поперечных сечений реки и поймы. Должны быть сделаны съемка и нивелировка всей предохраняемой от затопления местности, подробное почвенное обследование ее, определение характера почв и растительности поймы, определение режима грунтовых вод, установление распространения наводнений и степени вреда их.

5. ПОНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ВОДОЕМОВ

Замкнутые водоемы (озера, пруды) могут служить водоприемниками осушительной системы лишь в том случае, если поступающий в них приток воды из осушительной сети не вызовет повышения горизонта воды в них выше допустимого нормального уровня; это зависит от соотношения притока с регулирующей емкостью водоема. Помимо недостаточной емкости причинами повышения уровня воды в водоемах выше нормального могут быть: 1) отсутствие достаточного испарения и стока воды из водоема по сравнению с притоком в него (например, в паводки); 2) отложение наносов, приносимых в водоем стекающими в него водами; 3) увеличение количества притекающих в водоем вод вследствие изменения гидрологических условий бассейна (например, обезлесения его) или спуска в него вод осушительной сети.

К понижению уровня воды в замкнутых водоемах приходится прибегать главным образом в районах избыточного или достаточного увлажнения (вполне обеспеченных водными источниками); оно делается: 1) при использовании водоема в качестве водоприемника; 2) в хозяйственных целях, когда высокое стояние воды в водоеме подтопляет или затопляет прилежащие земли, предназначенные для сельскохозяйственного использования; 3) в санитарных целях для оздоровления местности (уничтожение очагов развития малярийных комаров). Целесообразность понижения уровня водоема определяется его хозяйственной ценностью.

Водоемы осушаются обычно частично — спускается лишь часть воды и осушаются верхние периферические части водоема, а наиболее глубокая средняя часть остается под водой; реже водоемы осушаются полностью, т. е. освобождается от воды вся затопленная площадь. Первый случай, т. е. понижение уровня воды в водоеме, обеспечение надлежащего стока воды из него, уравновешенного с притоком (а не полное осушение), является более надежным по следующим причинам. Во-первых, сельскохозяйственное использование дна озер и водохранилищ не всегда возможно и, во всяком случае, должно делаться после соответствующих мелиораций (почвы дна

старых водоемов могут содержать вредные закисные соединения, семена сорных растений и требуют аэрации). Во-вторых, водоемы являются регуляторами стока поверхностных вод — умеряют половодья и повышают меженный сток, растягивая период стока полых вод. Это важное свойство водоемов с уменьшением их объема утрачивается.

Сток воды из водоема после осушения его увеличивается вследствие не только уменьшения регулирующего объема, но и усиления притока грунтовых вод, в результате снижения горизонта воды в водоеме.

Для решения вопроса о том, как влияет понижение уровня воды в водоеме на увеличение стока воды из него, может быть применен следующий способ.

Положим, что средние за период t час. элементы водного баланса водоема составляют: приток воды в него q_m $м^3/час$; сток из водоема $-S_m$ $м^3/час$, испарение с водной поверхности $-e$ $м/час$. Если накопляющая воду поверхность водоема в рассматриваемый

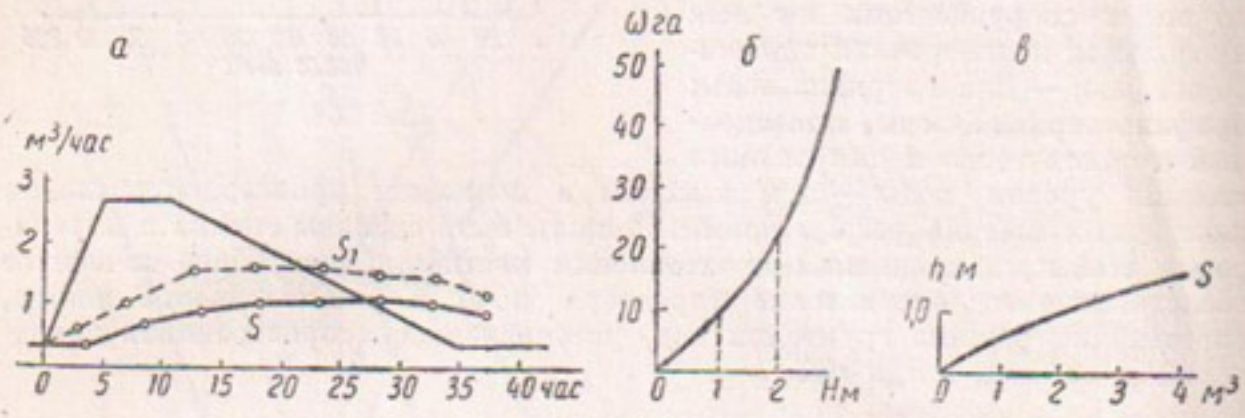


Рис. 369.

период составляет ω_m $м^2$, то повышение или понижение уровня воды в водоеме h $м$ за период t час. определится из условия:

$$\omega_m h = (q_m - S_m - e\omega_m)\, t,$$

откуда получим:

$$h = (q_m - S_m)\frac{t}{\omega_m} - et.$$

Величина h не может быть вычислена непосредственно, так как S_m и ω_m зависят от h и определять ее можно путем постепенных приближений.

Исследование ведется следующим образом: во-первых, должна быть построена кривая притока воды q (на основании наблюдений и вычислений) в период паводка, разделенная на определенные промежутки времени; она изображена на рисунке 369, *а*; во-вторых, на основании промеров глубины водоема должна быть построена кривая зависимости зеркала воды водоема ω (в гектарах) от глубины H; она изображена на рисунке 369, *б*.

Затем на основании наблюдений или вычислений должна быть построена кривая ΔS приращений стока воды из водоема сверх его установившегося состояния (когда $q=S$), в зависимости от повышения уровня воды в водоеме $\Delta H = h$ по сравнению с уровнем установившегося состояния; эта кривая изображена на рисунке 369, *в*. Она строится на основании определений расходов воды в потоке, отводящем воду из водоема, при разных глубинах воды в нем.

Рассмотрим пример. При установившемся уровне воды в водоеме $H=2$ $м$, когда $q=S=0{,}3$ $м^3/час$, площадь зеркала воды по кривой рисунка 369,*б* составляет 22 *га*. За первые 5 часов паводка приток воды увеличился от $q=0{,}3$ до $q=3$ $м^3/час$; следовательно, $q_m = 0{,}5(0{,}3+3{,}0) = 1{,}65$ $м^3/час$. Положим, что это вызовет повышение уровня воды в водоеме за первые 5 часов паводка на $h=0{,}10$ $м$. Тогда по кривой рисунка 369,*б* находим, что площадь водного зеркала увеличится с 22 до 24 *га*, т. е. $\omega = 0{,}5\,(22+24) = 23$ *га*. По кривой рисунка 369, *в* находим, что при $h=0{,}10$ $м$ сток из водоема $S = 0{,}3+0{,}2 = 0{,}5$ $м^3/час$, т. е. средний сток за первые 5 часов паводка будет равен $S = 0{,}5(0{,}3+0{,}5) = 0{,}40$ $м^3/час$. Согласно вышеприведенной формуле (при $e=0{,}0004$ $м/час$) получим:

$$h = (1{,}65 - 0{,}40)\frac{5 \cdot 3600}{23 \cdot 10\,000} - 0{,}0004 \cdot 5 = 0{,}096 \text{ м},$$

т. е., задаваясь величиной $h=0{,}10$ $м$, мы довольно близко подошли к действительности; для получения окончательного значения h надо сделать второй пересчет, приняв уже

$h=0{,}096$. Величина стока $S_m=0{,}40$ *м³/час* наносится на рисунок 369, *а* как средняя ордината стока для первого периода паводка 5 часов.

Таким же путем поступают и для остальных промежутков времени, и находят всю кривую стока воды из водоема в период паводка, изображенную на рисунке 369,*а* кривой S. Максимум стока, как видно из этого рисунка, равен 1,2 *м³/час* и наступает спустя $26^1/_2$ часов после начала поводка.

Характерно, что кривая притока воды в водоем q пересекает кривую стока воды из него — кривую S в ее вершине; после этого момента сток превышает приток, т. е начинается понижение уровня воды в водоеме.

Положим, что уровень воды в водоеме значительно понижен и при установившемся состоянии, когда $q=S=0{,}3$ *м³/час*, площадь зеркала воды стала равна $\omega=9$ *га*, вместо прежних 22 *га*. Определим в этом случае, какую форму примет кривая изменения стока воды из водоема при том же самом притоке. Применяя изложенный ход вычислений, получим в результате кривую S_1, которая и изображена на рисунке 369, *а* пунктиром. Как видим, максимум стока воды из водоема будет иметь величину 1,8 *м³/час*, т. е. на 50% больше, и наступит через 21 час после начала паводка, т. е. на $5^1/_2$ часов раньше, чем в первом случае, до понижения уровня воды в водоеме.

Имея кривую стока и зная зависимость стока от повышения уровня воды (кривая рисунка 369, *в*) нетрудно построить кривую изменений уровня воды в водоеме в период паводка.

Определив по изложенному способу увеличение стока воды из водоема при понижении уровня воды в нем, нужно проверить, в состоянии ли русло потока пропускать увеличенный расход воды из водоема. В противном случае необходимо увеличить пропускную способность русла.

Изложенный способ может быть применен и к другим затопляемым площадям, чтобы определить то влияние, какое оказывает устранение затопления на кривую полых вод в реке.

Если сток воды из водоема недостаточен и не может быть увеличен, то не следует отводить все воды с водосборной площади через водоем, а лучше перехватить эти воды нагорными каналами и отвести отдельно. Это позволяет, в случае надобности, орошать отведенными водами прилежащие к водоему краевые полосы земли.

При проектировании понижения уровня воды в водоемах надо учитывать происходящее под влиянием этого понижение уровня грунтовых вод на прилежащих к водоему землях, которое сказывается тем сильнее, чем больше водопроницаемость почвы. Понижение грунтовых вод, создавая на заболоченных ранее участках благоприятные условия, на других участках, ранее нормально увлажненных, может вызвать пересушку почвы.

Уровень воды в водоеме может быть понижен спуском определенного количества воды из водоема и углублением дна водоема в случаях сильного его заиления.

Отвод или спуск воды из водоема может быть сделан тремя способами:

а) углублением уже имеющегося русла (реки или ручья), выводящего воду из водоема, или же созданием нового водоотводного канала, прорезывающего возвышенный берег; в обоих этих случаях приходится делать достаточно глубокие выемки;

б) закладкой специального трубопровода или туннеля, прорезывающего высокий берег водоема. Так как трубопровод может быть значительной длины, то очень важно защищать его от засорения, поэтому уклон его должен быть около 0,005—0,01. Входное отверстие в трубу должно быть защищено решеткой от попадания мусора, и перед ним должен быть устроен осадочный бассейн для отложения песчаных наносов; этот бассейн делается в виде расширенного канала. Для очистки длинной трубы или туннеля от наносов устраивают смотровые колодцы или шахты, идущие от верха трубы до поверхности земли.

Входное отверстие в водоотводную трубу или открытый канал должно быть закрыто шлюзами, чтобы можно было регулировать сток воды из водоемов во время засух или в других целях и промывать трубопровод;

в) механической откачкой воды, применяемой в тех случаях, когда вода из водоема не может быть спущена самотеком.

При расчете мощности водоподъемных станций надо считаться с увеличением стока воды из водоема при понижении уровня воды в нем, как это было отмечено выше.

Самотечный спуск воды (открытый канал) по сравнению с закрытой трубой позволяет: 1) расширить размеры отводного русла, если они окажутся недостаточными вследствие увеличения стока, при уменьшении регулирующей емкости водоема и 2) углубить подошву отводного русла, если это потребуется вследствие значительной осадки почвы дна водоема после его осушки.

Однако открытый способ водоотвода иногда связан с очень глубокими выемками, делающими его неприемлемым; в этом случае приходится прибегать ко второму способу.

Механическая откачка позволяет избежать сложных, дорогостоящих гидротехнических работ, необходимых при самотечном спуске воды, и иногда оказывается более подходящей.

Углубление или расчистка дна водоема применяется главным образом в прудах и озерах; эту работу выполняют обычно землесосами; хорошие результаты дают плавучие землесосные установки системы А. М. Царевского и Б. И. Пугавко (4ПЗУ, 6ПЗУ, 8ПЗУ). Они дают производительность по выемке грунта от 25 до 100 $м^3/час$ в зависимости от мощности (от 20 до 150 *л. с.*), при глубине сосуна от 3 до 6 *м* и при консистенции гидросмеси 0,10—0,13.

При полном спуске воды освобожденное дно водоема должно быть осушено открытыми каналами или дренажем; осушка должна быть сделана достаточно интенсивно, так как почвы дна водоемов, как уже было указано, нуждаются в хорошей аэрации. После осушки необходима глубокая вспашка верхнего слоя почвы и оставление его в пластах на 1—2 зимы для основательного промерзания и проветривания. После этого требуется обработка почвы под пар и боронование для окисления почвы и уничтожения всходов водных растений. Перед культивированием ложа осушенного водоема почву нужно тщательно исследовать, определив при этом пригодность ее для выращивания на ней растений. Должны быть проведены соответствующие мелиорации почвы по улучшению ее химических и физических свойств (внесение извести, мергеля, гипса и др., смотря по составу почвы).

Глава шестнадцатая

ОСУШЕНИЕ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОДЪЕМОМ ВОДЫ

Когда подлежащая мелиорации площадь представляет низменность, избыточные воды с которой не могут быть в нужный срок отведены в водоприемник самотеком в силу удаленности или высокого стояния воды в нем, приходится прибегать к механическому подъему воды из осушительной сети и перекачке ее в водоприемник или в канал, по которому вода самотеком может поступать в водоприемник.

1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ОБЩИЕ СХЕМЫ

Подъем воды обходится относительно дорого, а потому к нему прибегают в осушении в тех случаях, когда удаление воды самотеком, включая и регулирование водоприемника и обвалование, технически неосуществимо или не оправдывается экономически. При механическом подъеме воды должны быть приняты меры к уменьшению количества перекачиваемой воды; нужно возможно большее количество воды с осушаемой площади отводить самотеком. Для этой цели применяются: 1) защита осушаемой низменности от затоплений со стороны водоприемника; 2) устройство нагорных и разгрузочных каналов, перехватывающих и отводящих в водоприемник самотеком все воды, притекающие с вышележащей водосборной площади; 3) обвалование всех водотоков, проходящих через данную низину, и самостоятельный спуск их в водоприемник самотеком, помимо водоподъемной станции. Эти меры повышают капитальные затраты на мелиорацию, но уменьшают количество откачиваемой воды, эксплуатационные расходы и стоимость водоподъемной станции.

Выпускные шлюзы в дамбах, которыми ограждается осушаемый участок, устраиваются близ водоподъемной станции, чтобы при низком уровне воды в водоприемнике можно было спускать воду самотеком. Шлюзы снабжаются затворами, чтобы можно было регулировать количество спускаемой воды или при надобности впускать воду из водоприемника.

Для внутренней осушки площади служит сеть каналов или дрен; глубина и расстояния между ними определяются в зависимости от характера использования осушаемой площади и свойств ее почв. Каналы должны иметь возможно минимальные уклоны (до 0,0005), чтобы уменьшить высоту подъема воды.

Однако уменьшение уклона снижает скорость течения воды и пропускную способность каналов; чтобы сохранить постоянство пропускной способности осушительной сети при меньшем уклоне ее, приходится увеличивать ширину каналов по дну, но это повышает объем и стоимость осушительной сети.

Кроме того, уменьшение уклона и скорости воды в каналах влечет возможность заиления и зарастания и постоянную очистку их; поэтому

уменьшение уклона целесообразно только до известной степени. С уменьшением уклона сети снижаются высота подъема и стоимость насосов, но увеличивается стоимость осушительной сети и ее ежегодной эксплуатации.

Так как сток воды осушительной сети изменяется в зависимости от колебания гидрологических факторов, *то работа водоподъемной станции оказывается очень неравномерной. Чтобы уменьшить эту неравномерность, перед водоподъемным сооружением устраивается достаточной емкости водосборный резервуар*, в который и впадает главный осушительный канал, причем для устройства резервуара используют, по возможности, естественные низины, или же *увеличивают регуляционную емкость осушительных каналов*, чтобы они могли вмещать избытки воды без значительного повышения горизонта. Применение этих мер позволяет уменьшить мощность и стоимость водоподъ-

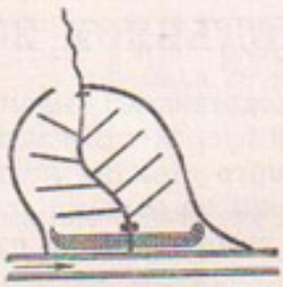


Рис. 370.

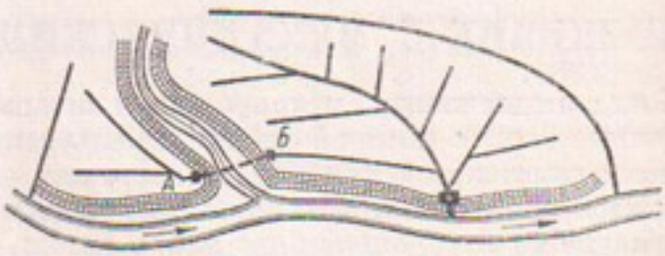


Рис. 371.

емной станции, но зато вызывает расходы на устройство резервуара или увеличение объема осушительных каналов. Поэтому при проектировании надо сравнить оба варианта осушения — с резервуаром и без него.

Схема осушения с механическим подъемом воды показана на рисунке 370.

С низовой стороны подлежащая осушению площадь ограждается дамбами со шлюзами для выпуска воды в соответствующих местах. От притока с верхних частей водосборного бассейна осушаемый участок защищается нагорными и разгрузочными каналами, которые опоясывают участок и выводятся в водоприемник ниже обвалованной площади, чтобы расход воды в них не сказывался на притоке к насосной станции. Так как нагорный канал идет высоко, то он не подтопляется водоприемником. Участок осушается сетью каналов, причем магистральный канал подводит воду прямо к водоподъемной станции или лучше в особый резервуар, из которого вода и откачивается. Перекачиваемая через дамбу вода поступает в отводный канал, идущий от водоподъемной станции к водоприемнику.

Пересекающие низменность речки обваловываются, и отдельные участки осушаются особыми или одной общей водоподъемной станцией. Схема расположения сооружений для второго случая показана на рисунке 371, где $АБ$ — дюкер.

Воды, стекающие с водосбора, лежащего за пределами непосредственно осушаемой низменности, могут удаляться тремя способами: 1) перехватыванием нагорными каналами; 2) пропуском самотеком через осушаемую низменность по обвалованному руслу или каналу, как это показано на рисунке 371, 3) впуском в обвалованную низменность с перекачкой водоподъемной установкой.

Первый способ применяется наиболее часто и более дешев; второ м пользуются главным образом при узкой и вытянутой по длине реки форме осушаемой низменности. Третий способ обычно наиболее дорогой, применяется только в исключительных случаях, когда два первых способа неприемлемы.

Водоподъемная станция располагается, по возможности, в самом низком месте участка, где магистральный канал пересекает дамбу, рядом с выпуск-

ным шлюзом. И станцию и шлюз следует располагать возможно ближе к реке, чтобы сократить длину внешнего отводного канала, во избежание повреждения его рекой (льдом, водой) и занесения песком.

Иногда осушаемая низменность разделяется на несколько (2—4) частей, и каждая часть обслуживается отдельной водоподъемной станцией.

Достоинством устройства одной станции является то, что подъем 1 $м^3$ воды при крупных станциях обходится обычно дешевле, и стоимость постройки и эксплуатации одной более мощной насосной станции дешевле, чем нескольких малых станций с той же общей мощностью.

Недостатки откачки всей воды одной станцией заключаются в следующем: 1) необходим длинный и большого сечения главный осушительный канал, так как при одном канале нужно всю воду верхней части низменности провести через нижнюю ее часть; 2) при незначительных уклонах низменности, когда главному каналу приходится давать искусственный уклон, удлинение его ведет к заглублению канала у водоподъемной станции, удорожает стоимость его и увеличивает необходимую мощность машин; 3) меньшая гибкость регулирования водного режима на осушаемой низменности.

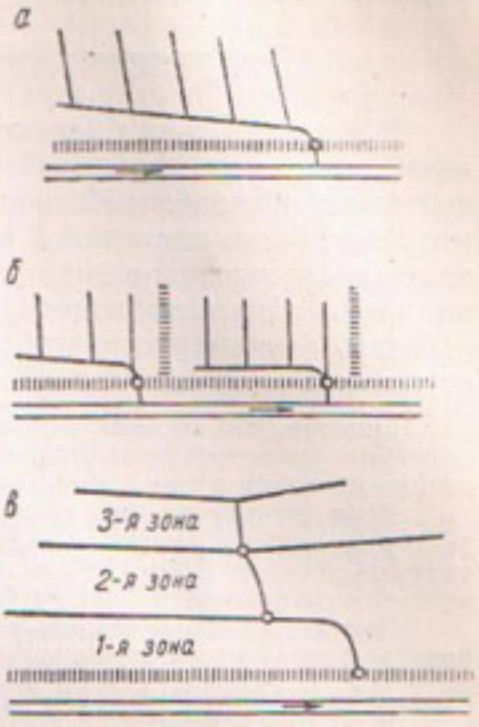


Рис. 372.

Устройство нескольких насосных станций удорожает стоимость и эксплуатацию станций, но зато позволяет уменьшать длину и размеры осушительных каналов, увеличивает равномерность осушения и иногда снижает приток фильтрационных вод. Все это должно быть учтено в каждом конкретном случае при выборе варианта одной (рис. 372, *а*) или нескольких станций (рис. 372, *б* и *в*).

Самое разделение осушаемой обвалованной низменности между несколькими станциями может быть двояким: а) низменность разделяется на отдельные участки, однотипные по высоте (рис. 373, *а*), б) низменность разделяется на последовательные зоны по высоте подъема воды (рис. 373, *б*).

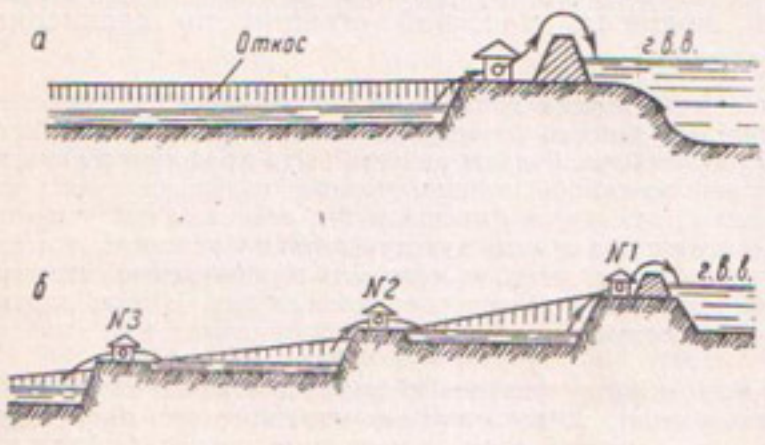


Рис. 373.

Вариант, изображенный на чертежах 372, *б* и 373, *а* применяется при ровном рельефе местности; при этом получаются короткие магистральные каналы меньшая потеря высоты на уклоне, по сравнению с зональным вариантом, и меньшая высота качания воды. Однако при этом варианте работа насосных станций более неравномерна, чем при зональном варианте.

Разделение осушаемой низменности на вертикальные зоны (рис. 372, *в* и рис. 373, *б*) применяется в тех случаях, когда на значительном протяжении местность постепенно повышается к реке. В этом случае устройство одной станции у реки требует глубокого магистрального канала, особенно в его нижней части, что удорожает стоимость и создает неравномерность водного режима. Число зон и насосных станций определяется на основании технико-экономического сравнения отдельных вариантов; например, если не делать станции № 3, нужно углубить канал на протяжении от станции № 3 до станции № 2 и т. д.

Зональный вариант позволяет в периоды низкого стояния уровня воды в водоприемнике выключить из работы верхнюю станцию № 1, так как вода из верхнего канала может быть отведена самотеком. Работа нижних насосных станций (№ 2 и № 3) не связана с колебаниями горизонта воды в водоприемнике и потому более равномерна.

2. РЕЗЕРВУАРЫ И МОЩНОСТЬ УСТАНОВКИ

Резервуары перед водоподъемной станцией (иногда их заменяют увеличением емкости осушительной сети или допускают некоторое затопление нижней части обвалованной площади) позволяют уменьшить мощность станции и сделать более постоянной ее работу, несмотря на колебания стока и горизонта воды в водоприемнике. Объем резервуара должен быть таков, чтобы во время закрытия водоспускных шлюзов водоподъемные машины могли работать равномерно и чтобы поступающая в резервуар вода не подтопляла осушаемой площади.

Положим, что высокий горизонт в водоприемнике стоит в течение t дней. В течение этого времени водоспускные шлюзы должны быть закрыты и весь приток воды откачиваться механическим путем.

Если резервуара нет, то производительность (в единицу времени) водоподъемных установок должна равняться наибольшему притоку воды с осушаемой площади и будет колебаться вместе с ним. При наличии же резервуара мощность водоподъемной установки может быть сделана меньше и более равномерной.

Пусть средний паводковый сток определенной обеспеченности в течение периода паводка t дает со всей осушаемой площади ω расход $q\omega$; тогда за время t поступит объем воды $q\omega t$, который и должен быть перекачен водоподъемной станцией.

Если производительность станции составляет Q, причем Q меньше среднего стока паводковых вод $q\omega$, *то объем воды, равный* $V=(q\omega-Q)\,t$, *должен вмещаться в резервуаре или будет затоплять нижнюю часть обвалованной территории.*

Зная объем затопления V (если нет резервуара) в конце паводкового периода t и рельеф осушаемой площади, по связи $H=f_1(V)$ и $\omega=f_2(H)$ можно определить площадь затопления ω_1 в конце периода t, отвечающую объему V и, следовательно, связанный с этим ущерб. Чем больше производительность насосной станции Q (при определенном $q\omega$), тем больше ее мощность и стоимость, но зато тем меньше объем $V=(q\omega-Q)t$, т. е. меньше размеры затопляемой площади ω_1, а при наличии резервуара тем меньше емкость и стоимость его. На основе этих соображений можно установить нужную производительность насосной станции Q при данных местных условиях и емкость резервуара.

Что касается расчетной величины паводкового стока $q\omega$, то чем она выше, тем больше должна быть мощность насосной станции, емкость и стоимость резервуара, но тем реже затопления площади и меньше размеры их, поэтому указанная величина выбирается с учетом не только гидрологических, но и хозяйственных условий.

Так как $Q=q\omega-\frac{V}{t}$, то устройство резервуара или допущение затопления позволяет уменьшить мощность насосной станции по сравнению с максимальным расходом паводка.

Емкость резервуара при насосной станции должна быть проверена на суточный паводковый модуль стока. Чем больше емкость резервуара, тем меньше может быть мощность водоподъемной станции, но зато тем больше должна быть продолжительность работы машин. Поэтому мощность водоподъемной станции должна сообразоваться с характером использования подверженной затоплению площади и с временем наступления паводков. Если низменность используется под ценные культуры или паводки имеют место в летнее время (июнь-август) перед уборкой урожая, то мощность водоподъемной станции должна быть больше и ближе соответствовать расходу паводковых вод. В этом случае стоимость станции увеличивается, но уменьшаются убытки от затопления или емкость резервуара.

Если положение горизонтов воды в водоприемнике таково, что откачка воды должна производиться и при пониженном стоке, то насосная станция, имеющая производительность Q (причем $Q>q_0\omega$, где $q_0\omega$ — средний сток за меженный период t_0), должна работать частью своих агрегатов или же с перерывами.

Продолжительность работы насосной станции t_1 с расходом Q в течение периода t_0 должна быть равна $t_1=\frac{t_0\omega q_0-V_0}{Q}$, где V_0 — емкость, соответствующая допустимой площади затопления в меженный период или объем заполнения резервуара.

Таким образом, устройство резервуаров позволяет уменьшить мощность насосной станции и избежать затопления обвалованной площади. Роль регулирующего резервуара иногда может играть увеличенная емкость осушительных каналов.

Особенно необходимы резервуары в том случае, когда водоподъемные станции имеют ветровые двигатели. В период откачки ветровой двигатель может работать лишь в те дни и часы, когда есть ветер достаточной силы, в остальное же время стекающая с осушаемой площади вода поступает в резервуар, откуда и откачивается при ветре. Ввиду низкой стоимости ветровая энергия может с успехом применяться при механическом подъеме воды с небольших осушаемых площадей.

Глубина резервуара должна быть такова, чтобы горизонт воды в нем при паводках не превышал допустимых уровней стояния воды в осушительной сети. А эти уровни (и, следовательно, время и мощность откачки) зависят от характера осушаемых угодий и от времени года. Желательно также, чтобы уровень воды в резервуаре допускал хотя бы частичное его опоражнивание самотеком.

Для осаждения ила дно резервуара должно быть на 0,5—1 *м* ниже дна осушительного канала в месте впадения его.

При расчете водоподъемной станции необходимо иметь многолетние данные о режиме водоприемника (колебания горизонта воды в нем) и сведения о нужном понижении грунтовых вод на различных угодьях осушаемой площади в разные периоды. Сопоставляя эти данные, нетрудно установить и периоды нужной откачки и ее продолжительность в каждый период. Общая продолжительность откачки — время работы водоподъемной установки — составляет обычно небольшую (15—30%) часть времени года, так что число рабочих дней установки составляет от 50 до 120 в году. Рабочие дни установки распределяются по времени года в зависимости от местных гидрологических и сельскохозяйственных условий: в начале весны установка должна работать почти непрерывно, чтобы осушить почву и подготовить ее к обработке и посеву; затем она работает все с бóльшими перерывами, а в течение летнего вегетационного времени — только после выпадения сильных дождей, сказывающихся на повышении грунтовых вод, так как в остальное время влага расходуется на испарение с поверхности почвы и растениями. Осенью, после уборки урожая, и зимой установку обычно приходится включать в работу сравнительно редко.

Однако при соответствующих условиях зимняя работа водоподъемных станций оказывается очень важной, так как позволяет обеспечить значительное понижение грунтовых вод и разгрузить усиленную работу станций весной (откачка воды к моменту посева) и поддерживать нужный водно-воздушный и микробиологический режимы в почве для накопления усвояемых питательных веществ.

Определить продолжительность и глубину откачки в разные периоды удобнее всего графически. Для этого вычерчивается: 1) кривая стояния воды в водоприемнике в определенные периоды для разных лет (с высоким, средним и низким уровнями воды), 2) линия стояния воды в резервуаре у водоподъемной станции в те ее периоды (сообразно требуемому уровню воды в осушительной сети). Сопоставлением этих двух кривых устанавливаются те сроки, в течение которых вода не может отводиться в водоприемник самотеком, а также нужная высота подъема воды.

Для расчета необходимой мощности водоподъемной станции надо взять наиболее короткий период откачки и наибольшую высоту подъема воды. Таким обычно является весенний период, когда нужно в короткий срок отвести все воды, скопившиеся к этому времени за зиму, так как затопление весной при низкой температуре очень вредно, или же период летних паводков, особенно перед уборкой урожая, когда затопление может погубить урожай.

Надо заметить, что исключительно высокие, но кратковременные паводки на реке могут и не приниматься в расчет, если притекающая в эти периоды вода может поднять уровень воды в осушительной сети на короткое время.

Установив определенную продолжительность периода откачки t, нетрудно по вышеизложенному определить расчетный расход насосной установки Q и емкость резервуара.

По топографическому плану можно найти кривую зависимости между объемами наполнения резервуара и горизонтами стояния воды в нем $H=f(V)$.

Вычисляя объемы воды, накопляющиеся в резервуаре от начала закрытия водоспускных шлюзов к каждому моменту времени, равные $(q\omega-Q)t'$, где $q\omega$ — приток воды в резервуар, нетрудно определить [по графику $H=f(V)$] высоту уровня воды в резервуаре и, следовательно, высоту откачки для каждого момента времени t', как разницу го-

ризонтов воды в водоприемнике и резервуаре. Наибольшая разница даст расчетную величину статического напора H (он обычно колеблется в осушительных установках от 1 до 4 *м*). Значение динамического напора равно $H_0 = H + h_1 + h_2 + h_f$, где h_1 —потеря напора при входе воды во всасывающую трубу, h_2—при выходе воды в конце нагнетательной трубы, h_f — потери на трение в трубах, в коленах, клапанах и т. п. Значения этих потерь напора даются в гидравлических справочниках.

Нужная мощность установки равна:

$$N = \frac{Q\gamma H_0}{75\eta}$$

где η—коэффициент полезного действия установки, равный от 0,50 до 0,75 [1].

Так как в течение года расход откачиваемой воды изменяется в довольно значительных пределах, то при больших размерах установки общую производительность ее приходится разделять между несколькими водоподъемными агрегатами меньшей мощности, что особенно важно при отсутствии регулирующего резервуара.

Число агрегатов зависит от величины общей максимальной мощности и средней производительности установки, при которой ей приходится работать больший срок времени. Часто принято распределять общую мощность насосов таким образом: при двух насосах один насос мощностью в два раза больше другого; при трех насосах — все одной мощности.

Так как нагрузка и напор осушительной установки часто меняются, то предпочтительнее иметь машины, которые позволяют легче регулировать число оборотов с изменением нагрузки (при увеличении нагрузки или напора надо повышать число оборотов насоса, чтобы сохранить высокое значение к. п. д.).

Подлежащие откачиванию количества воды слагаются из вод поверхностного и внутреннего стока данной осушаемой площади и вод фильтрационных, просачивающихся в обвалованную низменность через дамбы из водоприемника в периоды высокого стояния воды в нем.

Количество вод поверхностного стока, на которое должна рассчитываться осушительная сеть при механическом подъеме воды, может быть определено по изложенным выше методам. Однако при интенсивном сельскохозяйственном использовании осушаемой площади надо учитывать необходимость отвода в определенный нужный срок, сообразно характеру использования всей воды, скопляющейся в обвалованном пространстве за период весеннего или летнего паводка. Воды летних паводков нужно удалять на лугах не больше чем в 1—2 суток, а на полях — за несколько часов; расчетное значение модуля стока составляет при этом 1—1,2 *л/сек* с 1 *га*.

Количество инфильтрационных вод, поступающих в паводки из реки или водоема на обвалованную площадь, зависит от напора H, т. е. разницы уровней внешних и внутренних вод, фильтрационных свойств грунта, глубины залегания водоупора и мощности фильтрационного потока. Оно может быть определено по методам расчета фильтрации через земляные дамбы (акад. Н. Н. Павловского и других авторов).

Количество фильтрационных вод под дамбами, по имеющимся наблюдениям, составляет от 8 до 40 *л/сек* на 1 *км* длины дамбы и на 1 *м* напора воды (в зависимости от водопроницаемости грунта).

Так как максимальный поверхностный сток с осушаемой площади в паводок не совпадает с максимальным притоком фильтрационных вод, при определении расчетного расхода насосной станции берут наибольшую величину из двух: 1) максимальный приток фильтрационных вод плюс средний паводковый сток или 2) максимальный паводковый сток вод плюс половина максимального притока фильтрационных вод.

Суммарный модуль стока, на который приходится рассчитывать мощность водоподъемной установки, составляет от 1,3 до 1,8 *л/сек* с 1 *га* (при размерах осушаемой площади не больше 1000 *га*).

---

[1] Более детальное рассмотрение вопроса см. М. М. Флоринский. Насосы и насосные станции. СХГ, 1959.

3. ВИДЫ ВОДОПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Водоподъемная станция располагается в нижней части осушаемого участка. Площадка станции не должна затопляться в паводки и должна быть расположена не ниже горизонта средних вод водоприемника. Если станция расположена ниже уровня внешних вод, то в нагнетательных трубах необходимо устройство задвижек, предохраняющих от вытекания воды обратно при остановке работы станции. Станция располагается обычно с внутренней стороны дамбы, возможно ближе к ней или на самой дамбе, чтобы уменьшить длину нагнетательных труб. Магистральный канал у станции кончается резервуаром, о котором говорилось выше. Очень важное значение при выборе месторасположения станции имеет прочность грунта, служащего для нее основанием; например, на рисунке 374 показана станция, в основании которой залегают слабые грунты; поэтому насос здесь установлен на плите, опирающейся на железобетонные сваи. Толщину плиты определяют расчетом в зависимости от нагрузки.

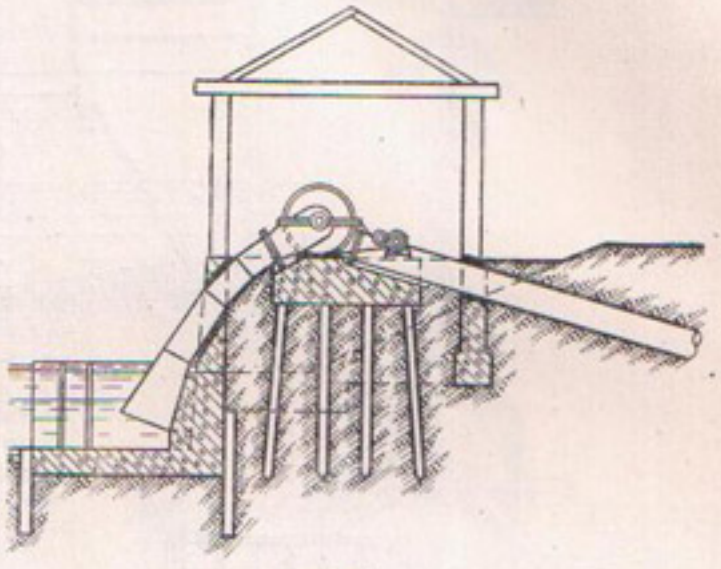


Рис. 374.

Головы деревянных свай нужно располагать ниже постоянного уровня воды, во избежание гниения свай. В некоторых случаях по периметру здания станции забивают шпунтовые стенки.

Вблизи водоподъемной станции располагают и спускные шлюзы или трубы, предназначенные для отвода воды самотеком при низком стоянии воды в водоприемнике.

Для откачки воды при осушении часто приходится поднимать загрязненную наносами и осадками воду, поэтому машины с клапанами непригодны.

В настоящее время при осушении применяются преимущественно центробежные, пропеллерные и винтовые насосы низкого давления; они работают и при значительных колебаниях уровня воды, требуют сравнительно небольших затрат и действуют надежно; применяются как вертикальные, так и горизонтальные центробежные насосы.

При подъеме больших количеств воды на небольшую высоту, что часто может иметь место при осушении, применяется упрощенная конструкция горизонтальных центробежных насосов, в которой камера насоса как таковая отсутствует и ее заменяет приемная камера всей установки, в которой непосредственно и помещается открытое лопастное колесо насоса (рис. 375 и 376).

В таких установках нет ни всасывающих, ни нагнетательных труб, которые заменяются непосредственно водоприводным и водоотводным каналами.

Дно всасывающей камеры должно лежать ниже конца горизонтально срезанной всасывающей трубы на 1,5 диаметра отверстия трубы; для вертикально срезанной трубы глубина камеры должна быть на 0,9 *м* больше диаметра отверстия. На дне приемной камеры следует устраивать грязевик.

Выходной конец нагнетательной трубы необходимо расширить, чтобы скорость вытекания воды была не больше 1,2—1,5 *м/сек*.

Водоподъемные установки различаются, во-первых, по расположению их на дамбе и, во-вторых, по высоте насоса относительно уровня высоких вод.

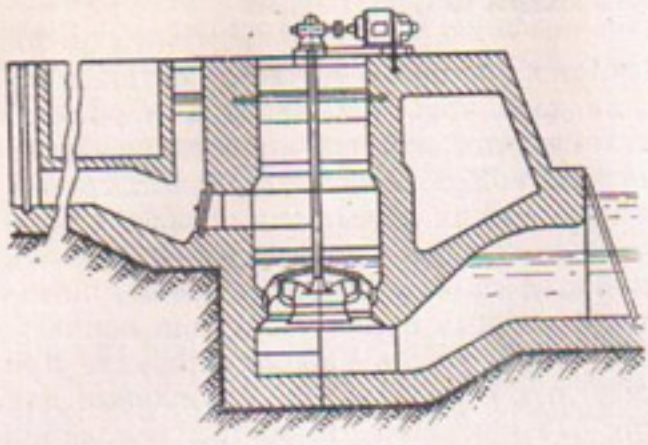


Рис. 375.

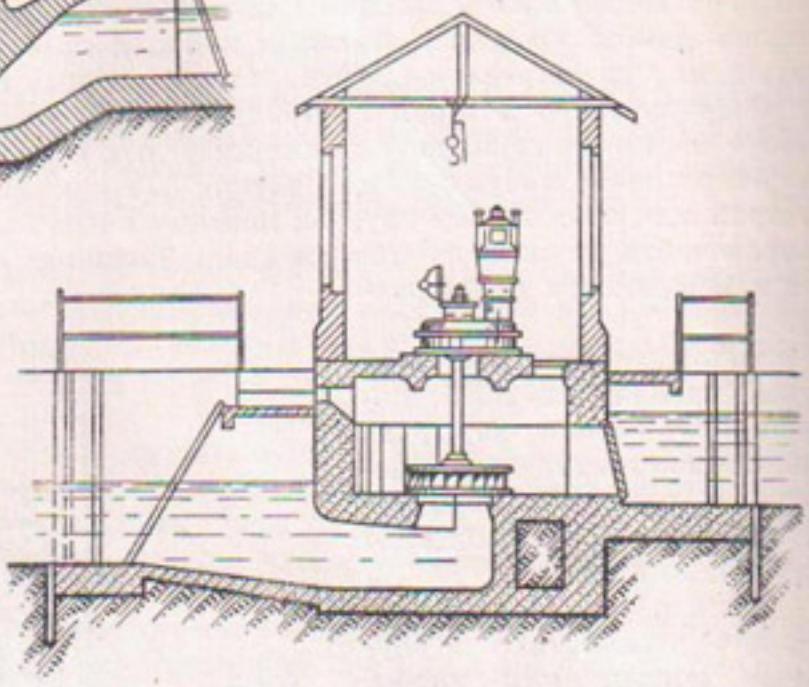


Рис. 376.

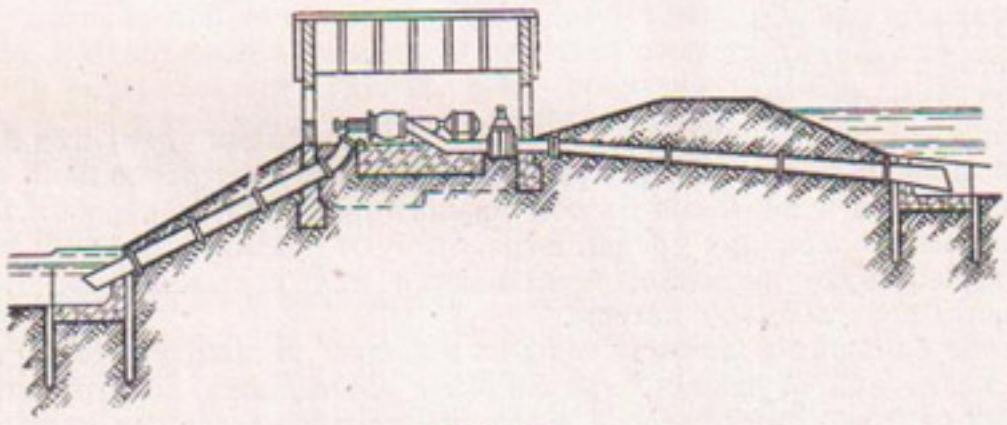


Рис. 377.

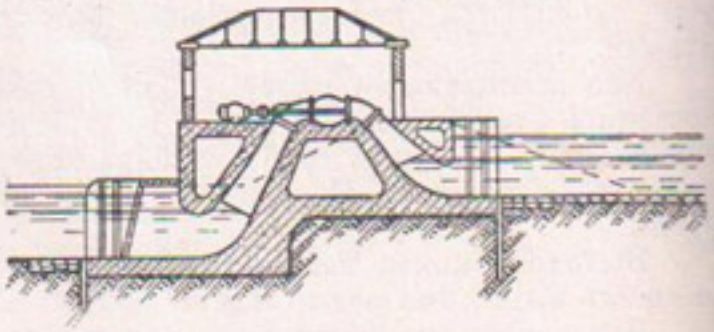


Рис. 378.

1. По расположению на дамбе различают:

раздельные станции, не входящие в поперечный разрез дамбы и построенные отдельно (за дамбой или впереди нее) (рис. 377);

объединенные станции, когда внутренний бьеф, машинное отделение и внешний бьеф соединены конструктивно в одно сооружение, входящее в самое тело дамбы (рис. 378).

2. По расположению насоса и отношению к уровню воды различают:

подводные установки — здесь рабочее колесо насоса погружено в воду нижнего бьефа при самых низких горизонтах (рис. 375); этот вид установки применяется при объединенных станциях;

сифонные установки — здесь рабочее колесо находится выше уровня высоких вод верхнего бьефа, так что вода и при остановке насоса не может стекать обратно в нижний бьеф (рис. 378). Этот вид установки применяется обычно при раздельных станциях.

Каждый из перечисленных видов установок имеет свои достоинства и недостатки, которые и следует иметь в виду при проектировании.

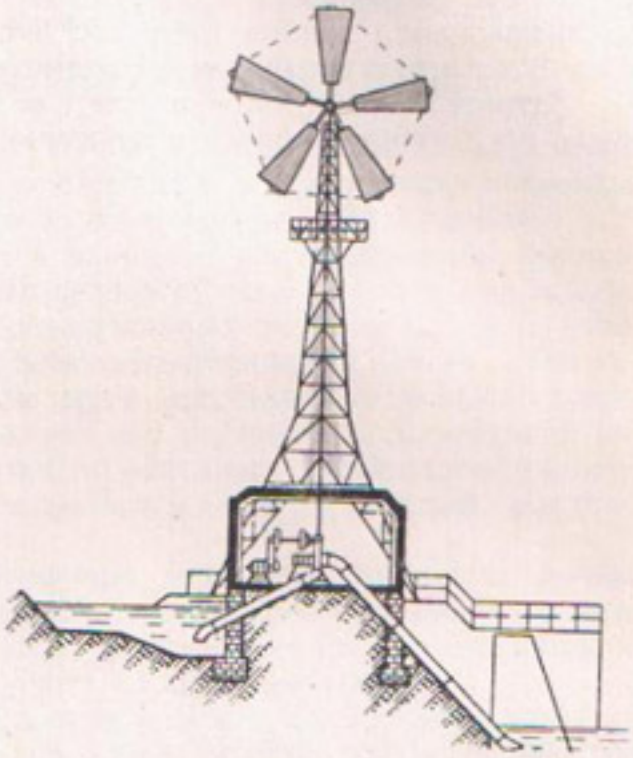


Рис. 379.

Достоинства подводной установки: 1) верный и легкий пуск насосов; 2) меньшие размеры машинного здания; 3) экономия в трубопроводах при объединенной постройке; 4) конец всасывающей трубы затоплен даже при низких горизонтах воды в водоприемнике. Недостатками этих установок являются: 1) ослабление тела дамб; 2) значительная нагрузка на грунт при малой площади зданий; 3) необходимость перестройки всей станции в случае, если низкий уровень внутренних вод опустится ниже предусмотренного вначале; 4) возможность обратного втекания воды из верхнего в нижний бьеф.

Достоинства сифонной установки: 1) наименьшее повреждение и ослабление дамб; 2) гарантия против обратного стока воды из верхнего бьефа в нижний; 3) легко доступна осмотру и ремонту. Недостатки ее следующие: 1) необходимость наполнения водой камеры насоса, всасывающих и нагнетательных труб, для чего нужен добавочный насос; 2) концы всасывающих и нагнетательных труб должны всегда быть ниже самого низкого уровня воды, при котором производится откачка; 2) горизонтальность установки всех машин увеличивает размеры машинного здания.

Во избежание засорения перед всасывающей трубой насосных станций ставят решетки, за которыми необходимо следить и своевременно очищать их.

Для перекачки больших количеств воды на небольшую высоту при осушении применяются пропеллерные и винтовые насосы. Эти насосы имеют более высокий к. п. д., бо́льшую производительность и потребляют мéньше энергии по сравнению с центробежными.

Пропеллерные насосы ставятся и при небольших расходах откачиваемой воды—от 25 до 1000 *л/сек*.

В малых водоподъемных установках иногда применяются водоподъемные винты и колеса; крупным недостатком их является то, что они не могут работать зимой, когда замерзает вода, вследствие чего к весне накапливается много воды.

Для откачки воды при осушении применяются главным образом электрические, а также двигатели внутреннего сгорания и ветровые.

Применение электромоторов особенно выгодно в том случае, когда водоподъемные машины могут приводиться в движение из одного источника энергии, например от одной гидроэлектрической станции.

Двигатели внутреннего сгорания также находят применение на осушительных установках; достоинство их: 1) возможность регулирования числа оборо-

тов; 2) высокий коэффициент полезного действия; 3) экономное расходование горючего; 4) небольшая требуемая площадь; 5) отсутствие потерь энергии при перерывах в работе; 6) простота обслуживания.

Ветровые двигатели применяются при осушении небольших площадей (50—500 *га*). В настоящее время предпочитаются главным образом ветровые колеса с автоматическим регулированием, сообразно изменению направления и силы ветра (рис. 379).

Достоинство ветродвигателей — дешевизна эксплуатации. Недостатки их: 1) периодичность работы, почему требуется устройство резервуаров или применение резервных тепловых двигателей на случай безветрия; 2) малая площадь обслуживания, что вызывает разделение всей осушаемой площади на отдельные участки.

Общая потребность в энергии на подъем воды в осушительных целях характеризуется такими цифрами: в среднем на 1 *га* осушаемой площади и на 1 *м* высоты подъема необходима мощность от 0,010 до 0,030 *л. с.*

Затрата энергии на осушение 1 *га* зависит не только от высоты подъема воды, но и от интенсивности осушения.

Глава семнадцатая

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОСУШЕНИЯ

Характерная особенность рассмотренных выше способов осушения состоит в том, что в каждом из них проводящие и регулирующие элементы осушительной системы имеют в плане горизонтальное расположение.

Горизонтальная система осушения наиболее распространена, однако имеются случаи, когда данный участок целесообразнее осушать при вертикальном положении всех или части осушительных устройств. Эти случаи связаны с определенными гидрогеологическими условиями, когда избыточные, подлежащие удалению грунтовые воды представляют мощный водоносный слой и обладают напором, или же это верховодка, залегающая на водоупорном слое, который на сравнительно небольшой глубине подстилается более или менее значительным водоотводящим слоем, с хорошей пропускной способностью.

В первом случае избыточные грунтовые воды извлекаются из почвы путем механической откачки их насосами из специальных скважин или колодцев, опущенных в водоносный слой, и затем отводятся в ближайший водоприемник или используются (в случае их пригодности).

Во втором случае избыточные воды верховодки, скопляющиеся на водоупорном слое, самотеком спускаются в нижележащий водопоглощающий слой при помощи вертикальных скважин, прорезающих водоупорный слой.

Вертикальная система осушения, если она возможна по гидрогеологическим условиям, особенно целесообразна при осушении заболоченных котловин и плоских низменностей, значительно удаленных от открытых водоприемников.

1. ОСУШЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ ОТКАЧКИ ВОДЫ ИЗ КОЛОДЦЕВ

Осушение посредством откачки грунтовых вод из колодцев состоит в том, что в водоносный слой, горизонт грунтовых вод которого должен быть понижен, опускают ряд трубчатых колодцев, из которых механическим путем откачивают притекающую к ним воду. Откачиваемая насосами вода поступает в открытые каналы, отводящие ее в определенный водоприемник или используется (в случае ее пригодности) на орошение, водоснабжение и др. Откачкой можно достичь значительного понижения уровня воды в колодцах и, создавая большой градиент напора в сторону колодца, увеличить приток воды в него и получить значительное общее понижение грунтовых вод. Эти колодцы будем называть дренажными; они позволяют понижать грунтовые воды на бóльшую глубину, чем другие способы осушения, однако наиболее целесообразным действие их оказывается лишь тогда, когда водоносный слой достаточно мощный и хорошо проводит воду, так как иначе приток грунтовых вод в колодцы будет очень слабым.

Достоинством способа осушения посредством дренажных колодцев является возможность глубокого понижения грунтовых вод, регулирования их уровня и удаления более минерализованных грунтовых вод на орошаемых землях; поддерживая бóльшую или меньшую глубину откачки воды из колодцев (и совершенно прекращая откачку в период засухи), можно соответственно регулировать понижение грунтовых вод.

Недостатками этого способа осушения являются небольшой дебит на 1 *м* глубины откачки в мелкоземистых водоносных грунтах и сравнительно высокая стоимость ежегодных эксплуатационных расходов, связанных с работой колодцев; это делает способ откачки более эффективным при достаточно крупнозернистых водоносных грунтах и при наличии недорогой энергии.

Осушение откачкой можно успешно применять при следующих условиях:

1) однородное строение и достаточная мощность водоносного слоя, создающего заболачивание; в случае же слоистого строения грунта разной проницаемости, необходимо сообщение верхнего и других водоносных слоев с тем слоем, из которого делается откачка, чтобы вызвать опускание вышележащих грунтовых вод и тем самым ускорить процесс осушения;

2) хорошая водопроводимость водоносного слоя, обеспечивающая значительное боковое действие колодца, т. е. достаточную величину R и меньшую глубину откачки при одном и том же дебите Q;

3) достаточное количество воды откачиваемой из колодца, чтобы вызвать опускание вышележащих слоев грунтовых вод вниз.

Дренажные колодцы для откачки воды делаются с поступлением воды: а) через отверстия и фильтр (стренер), в обсадной трубе, причем дно колодца в этом случае плотно тампонируется цементом или закрывается специальной пробкой; б) через дно и частично через боковые отверстия с фильтром. Отверстия в обсадных трубах делаются круглые или щелевидные. Фильтры, в зависимости от характера грунтов, делаются сетчатые, гравийные и других конструкций. Наиболее распространены гравийно-щелевые и корзиночные фильтры — при напорных водах. Фильтр, через который вода поступает в колодец, представляет весьма ответственную часть трубчатого колодца. Если расход колодца составляет Q *м*³/*сек*, диаметр колодца D *м*, то действующая высота фильтра должна быть равна: $h=\frac{C\,Q}{D\,v}$, где $C=1$—$1{,}6$ и v — скорость поступления грунтовых вод, зависящая от крупности водоносной породы, а именно:

$v=0{,}002$	*м/сек*,	если	60%	зерен	песка	имеют	$d<1$ *мм*
$v=0{,}001$	»	»	40%	»	»	»	$d<0{,}5$ »,
$v=0{,}0005$	»	»	40%	»	»	»	$d<0{,}25$ *мм*[1]

Отверстия сетки фильтра должны быть таковы, чтобы они не оказывали большого сопротивления входу воды и не пропускали в колодец зерен крупного песка. Фильтр не должен допускать вынос породы в колодец в гравелистых грунтах больше 30—40%, а в песчаных грунтах больше 40—60%. Работа фильтров в слоях плывуна очень ненадежна, поэтому лучше воду из этих слоев не допускать в колодец. Возможно применение гравийно-проволочных фильтров системы Ф. С. Бояринцева, позволяющих повышать дебит колодцев. Мелкий песок, проходящий в фильтр, откачивается насосом, причем общий объем откачиваемого песка иногда значительно превышает общий объем фильтра, так что вокруг него снаружи образуется крупнозернистый контрфильтр. Для увеличения дебита колодца в грунтах с плохой водоотдачей устраивается гравийная обсыпка колодца толщиной

---

[1] По данным С. К. Абрамова (Водгео), наружный диаметр фильтра (в *мм*) $d \geqslant 7643\ \frac{Q}{hv_\Phi}$ *мм*, где Q — в *м*³/*час*; h — в *м*; v_Φ — допускаемая входная скорость (в *м/сут*), равная $v_\Phi=65\sqrt[3]{k}$; k — коэффициент фильтрации водоносного пласта в *м/сут*.

12—15 *см* с гравием диаметром 6—12 *мм*. Перфорированные трубы (фильтр-стренер) закладываются обычно с глубины 6—15 *м* от поверхности земли, в зависимости от гидрогеологических условий. Глубина откачки воды в песчано-гравелистых грунтах чаще достигает 6—10 *м*, а в суглинистых 15—20 *м* и более.

Если, вследствие откачки воды и выноса грунта вода поступает через дно колодца, под нижним концом обсадной трубы образуется каверна, достигающая диаметра 5—8 *м*. Эта каверна во избежание обрушения колодца должна быть заполнена мелким гравием. Удачно построенные колодцы с поступлением воды через дно оказывались весьма эффективными, так как строительная стоимость их меньшая, а удельный расход на единицу глубины откачки больший. Однако такие колодцы часто обрушиваются, и их необходимо заменять новыми. Поэтому колодцы с питанием через дно применяются реже колодцев с питанием через боковые фильтры.

Дренажные колодцы заглубляют чаще до подстилающего водоупора (так называемый полный колодец). Если колодец не доходит до водоупора, то расчет такого колодца ведется как неполного. Глубину колодца надо увеличивать или в целях повышения глубины откачки и радиуса действия колодца и, следовательно, площади обслуживания его или же чтобы достичь более проницаемых водоносных слоев.

Глубина колодца должна отвечать нужной глубине откачки воды, которая, в свою очередь, связана с намеченным насосным оборудованием.

Диаметр дренажного колодца обычно уменьшается с глубиной; конечный диаметр зависит от свойств водоносного грунта: чем меньше d, тем больше сопротивление при входе воды; при малом d ограничивается сфера влияния колодца, поэтому в более проницаемых грунтах диаметр должен быть больше для обеспечения нужного дебита колодца.

Расположение дренажных колодцев может быть двоякое:

1) п л о щ а д н о е — когда колодцы размещаются на осушаемой площади более или менее равномерно и предназначаются для откачки воды из какого-то бассейна подземных вод и понижения уровня грунтовых вод на этой площади;

2) л и н е й н о е — когда колодцы размещены в 1—2 ряда, перпендикулярно к направлению потока подземных вод, и предназначены для перехвата этого потока и предупреждения его доступа на защищаемую от грунтовых вод земельную площадь.

В первом случае колодцы могут работать независимо один от другого, во втором они должны работать все сразу. Число колодцев равно: в первом случае $N = \frac{\Omega}{\pi R^2}$ и во втором случае $N = \frac{L}{2R}$, где Ω — осушаемая площадь; R — практический радиус действия колодца; L — длина контура притока грунтовых вод на осушаемую площадь.

Дренажные колодцы рассчитывают на основе следующих соображений.

1. Определяют объем воды V, подлежащий откачке с данной площади сообразно потребностям сельского хозяйства, с одной стороны, и режиму грунтовых вод на данной площади — с другой (карты изогипс грунтовых вод и графики их колебаний).

2. Далее, устанавливают срок T, в течение которого должен откачиваться этот объем воды, сообразно сельскохозяйственным условиям и темпам подъема грунтовых вод. Откачивать грунтовые воды можно: а) с переменным расходом — по мере их подъема; в этом случае насосы работают неравномерно, колебания грунтовых вод на осушаемой площади значительны; б) с постоянным расходом, но в течение более длительного периода времени. Откачка с постоянным расходом обычно целесообразнее, так как при этом в периоды малого притока грунтовых вод вокруг колодца образуется как бы подземный резервуар, который и заполняется водой в периоды усиленного притока; благодаря этому в течение года уровень грунтовых вод поддерживается более равномерным, не поднимаясь выше известного предела и в пери-

оды усиленного притока. Разделив общий объем подлежащей откачке воды на продолжительность откачки, получим необходимый объем откачки в единицу времени —$V : T$.

3. Наконец, устанавливают наиболее выгодный дебит одного колодца Q; чем больше Q, тем больше должна быть глубина откачки h, т. е. дороже подъем 1 $м^3$ воды, а с другой стороны, чем больше Q и h, тем больше R и, значит, больше площадь обслуживания одного колодца, т. е. тем меньше нужно колодцев и тем быстрее будут снижаться грунтовые воды.

Необходимое число колодцев равно $N = \frac{V}{TQ}$ или же $\frac{\Omega}{\pi R^2}$, где Ω — вся осушаемая площадь, а πR^2 — площадь обслуживания одного колодца сообразно радиусу действия его.

Для решения этих вопросов надо знать связь между дебитом колодца, глубиной откачки воды в нем h и радиусом действия колодца R. Это делается или путем пробных откачек или по формулам дебита колодцев.

Влияние колодцев сказывается на величину R =200—1000 *м*, в зависимости от проницаемости водоносного грунта, глубины и дебита откачки.

Расстояния между дренажными колодцами должны быть таковы, чтобы создаваемые ими при откачке депрессионные кривые поверхности грунтовых вод пересекались на требуемой глубине от поверхности земли.

Определить эти расстояния можно на основании подробного гидрогеологического изучения местности и заложения пробных колодцев с опытными откачками воды из них[1].

Количество воды, даваемой колодцем с водонепроницаемыми стенками и открытым дном при той же длине трубы и глубине откачки меньше по сравнению с дебитом колодца, работающего стенками (при прочих одинаковых условиях).

Количество воды, даваемое колодцем, тем больше, чем больше проницаемость водоносного грунта k, чем больше глубина откачки h, чем больше глубина погружения колодца в водоносный слой, чем больше мощность последнего и чем больше диаметр колодца. Зависимость дебита колодца от глубины откачки h обычно близка к линейной: $Q = Ch$, как для артезианских колодцев, так и для простых, если мощность водоносного слоя H велика по сравнению с глубиной откачки h, а сопротивление фильтра мало. Действие ряда колодцев может быть определено по формулам М. Е. Альтовского, В. Н. Щелкачева, Л. С. Лейбензона и других авторов.

Величина радиуса действия колодца R тем больше, чем больше проницаемость водоносного слоя и чем больше глубина откачки h.

По формуле И. П. Кусакина, величина $R = Ch\sqrt{kH}$ *м*, где коэффициент C =575, h — глубина откачки, k — коэффициент фильтрации грунта в *м/сек*, H — мощность водоносного пласта, в *м*. Точнее величину R определяют опытным путем.

Чтобы увеличить радиус действия колодца R при данной водопроводимости водоносного грунта k, необходимо увеличивать глубину откачки воды h и, следовательно, дебит откачки Q и глубину погружения колодца в водоносный слой.

По опытным данным, удельный дебит дренажных колодцев составляет от 3—4 *л/сек* на 1 *м* откачки в глинистых водоносных грунтах до 30—40 *л/сек* на 1 *м* откачки — в галечниковых водоносных грунтах.

Чем больше удельный дебит, тем более выгодна работа колодца.

Откачка из колодца для понижения грунтовых вод в Араздаянской степи (Армения) (диаметр скважины 40,2 см; глубина 44,5 м) дала при 15-сантиметровом насосе и при глубине откачки 4,50 *м* дебит Q=39 *л/сек*, а при откачке 20-сантиметровым насосом и при глубине откачки 7—6 *м* —дебит 60 *л/сек*, радиус действия R=710 *м*; коэффициент фильтрации грунта k=0,00025 *м/сек*, удельный дебит 9—10 *л/сек* на 1 *м* откачки.

Дренажный колодец в Голодной степи, глубиной 69 *м* диаметром 30 *см*, заложенный в плывуне, при глубине откачки 8 *м* и расходе 36 *л/сек*, имел низкий удельный дебит, около 4,5 *л/сек* на 1 *м* глубины откачки.

---

[1] Подробности расчета даны в гидрогеологической литературе. См. например С. К. Абрамов и В. Д. Бабушкин. Методы расчета притока воды к буровым скважинам. Под ред. К. А. Михайлова. Водгео — Госстройиздат, М., 1955.

Сравнивая вертикальный дренаж с горизонтальным, нужно отметить, что при первом возможно значительно большее понижение грунтовых вод, чем при втором, но зато необходима затрата энергии на механическую откачку воды, создающую это понижение; при горизонтальном дренаже отвод и понижение грунтовых вод производится самотеком.

Положительными сторонами вертикального дренажа являются: выполнимость как при высоком, так и при низком стоянии грунтовых вод; отсутствие заиления и размывов; возможность глубокого понижения грунтовых вод и постройки зимой. Недостатки его следующие: применимость не при всех гидрогеологических условиях и более высокие эксплуатационные расходы.

Горизонтальный дренаж имеет такие преимущества: более равномерное влияние на уровень грунтовых вод; возможность заложения в различных гидрогеологических условиях, и в частности, при близком залегании водоупора; меньшие эксплуатационные расходы. Недостатками его являются: возможность заиления и нарушения целости дренажных линий; более медленное действие; необходимость достаточного уклона местности; поэтому при проектировании вертикального дренажа там, где он возможен по гидрогеологическим условиям, необходимо технико-экономическое сравнение его при данных конкретных условиях с горизонтальным осушением. Во избежание просадки обсадной трубы дренажного колодца верх ее, выходящий на поверхность, заделывается (с помощью особых хомутов) в бетонную плиту на поверхности, служащую для установки оголовка колодца, насоса и двигателя.

Насос (обычно вертикальный, многоступенчатый турбинный) опускается непосредственно в трубу колодца и приводится в действие электромотором.

Производительность глубинных насосов колеблется от 15 до 250 *л/сек*. При больших дебитах колодцев, но небольших напорах (не более 30—40 *м*) ставятся вертикальные пропеллерные насосы. Горизонтальные центробежные насосы могут применяться для откачки воды из колодцев с хорошей водоотдачей и малой глубиной качания. Поршневые насосы не применяются, вследствие недостаточности их дебита.

Оборудование дренажных колодцев насосами и двигателями представлено на рисунках 380 и 381. Конструкция глубинных насосов показана на рисунке 382, где буквой a обозначена всасывающая, а буквой b — нагнетательная труба насоса, c — вал насоса, k — камеры двух насосов, состоящих каждый из двух колес; эти камеры вместе со всасывающей и нагнетательной трубами опущены в скважину колодца. Стрелки показывают направление движения воды.

Чем больше диаметр колодцев, тем больше их стоимость, больше (в определенных пределах) количество даваемой воды; чем больше глубина откачки, тем дороже механическая часть — мощность установки и затраты энергии, но зато тем больше подача воды Q и больше радиус действия каждого колодца R, и стало быть, тем меньше потребное число колодцев на одну и ту же площадь. Поэтому при проектировании осушения с механическим подъемом воды должны быть установлены наивыгоднейшие размеры диаметра колодцев и глубины откачки воды.

Чем больше мощность и удельный дебит колодца, т. е. дебит на 1 *м* откачки, и чем дешевле энергия, тем меньше стоимость подъема воды.

2. ОСУШЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ ПОГЛОЩАЮЩИХ КОЛОДЦЕВ

Осушение посредством водопоглощающих колодцев состоит в том, что избыточные воды осушаемой площади отводятся в подстилающие почву водопроницаемые подземные слои через вертикальные поглощающие колодцы или шахты (с тем или иным креплением стенок и нужного диаметра).

Вода в подземные водоотводящие слои отводится или непосредственно каждым колодцем или с помощью предварительного сбора излишней воды осушительной сетью к одному общему или нескольким более крупным колодцам.

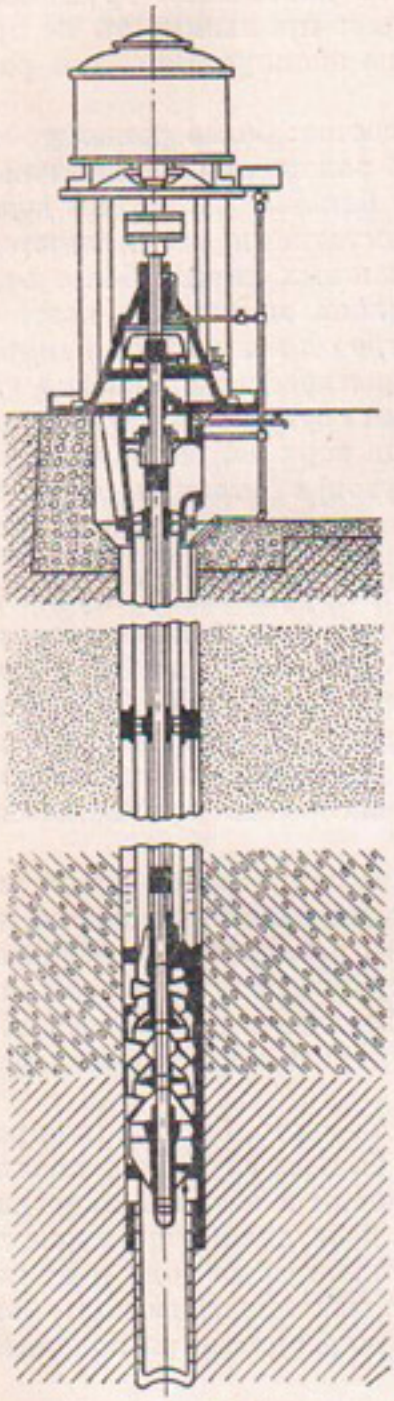


Рис. 380.

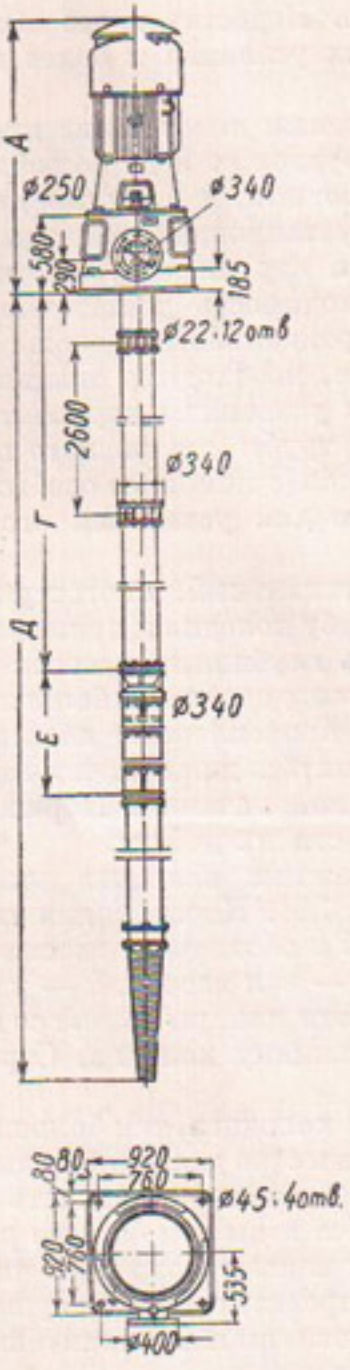


Рис. 381. Общий вид насоса АТН-14Р.

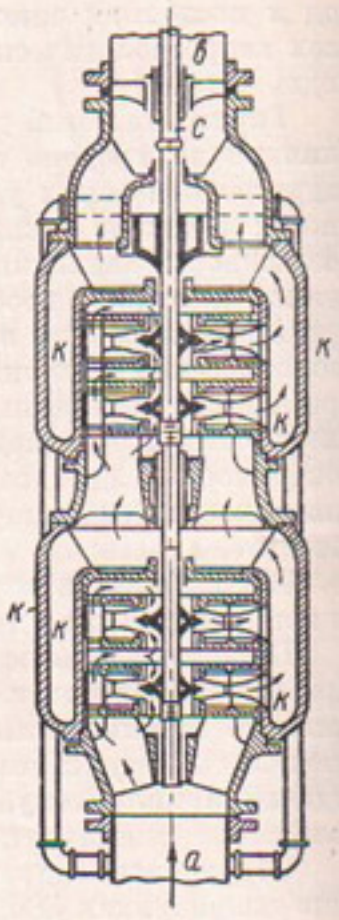


Рис. 382.

Применение этого способа осушения возможно на таких землях, которые, не имея надлежащих условий для поверхностного отвода избыточных вод (замкнутые котловины, низины с удаленными водоприемниками и т. п.), подстилаются на небольшой глубине мощным дренирующим, хорошо отводящим воду слоем (от которого отделяются водоупорным слоем), могущим легко удалять поступающую в него воду с осушаемой площади.

Положительной стороной этого способа осушения является отсутствие необходимости длинного магистрального канала и сети проводящих каналов. Недостаток его в том, что он возможен только при наличии подстилающего более или менее мощного водоотводящего слоя, что далеко не всегда имеет место. Второе слабое место заключается в том, что водоотводящий слой может постепенно заиляться, в силу чего дренаж перестает хорошо действовать, так как трудно заранее точно установить водоотводящую способность дренирующего слоя. Поэтому применение такого типа дренажа требует предварительных тщательных гидрогеологических исследований.

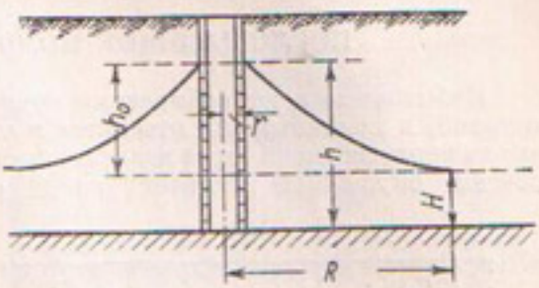


Рис. 383.

Количество воды, поглощаемое в единицу времени одним «совершенным» колодцем (доходящим до водоупора) (рис. 383), определяется по формуле:

$$Q=\frac{\pi k\,(h^2-H^2)}{\ln\frac{R}{r}}=\frac{\pi k h_0\,(2H+h_0)}{\ln\frac{R}{r}},$$

где h — глубина воды в колодце над водоупором;
h_0 — высота уровня в колодце над уровнем грунтовых вод (напор воды в колодце);
k — коэффициент фильтрации водопоглощающего слоя;
H — мощность этого слоя;
R — радиус растекания фильтрационного потока;
r — радиус колодца.

Количество воды, поглощаемое «несовершенным» (рис. 384) колодцем (не доходящим до водоупора), можно приближенно определить по формуле:

$$Q=\frac{2\pi k h\,(h-H)}{\ln\frac{R}{r}}=\frac{2\pi k h h_0}{\ln\frac{R}{r}},$$

где h — высота воды в колодце над дном его;
H — высота начального уровня грунтовых вод над дном колодца;
h_0 — напор воды.

Как видим из приведенных формул, водопоглощающая способность колодца зависит главным образом от проницаемости грунта и от напора h_0, а следовательно, от глубины залегания уровня грунтовых вод.

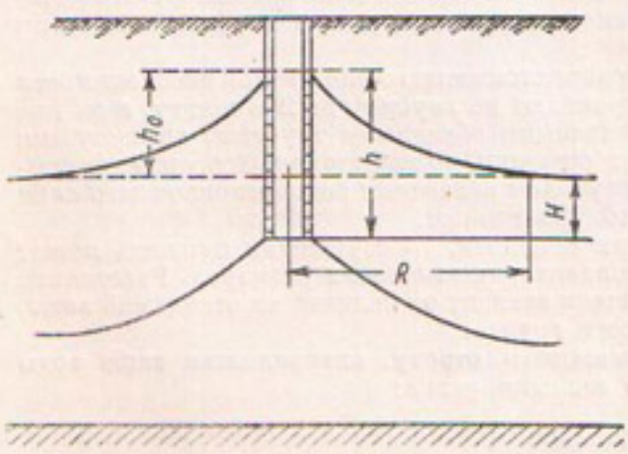


Рис. 384.

Количество воды, поглощаемое артезианским колодцем, равно:

$$Q=\frac{2\pi k a\,(h-H)}{\ln\frac{R}{r}},$$

где a — мощность поглощающего водопроводящего слоя, находящегося под напором H;
h — высота воды в колодце над водоупором.

Приведенные формулы относятся к колодцам с водопроницаемыми боковыми стенками.

При работе системы n поглощающих колодцев их общий расход будет равен:

$$\Sigma Q=\frac{\pi k\,(h^2-H^2)}{\ln\sqrt[n]{\frac{R_1R_2\ldots R_n}{x_1x_2\ldots x_n}}},$$

где $x_1, x_2\ldots$ — расстояния колодцев от некоторого общего центра, а $R_1, R_2\ldots$ — радиусы растекания воды.

Радиус растекания воды из колодца равен:

$$R=C\sqrt{\frac{kT\,(h-H)}{\delta}},$$

где C — коэффициент, равный 120—150;
δ — коэффициент водопоглощения (свободной пористости) грунта;
T — продолжительность работы колодца в часах;
k — коэффициент фильтрации, в *м/сек*.

Действие поглощающих колодцев может быть обеспеченным, если грунтовые воды имеют достаточный отток и не наблюдается устойчивое повышение их уровня.

Поглощающие воду колодцы в одних случаях являются только *водоприемниками*, куда отводятся воды, собранные обычной осушительной сетью; в других случаях они являются не только водоприемниками, но и *осушителями*, поглощающими из верхних слоев почвы избыточную влагу и отводящими ее в нижележащие слои.

ПОГЛОЩАЮЩИЕ КОЛОДЦЫ КАК ВОДОПРИЕМНИКИ

Избыточные воды собираются горизонтальной осушительной сетью (открытой или закрытой) и коллекторами отводятся в отстойник, где осаждаются наносы, а осветленная вода из верхних слоев через водослив или сифон поступает в вертикальный поглощающий колодец, опущенный в дренирующий слой.

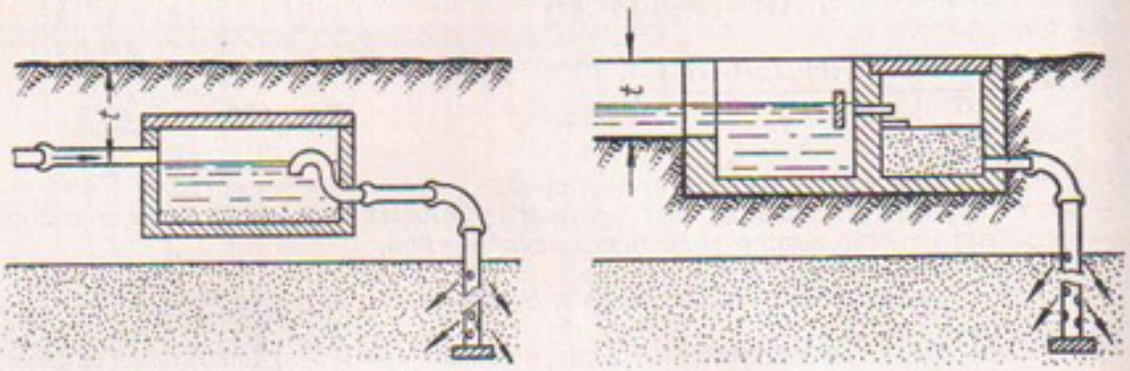


Рис. 385.

Вертикальный колодец (рис. 385) делается из гончарных труб с отверстиями. Трубы обсыпают мелким булыжным камнем и гравием. Обсыпка по мере удаления от трубы должна делаться из более мелкого камня. Отстойники периодически очищают от наносов.

При небольшой глубине залегания водопоглощающего слоя (не более 2 *м*) и небольших количествах спускаемой воды, в плотных грунтах поглощающие колодцы могут делаться в виде буровых скважин, заполненных проницаемым материалом.

В слабых грунтах, при глубине залегания поглощающего слоя больше 2 *м* и значительных количествах воды, поглощающие колодцы делаются в виде опускных колодцев или деревянных шахт.

При значительной глубине залегания водопоглощающего слоя и при необходимости пересечь вышележащие водоносные слои устраивают на глубину до 2 *м* шахту, а на дне этой шахты делают буровые скважины с железными обсадными трубами, опущенными в водопоглощающий слой. Отверстия буровых скважин, во избежание засорения, закрывают фильтрующим материалом. При очень глубоком залегании водопоглощающего слоя применение такого дренажа становится малоэффективным.

Если имеется целая серия поглощающих колодцев, то осушаемая площадь может разделяться на ряд участков с отдельными коллекторами меньших размеров. Расстояние между колодцами и число их на единицу площади зависят от количества отводимой воды, размеров колодца и водоотводящей способности грунта.

Если расчетный модуль стока, подлежащего отводу, эквивалентен слою воды q *м/сут*, то площадь обслуживания одного колодца равна:

$$\pi R^2 = \frac{\pi k (h^2 - H^2)}{q \ln \frac{R}{r}},$$

где k — коэффициент фильтрации водоотводящего грунта, в *м/сут*.

ПОГЛОЩАЮЩИЕ КОЛОДЦЫ КАК РЕГУЛЯТОРЫ ГРУНТОВЫХ ВОД

Поглощающие воду колодцы влияют на уровень грунтовых вод. Если в грунте (рис. 386), насыщенном водой до уровня AB, сделан колодец, через стенки которого в него поступает вода, поглощаемая слоем C, то вокруг колодца образуется воронка понижения грунтовых вод. Депрессионная кривая имеет следующее уравнение:

$$y^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{x}{r} + h^2,$$

где Q — дебит колодца;
k — коэффициент водопроницаемости данного грунта;
h — глубина стояния воды в колодце;
r — радиус колодца.

Колодцы должны быть расположены на таком расстоянии друг от друга $2x$, чтобы они давали нужное понижение грунтовых вод на осушаемой площади, т. е. нужную величину $(H-y)$ посредине между колодцами. Эти расстояния колеблются от 10 до 80 *м*, в зависимости от проницаемости почвы, притока воды, размеров колодцев и оттока в поглощающий слой.

Верх колодцев не доводится (на 0,4 *м*) до поверхности, чтобы не мешать обработке почв, и закрывается во избежание притока наземных вод; стенки колодцев, в пределах

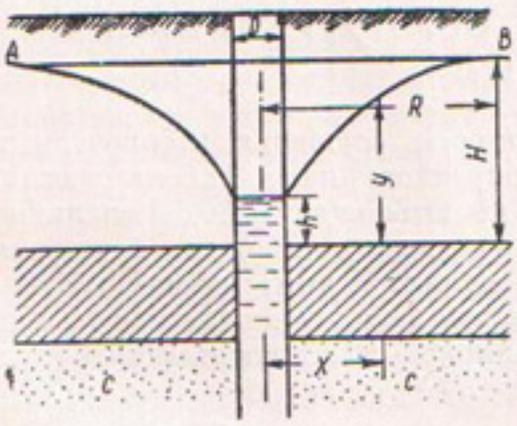


Рис. 386.



Рис. 387.

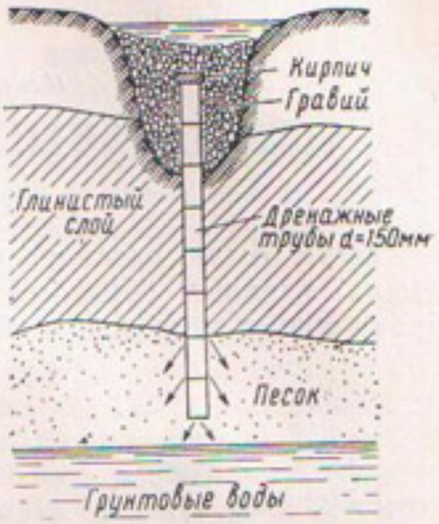


Рис. 388.

водоносного слоя, водопроницаемы. Если водопоглощающий слой залегает неглубоко, колодцы делаются в виде скважин, заполненных фашинами или камнем.

В слабых грунтах поглощающие колодцы могут быть сделаны в виде опускных колодцев из гончарных труб. На дубовый заостренный снизу поддон, насаженный на железный штырь, предварительно надевают гончарные трубы. Поддон вместе с трубами вгоняют в предварительно сделанную буровую скважину на нужную глубину, после чего штырь вынимают (рис. 387).

Если требующая осушения площадь подстилается на небольшой глубине (не более 3 *м*) ниже водоупорного слоя достаточно мощным водоотводящим слоем, то поглощающие колодцы могут удалять воду непосредственно в этот отводящий слой без устройства осушительной сети (рис. 388).

К недостаткам поглощающих колодцев для отвода поверхностных вод, помимо легкой засоряемости и запления, надо отнести также следующие: 1) замерзание устьев и более позднее начало работы весной; 2) отсутствие вентиляции почвы, между тем как при горизонтальной осушительной и дренажной сети почва вентилируется.

Глава восемнадцатая

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

Выше были рассмотрены основные вопросы осушения заболоченных земель, главным образом в целях сельскохозяйственного использования. Кроме общих вопросов, в области осушения имеются отдельные специальные вопросы, касающиеся применения осушения в различных целях. К ним, например, относятся: осушение заболоченных земель для борьбы с малярией и в других санитарных

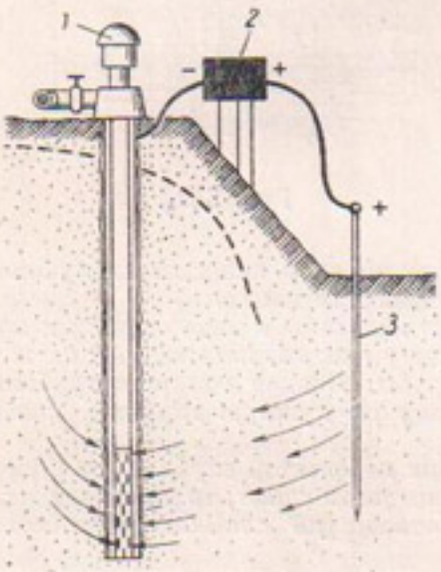


Рис. 389. Установка электроосмоса при откачке воды из скважин глубинными насосами:
1 — глубинный насос; *2* — генератор постоянного тока; *3* — металлический стержень.

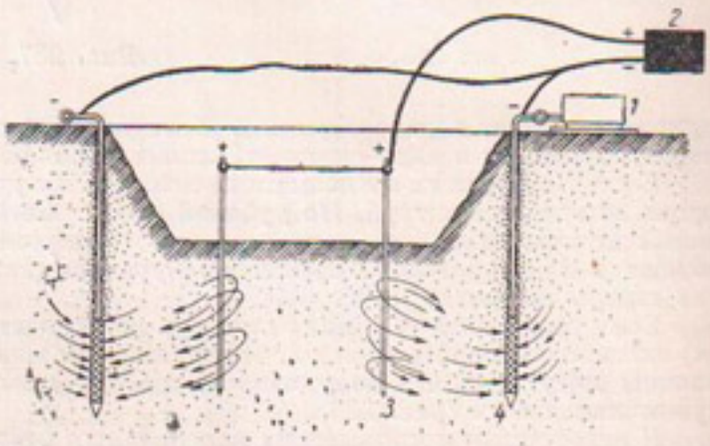


Рис. 390. Установка электроосмоса при откачке грунтовых вод установкой ПВУ (иглофильтрами):
1 — глубинный насос; *2* — генератор постоянного тока; *3* — металлический стержень; *4* — иглофильтр.

целях; осушение населенных территорий и промышленных площадок и объектов; осушение в транспортных целях (полотна дорог); связь осушения с лесосплавом; осушение болот в целях торфоразработок и некоторые другие. Из всех этих вопросов остановимся здесь только на осушении болот в целях торфоразработок, как имеющего тесную связь с осушением болот в сельскохозяйственных целях. С другими вопросами осушения можно ознакомиться по специальной литературе[1].

[1] С. К. Абрамов, Л. Р. Найфельд, О. Б. Скиргелло. Дренаж промышленных площадок и городских территорий. М., 1954; А. Д. Брудастов. Осушение площадок промышленных предприятий и аэродромов. ОНТИ, 1936; Б. В. Пащенко. Дренажные сооружения для укрепления полотна железных дорог. Трансжелдориздат, М., 1936; А. Я. Тулаев. Осушение земляного полотна. Дориздат, М., 1948; В. В. Шаблинский. Осушение торфяных месторождений. М., 1953; А. В. Смирнов, А. Д. Брудастов. Осушение в антималярийных целях. Научные записки МГМИ, т. XI, 1941; В. В. Богатырев. Инженерная защита в зонах водохранилищ крупных ГЭС. Госэнергоиздат, М.—Л., 1958.

В промышленном строительстве (больших зданий и особенно крупных гидротехнических сооружений, ГЭС и др.), когда приходится устраивать глубокие котлованы, для искусственного понижения уровня подземных вод, притекающих к котлованам, в настоящее время применяются различного рода водопонизительные установки; среди них более или менее широкое распространение получили иглофильтровые установки и начинают получать применение установки, основанные на принципе осушения грунта с помощью электроосмоса. При этом способе через грунт пропускается постоянный ток и вода от положительного электрода, например металлического стержня, устремляется к отрицательному электроду (например, металлические каркасы фильтров колодцев)[1] (рис. 389, 390).

Особенно эффективно действие электроосмоса при осушении тяжелых коллоидных грунтов (глин, илистых), трудно отдающих воду.

В сельскохозяйственном осушении указанные установки (иглофильтры и электродренаж) пока не применяются ввиду дороговизны их и малой разработанности применения в этих условиях. Однако с развитием сельского хозяйства эти установки могут быть вполне использованы и при осушении сельскохозяйственных земель.

ОСУШЕНИЕ БОЛОТ В ЦЕЛЯХ ТОРФОРАЗРАБОТОК

Разрабатываемые торфяники осушаются с целью: 1) понижения влажности торфа для достижения наивыгоднейшего уплотнения и концентрации сухого вещества вырабатываемой торфяной массы, возможно большей осадки торфа и повышения сопротивления грунта (без чего болото не выдерживает тяжести торфяных машин); 2) подготовки поверхности болота для сушки на нем выработанного торфа, т. е. удаление излишков влаги из верхних слоев торфяника.

Неосушенное болото содержит обычно от 85 до 98% воды, в среднем около 93% воды и 7% сухого вещества по весу.

С точки зрения технологии добычи торфа целесообразно наибольшее возможное понижение влажности торфяной залежи при ее осушении.

Влажность залежи, достигаемая при определенной интенсивности осушения, зависит от влагоемкости торфа. Низинный торф имеет меньшую влагоемкость, а его залежи, следовательно, меньшую влажность по сравнению с верховым торфом (при одинаковом осушении); как отмечалось уже выше, в верховом болоте понижение уровня грунтовых вод и влажности торфа достигается значительно труднее, чем в низинном болоте. Кроме того, влагоемкость как верхового, так и низинного торфа очень сильно зависит от степени разложения его; с увеличением степени разложения торфа влагоемкость его уменьшается. Поэтому при осушении хорошо разложившегося торфа достигается меньшая влажность, чем влажность плохо разложившегося торфа.

Содержание влаги в торфяной залежи после ее осушения составляет в среднем по глубине: в верховых болотах 86—88%, а в низинных — 80—85%; в верхних слоях торфа под влиянием испарения влажность ниже.

Нормальной средней за сезон влажностью торфа при фрезерном способе добычи считают 75—78% на низинных болотах и 80—83% на верховых; при машинноформовочных способах добычи и переработке в прессах нормальную влажность принимают 83—85%, а эксплуатационную 85—87%.

Чем меньше влажность торфа, тем больше концентрация органического вещества и выход воздушносухого торфа из единицы объема залежи.

Если влажность воздушносухого торфа составляет w%, влажность залежи в результате осушения равна w_1, а объемный вес торфяной залежи при этой влажности γ_1, то выход воздушносухого торфа будет равен $p = \frac{\gamma_1 (100 - w_1)}{100 - w}$ из 1 $м^3$ осушенной залежи, т. е. p повышается с уменьшением

[1] Ф. Ф. Энгель. Глубинный водоотлив. «Наука и жизнь», № 2, 1954. *Прим. автора.*

влажности торфа w_1, достигаемой осушением; с уменьшением w_1 падает и γ_1. Поэтому усиление осушения залежи увеличивает выход воздушносухого торфа.

Если процент содержания абсолютно сухого вещества в неосушенном болоте составляет $\alpha\%$, а в осушенном болоте — $\beta\%$ (по весу), то вес торфа после осушения будет составлять $\frac{100\alpha}{\beta}\%$ веса торфа до осушения и вес единицы объема торфа после осушения будет составлять: $\gamma_0 = \frac{\gamma\alpha}{\beta\eta}$, где γ — вес единицы объема торфа до осушения (содержащего $\alpha\%$ сухого вещества); η — коэффициент осадки торфа, показывающий отношение осевшего торфа к его мощности до осадки.

Вес 1 $м^3$ торфа при содержании влаги 95% равен $\gamma = 1300$ *кг*
» 1 » » » » 90% » $\gamma = 780$ »
» 1 » » » » 85% » $\gamma = 640$ »

Коэффициент осадки торфа при осушке до 90% влажности равен $\eta = {}^5/_6$; при осушке до 85% влажности $\eta = {}^2/_3$.

Таким образом, понижение влажности торфяной залежи на 10% уменьшает вес торфяной массы вдвое, что очень важно для облегчения работы людей и машин при разработке этой массы. Влажность воздушносухого торфа составляет около 25 — 30%, т. е. содержание сухого вещества в нем близко к $\beta = 70 - 75\%$, и, следовательно, выход воздушносухого торфа из 1 $м^3$ залежи, содержащей $\alpha\%$ сухого вещества или $(100 - \alpha)\%$ влажности, будет равен от $\frac{\gamma\alpha}{67}$ до $\frac{\gamma\alpha}{52}$ *кг*, т. е. он тем больше, чем больше α, т. е. чем сильнее предварительная осушка торфяника.

Уплотнение торфа машиной при машинноформовочном способе добычи тем больше, чем больше процент содержания абсолютно сухого вещества в торфе; уплотняющее действие машины составляет от 25 до 60% взятого объема торфа. В среднем на изготовление 1 $м^3$ сырого формованного машинного торфа нужно брать 1,3—1,4 $м^3$ сырого торфа из болота; 1 $м^3$ воздушносухого торфа (содержащего около 25% влаги) получается обычно из 3—4 $м^3$ сырого торфа.

При высыхании торф уменьшается в объеме тем больше, чем больше воды он содержит:

торф с влажностью 95% уменьшается в объеме в 7 раз
» » » 90% » » » » 5 »
» » » 85% » » » » 3,4 »

Свойства торфа, выработанного из сырой массы с разным содержанием воды, видны из таблицы 102.

Таким образом, вследствие осушки: 1) повышается концентрация сухого вещества в торфе и понижается вес объема болотной массы; 2) с возрастанием концентрации сухого вещества увеличивается вес и объем плитки воздушносухого торфа и, следовательно, понижается стоимость выработки весовой единицы.

Другое действие осушки сказывается в увеличении сопротивления торфяного грунта вследствие осадки и уплотнения торфа. Плохо осушенный торфяник при разработке разрывается и обваливается. Это происходит оттого, что под тяжестью машин неосевшее болото опускается, пласты торфа смещаются в вертикальном направлении и разрываются, нижние, более жидкие слои торфа, выдавливаются в сторону карьера, вызывая оползание и постепенное разрушение откосов карьера. Наиболее рациональной мерой против оползания карьеров является правильное осушение болота, произведенное заблаговременно (за 2—4 года) до начала разработки так, чтобы болото успело достаточно осесть.

Наконец, надлежащее осушение торфяника влияет и на воздушную сушку торфа, которая обычно производится на самом же болоте. Для сушки торфяных кирпичей нужна площадь от 8 до 10 *га* осушенного болота на каждую машину. Чем лучше осушено болото, тем быстрее и полнее происходит сушка торфяных кирпичей: на хорошо осушенном болоте она нормально продол-

Таблица 102

Показатели	Содержание воды в сырой торфяной массе (в %)		
	95	90	85
Вес 1 $м^3$ сырого торфа (в *кг*)	1300	780	650
Из 1 $м^3$ сырого торфа в болоте получается плиток машинного торфа (в шт.)	120	111	97
Вес воздушносухой плитки (в *кг*) . . .	0,69	0,94	1,34
Из 1 $м^3$ сырого торфа получается воздушносухого торфа (в *кг*)	87	105	130
Объем плитки после сушки (в $см^3$) (объем сырой плитки 6380 $см^3$) . . .	910	1275	1870
Плотность воздушносухого торфа . . .	0,765	0,735	0,715
Вес 1 $м^3$ воздушносухого торфа (в *кг*)	336	380	421
Для получения 1 $м^3$ воздушносухого торфа надо вынуть сырого торфа (в $м^3$)	3,88	3,60	3,20
Относительная стоимость выработки:			
1 $м^3$ воздушносухого торфа	1,53	1,28	1,00
1000 *кг* воздушносухого торфа . . .	1,93	1,43	1,00

жается около 4 недель, на плохо же осушенном болоте затягивается на очень длинный срок. Это происходит — во-первых, от того, что торфяные кирпичи, положенные на поле сушки, теряют свою воду не только путем испарения, но и путем отдачи ее грунту, на котором они лежат, и понятно, чем суше этот грунт, тем сильнее он поглощает воду из торфяных кирпичей; во-вторых, и это очень важно, высыхающие кирпичи, лежащие на сырой почве, капиллярно поглощают из нее воду, и оттого процесс сушки сильно затягивается. Иногда на полях сушки применяется дренаж. Особое значение осушение поверхности болота имеет при фрезерном способе добычи, когда размельченный в крошку торф сохнет на поверхности болота.

Осушительные каналы на разрабатываемом болоте, как и при обычном осушении, разделяются на регулирующие и проводящие.

Регулирующие каналы имеют своей задачей поддерживать достаточно низкую влажность разрабатываемого торфяного пласта и полей сушки или полей разлива (при гидроторфе).

Проводящие каналы предназначаются для отвода излишней воды как из вырабатываемых карьеров, так и из регулирующих каналов.

Проводящую сеть на разрабатываемых торфяниках составляют: 1) магистральный канал и 2) так называемые карьерные или валовые каналы.

Магистральный, или главный, канал должен проходить по самому низкому месту дна болота, где торф имеет наиболее мощную залежь; направление этого канала согласуется с естественным дном болота так, чтобы дно канала было ниже глубины выработки. Поэтому глубина главного канала может достигать 2—4 *м* (а иногда и больше). Главный канал соединяется с водоприемником, выбранным для данной осушительной системы. Глубина главного канала должна быть больше нормальной глубины выемки торфа, которая должна быть такой, чтобы после выработки торфа поверхность болота могла поступить под сельскохозяйственную культуру. Главный канал должен быть опущен ниже поверхности выработанного болота на достаточную глубину, так как только в этом случае он будет оказывать осушающее действие при последующем сельскохозяйственном использовании выработанного болота.

Так как стоимость выработки торфа уменьшается вместе с понижением влажности разрабатываемой залежи, то осушать ее следует наиболее полно, т. е.: 1) осушать до минерального дна болота и затрагивать даже дно, 2) выполнять работы в два приема: а) за несколько лет до начала торфоразработок

осушать залежь для отвода главной массы воды и осадки болота и б) во время самих торфоразработок окончательно осушать залежь.

Хорошая осушка болота, включая и минеральное дно, позволяет применять более тяжелые машины, которые могут быть поставлены на минеральное дно болота.

Пропускная способность карьерных каналов рассчитывается на отвод высоких весенних вод к началу сезона добычи торфа (а не высоких летних, как часто делается при обычном осушении), так как в этот период каналы работают с большей нагрузкой; вследствие этого модуль стока при расчете карьерных каналов принимается выше, чем при обычном осушении. Главный канал роется сначала на глубину 0,8—1,2 *м*, а затем, после осадки торфа, углубляется на полную глубину, причем глубина должна быть увеличена на 10—20% по сравнению с проектной — на последующую осадку торфа.

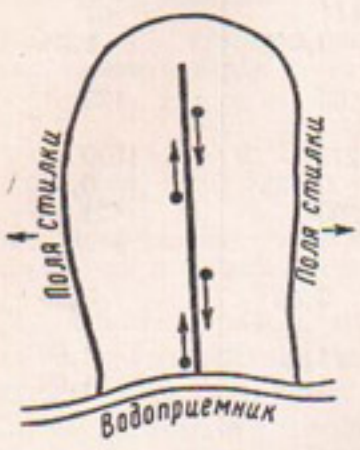


Рис. 391.

Расположение главного и боковых (карьерных) каналов в плане, по данным В. Г. Горячкина, может быть следующим.

Если болото сравнительно небольшое и имеет вытянутую форму, по длине которой и располагается главный канал, то машины ставят вдоль этого канала (по обе стороны его — рис. 391), причем расстояние между машинами от 500 до 900 *м*; за сезон каждая машина вырабатывает определенную ширину карьера, в зависимости от длины прохода, и таким образом постепенно на месте канала образуется выработанный карьер.

При больших размерах болота и широкой форме его машины ставят и ведут выработку торфа не вдоль, а перпендикулярно к направлению главного канала (рис. 392).

В этом случае перпендикулярно к главному каналу проводят боковые карьерные каналы, проходящие по оси будущих карьеров. Карьерные каналы делают на всю глубину выемки или же только на глубину около 1,5 *м*. Первый способ дороже второго, но зато обеспечивает нормальную выемку торфа с первого же года разработок. При втором способе меньше земляных работ по рытью канала, но зато более глубокие слои торфа (лежащие ниже дна канала) приходится вырабатывать с помощью бровок, которые задерживают сток воды, и потому торф находится в худших условиях влажности. И только постепенно, через несколько лет работы, более мелкий карьерный канал превратится в глубокий карьер, отводящий воду на полную глубину выемки торфа.

Расположение проводящих каналов и карьеров должно согласоваться с рельефом дна болота и делается (по возможности) по наиболее глубоким местам торфа, по наибольшему уклону дна болота и по наибольшей длине болота (так как длинные карьеры выгоднее для разработки).
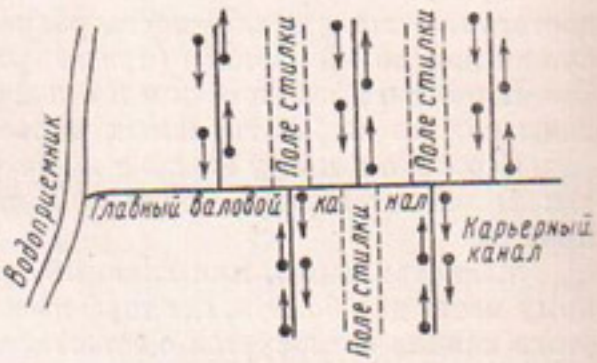


Рис. 392.

Вода из каналов и карьеров должна удаляться самотеком через главный канал. Только в крайних случаях, например на низинных болотах иногда приходится прибегать к механической откачке воды из карьеров, располагая насосы в самых низких местах рельефа дна болота. Водоотлив рассчитывается обычно на отвод от 0,3 до 0,8 *л/сек* с 1 *га*, в зависимости от размеров водосборной площади и гидрологических условий.

При осушении карьеров необходимо обеспечить также возможность частичного или полного затопления их водой, которое бывает необходимо: частичное — во избежание нежелательной пересушки торфа; полное — на зиму, во избежание промерзания торфа, вредно влияющего на его качество*.

---

* Промерзание увеличивает рыхлость строения торфа, уменьшая объемный вес и увеличивая влагоемкость. *Прим. автора.*

Регулирующую часть осушительной сети на разрабатываемых торфяниках составляют так называемые картовые каналы[1].

Картовые каналы располагаются обычно перпендикулярно к направлению карьеров и параллельно направлению главного канала. Расстояния между этими каналами около 30—50 *м*; глубина их (в основной массе) 0,7—1 *м*.

Картовые каналы впадают в карьерные каналы и располагаются в направлении горизонталей болота.

Таким образом, картовые каналы разбивают все болото на отдельные прямоугольники, или карты, площадью каждая от 1500 до 8000 $м^2$, в зависимости от мощности, характера и местоположения торфяника. Чем обильнее водой болото, чем больше его мощность и чем меньше степень разложения торфа, тем чаще должна быть сеть регулирующих картовых каналов и, следовательно, тем меньше площадь отдельных карт.

Поля карты со стороны неосушенного болота ограждают каналами от притока грунтовых вод; каналы проводят по границе поля сушки, и они должны иметь достаточную глубину (не менее 1 *м*).

При фрезерном способе добычи торфа необходима максимальная осушка верхнего слоя разрабатываемой залежи — для возможности мелкого крошения торфа фрезером; это нужно и потому, что при таком способе поля добычи и поля сушки торфяной крошки совпадают. Осушение осуществляется системой: а) боковых, так называемых валовых, каналов (впадающих в магистральный) и б) перпендикулярных к ним осушительных картовых каналов (рис. 393), располагаемых в направлении горизонталей поверхности и глубин торфа.

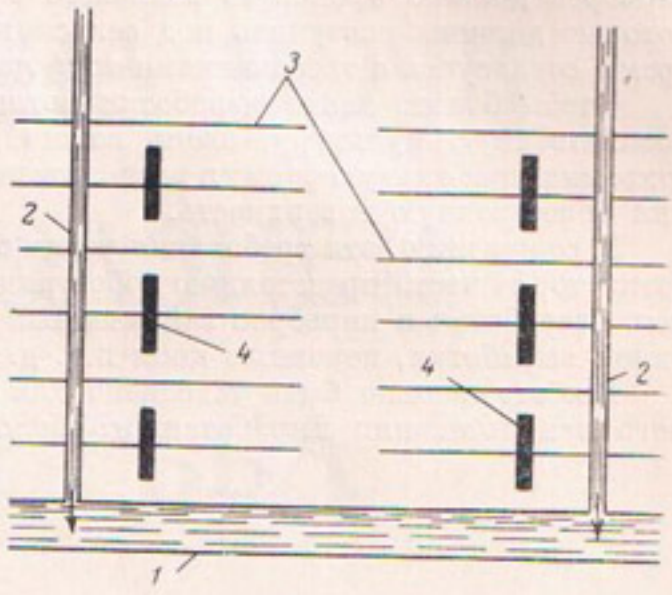


Рис. 393.

1 — магистральный канал; *2* — валовой канал; *3* — осушительный канал; *4* — штабеля торфа.

Расстояния между картовыми каналами должны обеспечивать понижение грунтовых вод между ними не меньше чем на 0,5 *м*. Глубина картовых каналов 0,9—1,2 *м*; желательный уклон около 0,001. Расстояния между боковыми каналами 500—600 *м* при открытых картовых каналах и 200—300 *м* — при закрытых. Картовые открытые каналы вводятся в проводящие с обеих сторон; посредине полосы между ними оставляется разрыв для проезда. Штабеля сухой торфяной крошки располагаются при механизированной уборке перпендикулярно к картовым каналам — вдоль проводящих каналов.

При осушении болота для гидравлического способа добычи торфа (гидроторф) карьерные каналы прорываются на расстояниях, кратных длине хода кранов, т. е. на 125 или 250 *м*, в зависимости от размера кранов; чаще это расстояние равно 500 *м*. Располагают эти каналы преимущественно по направлению уклона болота. Глубину проводящих каналов делают не меньше 1,5—1,75 *м*. Картовые каналы проводят перпендикулярно к валовым (желательно в направлении горизонталей болота), делая их глубиной около 1,00—1,25 *м*; расстояния между ними определяют, в зависимости от свойств торфа, по принципам расчета регулирующих дрен. Что касается осушения полей разлива для гидроторфа, то здесь расстояние

[1] В настоящее время широкое распространение получил щелевой дренаж, выполняемый дренажно-дисковой машиной ДДМ-5, а также глубокий щелевой дренаж (до 2,7 *м*), выполняемый машиной МГ-2 (см., например, Справочная книжка торфяника. Госэнергоиздат, 1955).

между проводящими каналами принимают от 500 до 800 *м*, глубину их — 1,75—2,00 *м*, чтобы уровень воды стоял на 1 *м* ниже поверхности полей. Направление этих каналов желательно по уклону болота. Картовые каналы должны быть расположены перпендикулярно к валовым каналам и по направлению горизонталей болота, на расстояниях 20—30 *м* друг от друга при глубине 1 *м*, чтобы создавать нужное понижение влажности торфа. Поэтому, во избежание большой потери площади, следует открытые картовые каналы заменять закрытыми дренами.

При рациональном проектировании осушительной сети на разрабатываемых торфяниках очень важно предусмотреть возможность последующего после выработки торфа сельскохозяйственного использования дна болота. В связи с этим возникают определенные задания по расположению главных и боковых проводящих каналов. Глубина их должна быть такова, чтобы она допускала последующую культуру выработанной площади, т. е. обычно ниже минерального дна болота. Расположение же этих каналов, а также карьеров должно придавать возможно более правильную форму участкам, которые должны поступить под сельскохозяйственную культуру, в то же время согласуясь с требованиями торфоразработки.

Чтобы болото после выработки могло быть использовано под сельскохозяйственную культуру, очень важно добычу торфа вести планомерно, сохраняя правильную форму и расположение выработанных карьеров и оставляя более ровную поверхность.

К сожалению, эти требования редко соблюдаются, и болото после выработки торфа часто представляет собой ряд отдельных, случайно расположенных разработок и карьеров законченных или незаконченных с разной глубиной выработки, неровным дном и т. д.

Все это должно быть устранено для последующего сельскохозяйственного использования выработанного болота.

IV

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАЗМЫВА ПОЧВ И ОПОЛЗНЕЙ И БОРЬБА С ЭТИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

Глава девятнадцатая

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАЗМЫВА ПОЧВ И ОПОЛЗНЕЙ И БОРЬБА С ЭТИМИ ЯВЛЕНИЯМИ[1]

Как отмечалось в начале книги, неурегулированный естественный водный режим той или иной территории может проявляться во вредном механическом действии воды на почву данной территории. Это действие может выражаться в явлениях размыва и смыва (эрозии) почвы, а также оползней грунта. Основные условия, благоприятствующие развитию эрозии почвы, лежат в природных факторах и в хищнических методах эксплуатации земли — истреблении лесов, отсутствии правильных севооборотов и развитии монокультуры, свойственных капиталистическому хозяйству. К. Маркс писал: «...всякий прогресс капиталистического земледелия есть не только прогресс в искусстве грабить рабочего, но и в искусстве грабить почву, всякий прогресс в повышении ее плодородия на данный срок есть в то же время прогресс в разрушении постоянных источников этого плодородия»[2].

Мероприятия для предупреждения и борьбы с эрозией почв представляют комплекс агротехнических, лесоводственных и водохозяйственных приемов и базируются на научных трудах наших выдающихся ученых В. В. Докучаева, П. А. Костычева, В. Р. Вильямса и их последователей. Борьба с эрозией почв основана в СССР на правильных принципах широкого генетического и комплексного подхода, и советская наука в этих вопросах опередила науку зарубежных стран.

Предупреждение эрозии почв и планомерная борьба с уже возникшей эрозией наиболее эффективны в условиях социалистического хозяйства, обеспечивающих возможность применения комплексных противоэрозионных мероприятий. Вопросы эти подробно рассматриваются в курсе агролесомелиорации; однако ввиду важности указанных мероприятий, связи их с остальными видами мелиораций и необходимости применения их на мелиорируемых землях нужно здесь на них кратко остановиться.

1. СИСТЕМА КОМПЛЕКСНЫХ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Размывание почвы текущими водами поверхностного стока представляет во многих районах очень серьезный ущерб для народного хозяйства. Вследствие размыва сносится верхний, плодородный слой почвы, и таким образом ежегодно уносятся в реки, а затем в море громадные количества таких ценных питательных веществ для растений, как азот, калий, фосфор и др., которые потом приходится возмещать в виде искусственных удобрений. В смытой почве содержится в среднем около 0,2% азота, 0,1% фосфора и до 2% калия. Размыв почвы образует промоины и овраги, засоряет поймы и русла рек своими выносами, сокращает полезную культурную площадь; образо-

[1] Ветровая эрозия здесь не рассматривается.

[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. XVII, 1937, стр. 553. *Прим. автора.*

вание промоин ускоряет поверхностный сток, уменьшает поглощение влаги в почву и способствует иссушению местности. В горных же местностях приходится иметь дело с селевыми потоками, приносящими крупные бедствия (заносы культурных площадей, разрушения зданий). По данным Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиораций, площадь, занятая оврагами в Европейской части СССР, составляет около 2 млн. гектаров, а площадь земель, подвергшихся смыву,— около 20 млн. гектаров[1].

Явления эрозии почв наиболее сильно были выражены в средних, южных и юго-восточных областях Европейской части Советского Союза (правобережье рек Днепра, Волги, Дона, Десны; междуречья рек Днепр — Южный Буг); в верховьях Оки, Дона, Северного Донца, Сейма; в центрально-черноземных областях, в Заволжье, в горных и предгорных районах — Приуралье, Северный Кавказ, Крым, Черноморское побережье, республики Средней Азии и Закавказья. Явления эрозии наблюдались также в ряде случаев на орошаемых землях, при неправильной технике орошения. Смыв почв на склонах круче 2—4° после обильных дождей или в результате весеннего стока достигает 20—50 тонн с 1 *га*, а после ливней и больше.

По данным С. С. Соболева, с полей на подверженных эрозии землях в Европейской части СССР может уноситься (в год) свыше 142 млн. тонн почвы[2], содержащей около 426 тыс. тонн азота, 142 тыс. тонн фосфора (P_2O_5) и 2340 тыс. тонн калия (K_2O).

В результате смыва за год почва может терять больше питательных веществ, чем потребление их хорошим урожаем сельскохозяйственных культур. Вследствие этого урожаи культур на подверженных смыву почвах значительно снижаются.

Меры предупреждения и борьба с явлениями смыва и размыва почв чрезвычайно важны. Наиболее актуальное значение эти меры имеют в центрально-черноземных, южных и юго-восточных областях Европейской части СССР, а также в предгорных и горных районах Крыма, Северного Кавказа, Средней Азии и Закавказья.

Развитию явлений смыва и размыва почв в указанных районах в прошлом способствовали прежде всего социально-экономические условия дореволюционной России: бесплановое частновладельческое хозяйство с его хищническим отношением к природным богатствам страны и прежде всего к земле; мелкое крестьянское землевладение с густой сетью граничных меж, служащих источниками размыва почв и тормозом для развития необходимых предупредительных мероприятий побассейнового характера; распашка крутых склонов в черноземной полосе (вследствие недостатка земли у крестьян); хищническая бесплановая вырубка лесов на водоразделах и склонах и др. Все эти факторы в зарубежных капиталистических странах действуют и теперь и служат причиной усиленного развития эрозии почв.

Отсутствие частной собственности на землю, плановая система хозяйства, коллективизация сельского хозяйства в СССР создали все необходимые условия не только для борьбы с явлениями эрозии почвы, но и для их предупреждения. Эти условия позволяют успешно осуществлять у нас планомерную систему мероприятий по недопущению и борьбе с эрозией почвы, состоящую из совокупности лесоводственных, агротехнических и водохозяйственных мероприятий.

Главнейшие факторы, обусловливающие возникновение явлений смыва и размыва почв, следующие.

1. Значительные уклоны поверхности ($>0{,}025$) при малой водопроницаемости почв и низкой способности их к поглощению стекающей воды; большая разность отметок водораздела и дна балки увеличивает опасность размыва.

2. Отсутствие прочной комковатой структуры почв, большая дисперсность их; водопроницаемые и структурные почвы мало подвержены размыву, так как, хорошо поглощая стекающую воду, структурные почвы уменьшают слой и скорость стекающей воды. Проведенные исследования показывают, что почва тем легче подвержена смыву, чем больше отношение содержащейся в ней кремнекислоты (SiO_2) к сумме полуторных окислов (R_2O_3) (т. е. превышает 2,0).

---

[1] Агролесомелиорация. ВНИАЛМИ — Сельхозгиз, М., 1948.

[2] С. С. Соболев. Борьба с эрозией почв. «Советская агрономия» № 8, 1947, стр. 69. *Прим. автора.*

3. Значительные массы одновременно стекающей воды, образующие слой большой толщины, движущийся с большой скоростью, превосходящей критическую скорость размываемости данного грунта.

4. Состояние поверхности почвы, увеличивающее скорость стекания и размываемость (вспашка по склону очень сильно способствует размыву).

5. Характер растительного покрова: травяной и лесной покров задерживает часть выпадающих осадков (на листьях, кронах, в лесной подстилке, дернине), замедляет сток, закрепляет почву корневой системой и т. д.

6. Степень сухости почвы: сухие почвы размываются легче влажных, поэтому южные и западные склоны размываются легче северных и восточных.

7. Очень важную роль играет величина водосборной площади: чем она больше, тем больше количество стекающей воды и, следовательно, сильнее размыв.

8. С увеличением крупности капель дождя усиливается удар их, уменьшается поглощение воды и сильно возрастает размыв почв.

Из сказанного видно, что на усиление и даже возникновение процессов эрозии очень большое влияние оказывает неправильное ведение хозяйства: уничтожение лесов, вспашка вдоль склонов, проведение борозд и канав по уклону, неправильная пастьба скота, отсутствие травопольных севооборотов и мелкокомковатой структуры почв и т. п.

В силу многообразия факторов, обусловливающих эрозию почв, мероприятия по предупреждению и борьбе с этим явлением должны представлять комплексную систему мер. *«Эти меры должны быть цельны, строго систематичны и последовательны, как сама природа»*,—писал В. В. Докучаев[1]. Главнейшие звенья этой комплексной системы мероприятий следующие.

1. Обеспечение прочной комковатой структуры почвы путем введения на подверженных эрозии землях в одних случаях травопольных севооборотов, в других — правильной системы обработки почвы. Комковатая структура сильно повышает способность почвы поглощать воду и благодаря этому уменьшает сток и смыв почвы.

2. Защита поверхности почвы от эрозии хорошим покровом культурных растений; растительный покров уменьшает скорость стекания воды, задерживает илистые частицы и препятствует их выносу; особенно сильное действие в этом отношении оказывают травы. В таблице 103 приведены данные наблюдений по смыву почвы Украинского института социалистического земледелия в колхозе имени Шевченко Винницкой области.

Таблица 103

Поля	Крутизна склона (в град.)	Смыв почвы (в *т/га*)
Пар чистый	3,5	47,5
» »	4,0	25,3
Сахарная свекла	3,0	27,2
Клевер двухлетний	8,0	2,5

Чем лучше развиты сельскохозяйственные растения, тем лучше они защищают почву от эрозии; поэтому обеспечение структуры почвы и высокая агротехника с применением органических и минеральных удобрений, повышающие урожаи сельскохозяйственных культур, способствуют защите почв от эрозии.

3. Регулирование стока талых и дождевых вод путем обработки почвы и посева растений не вдоль, а поперек склона, бороздование зяби вдоль горизонталей, прерывистое бороздование для задержания дождевых вод на склонах, заравнивание размывов на полях; мероприятия по снегозадержанию.

[1] В. В. Докучаев. Наши степи прежде и теперь. Избранные сочинения, т. II, 1949, стр. 219. *Прим. автора.*

Очень важно для борьбы с эрозией максимальное задержание снеговой воды на полях; оно достигается: а) принятием мер против сдувания снега с полей в понижения рельефа, которое составляет свыше 15—20% общего количества снега; б) созданием условий для возможно большего поглощения снеговой воды почвой; в) непосредственным задержанием снеговой воды на полях и предохранением ее от стекания; для этих целей делаются временные кулисы и снежные валики, снежные кучи, щиты, высокое жнивье; все эти преграды должны быть продуваемыми (снизу); для усиления поглощения снеговой воды применяется прерывистое бороздование, поперечная пахота и др.

4. Создание защитных лесных полос поперек склонов; они способствуют правильному распределению снега по поверхности, умеряют скорость ветра в приземном слое воздуха и снижают испарение и иссушение почвы, что особенно важно для защиты от ветровой эрозии. Лесные полосы способствуют увеличению продукции не только надземной массы растений (особенно трав), но и корней, что ведет к накоплению органического вещества в почве и к улучшению ее структуры. Это можно иллюстрировать следующими опытами Института земледелия центрально-черноземной полосы имени Докучаева в Каменной степи Воронежской области (табл. 104).

Таблица 104

Условия опыта	Сумма прочных агрегатов (комков) почвы (в %)		Количество корневых остатков (в т/га)
	$d>1{,}0$ мм	$d<0{,}25$ мм	
Полевой севооборот			
Травосмесь (пырей + люцерна) первого года:			
в степи	25,7	71,0	5,3
среди лесных полос	33,8	73,9	5,7
Кормовой севооборот			
Травосмесь двухлетнего пользования:			
в степи	34,7	72,9	6,8
среди лесных полос	38,2	76,8	8,3

5. Правильная организация территории с учетом рельефа и свойств почв; правильное размещение полевых, луговых и лесных угодий (лесных массивов и полос) по элементам рельефа, согласно учению В. Р. Вильямса; разбивка длинных склонов на несколько полей, расположение длинных сторон полей и дорог вдоль горизонталей.

6. Зарегулирование стока путем создания прудов, водоемов и лиманов в верхних и средних частях рельефа, задерживающих весенние талые воды, что уменьшает общий сток их и размыв нижележащих площадей.

Система вышеуказанных мероприятий является основной во всех подверженных эрозии районах.

Текущая по поверхности склонов вода обладает механической силой, пропорциональной ее живой силе $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса стекающей воды, а v — скорость стекания.

Из приведенного выше (в главе XV) уравнения размыва почвы после сокращения его получим следующее условие размыва:

$$\lambda \frac{v^2}{2g} > \frac{2}{3} d \left(\frac{\gamma'}{\gamma} - 1 \right) f,$$

т. е. размыв почвы будет происходить тем интенсивнее, чем больше масса и скорость стекания воды, чем меньше шероховатость поверхности, чем меньше диаметр почвенных частиц, т. е. чем хуже структура и больше распыление почвы (обозначения см. гл. XV).

Скорость и слой стекающей по склону воды на расстоянии x от водораздела (начала стока), как было установлено выше (гл. XI), равны:

$$v_x = \sqrt{Cx(h-k)} \quad \text{и} \quad y = \sqrt{\frac{x(h-k)}{C}},$$

где h — интенсивность осадков в единицу времени;

$C = \alpha\sqrt{I}$;

k — скорость поглощения воды в почву.

Эти формулы показывают, что скорость и толщина слоя стекающей по склону воды увеличиваются с увеличением x, т. е. по мере удаления от водораздела. *Поэтому с увеличением длины склона степень смыва почвы возрастает.*

Количество смываемых потоком почвенных частиц G пропорционально количеству стекающей воды yv_x и содержанию влекомых частиц в ней μ, т. е. $G = yv_x\mu$. В соответствии с имеющимися исследованиями ряда авторов, можно принять, что величина $\mu = A_1\frac{v^a}{y}$, где коэффициент A_1 зависит главным образом от размера частиц d, формы, удельного веса и скорости перемещения их, а показатель степени $a \approx 2$. Поэтому можно принять:

$$G = A_1 v^{1+a} = A_1 v^3 \approx A x^{1,5}(h-k)^{1,5} I^{0,75},$$

где $A = A_1\alpha^{1,5}$; здесь α — коэффициент в формуле $C = \alpha\sqrt{I}$.

В общем виде можно написать:

$$G = A x^m (h-k)^{m_1} I^n.$$

Так как $I = \operatorname{tg}\beta$, то величина эрозии усиливается с увеличением крутизны склона, причем до угла наклона $\beta = 20-25°$; это увеличение идет быстро, а затем замедляется и при уклоне $\beta = 40-45°$ эрозия достигает максимума.

Из приведенного выражения G видно, что количество смываемой почвы возрастает с увеличением длины стока x, интенсивности осадков h, с уменьшением поглощения воды в почву k и с увеличением уклона поверхности (пропорционально I^n). Показатель степени n, в среднем равный 0,75, как показывают опытные данные, изменяется от 0,4 до 1—1,2; значение n повышается с увеличением распаханности, распыленности и сухости почвы, с уменьшением крутизны склона. По данным В. Б. Гуссак, для гумусных красноземов Грузии $n = 0,4$; Я. П. Корнев для лесных суглинков Новосильской опытно-овражной станции дает значение $n = 0,75$.

Увеличение смыва почвы и связанное с этим падение урожая с увеличением длины стока (т. е. расстояния от водораздела) при уклонах 0,03—0,05 можно иллюстрировать следующими данными Новосильской опытно-овражной станции (табл. 105).

Таблица 105

Расстояния от водораздела (в м)	Смыв почвы (в т/га)		Содержание (в %)		Урожаи ржи средние за 6 лет (в ц/га)
	весенний сток	ливень 54 мм	гумуса	азота	
100	2,1	12,4	3,16	0,16	11,26
200	4,5	18,8	2,32	—	10,06
300	14,6	67,8	2,03	—	9,53
400	20,4	109,5	2,01	0,12	7,74
500	26,6	—	1,43	0,08	5,71
600	31,4	—	—	—	—

Величина смыва почвы, составившая на станции за все время наблюдений в среднем около 686 т/га, распределялась по длине склона таким образом:

Длина (в м)	100	248	301	381	439
Смыв (в т/га)	162	254	390	905	1610

Размывающее действие стекающей воды проявляется в двух основных формах: 1) смыва и 2) размыва. В первом случае вода действует на грунт подобно подпилку; во втором же случае действие воды можно сравнить с действием пилы. *Процесс смыва переходит в процесс размыва, как только*

условия рельефа и количество воды способствуют концентрации стекающей воды в отдельные потоки и ручьи. Переход процесса смыва в процесс размыва дает начало образованию оврага. По мере движения стекающей воды вниз по склону толщина слоя и скорость воды, а следовательно, и ее живая сила возрастают и достигают такой величины, что в нижней части склона вода начинает рыть себе русло, имеющее форму рытвины с крутыми берегами, заканчивающейся как бы тупиком; эта рытвина увеличивается снизу вверх и постепенно достигает вершины склона. Процесс размыва отступает вверх, а потому овраги растут своей вершиной, постепенно врезаясь в нетронутую почву. Есть овраги, длина которых достигает 25—30 *км*. Размываемые вверху частицы грунта переносятся водой по оврагу и в нижней части его постепенно отлагаются. Таким образом, деятельный овраг подразделяется на три части: 1) верхнюю, где преобладает снос материала и где наблюдается наиболее сильный размыв и наибольший уклон дна; 2) среднюю, где уклон дна имеет среднее значение и где в общем наблюдается равновесие между размывом и отложением; 3) нижнюю, где отлагается часть размытого материала и уклон дна имеет наименьшее значение. Размыв и отложение регулируют продольный профиль оврага, и каждая нижележащая часть не может иметь большего падения, чем верхняя часть; состояние нижележащей части русла определяет состояние вышележащего участка. Поэтому продольный профиль оврага или профиль равновесия его представляет собой кривую, обращенную вогнутостью кверху и кривизна которой возрастает от базиса эрозии.

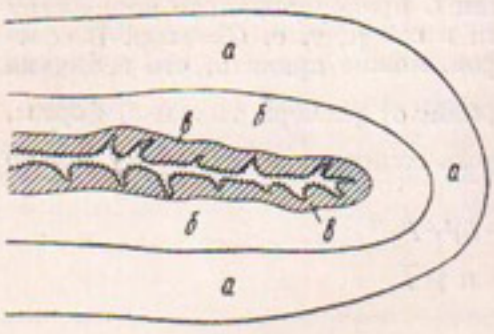


Рис. 394.

Профиля равновесия овраг достигает только тогда, когда сопротивление ложа и берегов оврага размыву уравновешивает силу стекающей воды. Рост оврага в длину прекращается тогда, когда устранены причины его образования, прежде всего уменьшены масса и скорость стекающей воды, и когда отступление вершины оврага остановится на каком-либо препятствии, не поддающемся размыву. Развитие же оврага в ширину, вследствие разрушения откосов, закончится тогда, когда остановится процесс прогрессивного углубления дна оврага и боковые откосы примут уклоны, соответствующие углам естественного откоса грунта. Достигнув профиля равновесия, овраг прекращает свой дальнейший рост и становится недеятельным. Склоны его покрываются растительностью, и овраг превращается в балку. Но стоит только равновесию нарушиться, например вследствие увеличения количества стекающей воды, как процесс размыва уже задернелой балки (или лощины) может начаться снова; это будут уже овраги вторичного образования: таких оврагов очень много, особенно в центрально-черноземных областях; они образуются в результате размыва лощин и речных долин древнего происхождения, причем следует различать два вида размыва (как это установлено гидрологическими исследованиями А. С. Козменко в Тульской области): донный (размыв дна лощин, образование вымоин) и береговой (размыв берегов лощин и склонов долин)— образование береговых промоин.

Подверженные эрозии водосборы А. С. Козменко[1] делит на три основные части: *а* — приводораздельную, *б* — присетевую и *в* — гидрографическую (рис. 394). На первой части, самой большой по площади, процессов смыва обычно нет, но накапливаются массы воды; на второй части имеются бóльшие уклоны, образуются бóльшие скорости течения

[1] А. С. Козменко. Основы противоэрозионной мелиорации. Сельхозгиз, М. 1954; его же. Борьба с эрозией почв. Сельхозгиз, М., 1954. *Прим. автора.*

воды, зарождаются отдельные потоки воды и почва энергично смывается; на третьей части, имеющей уклоны свыше 0,15, стекающие потоки воды концентрируются и происходит не только смыв, но и размыв почвы.

Гидрографическая часть, или сеть водосбора[1] (по А. С. Козменко), представлена на рисунке 395.

В средней полосе РСФСР процент площади, занятой гидрографической сетью, составляет от 10 до 20%; соотношение отдельных звеньев гидрографической сети здесь выражается в размерах, указанных в таблице 106.

Таблица 106

Звенья гидрографической сети	Площадь водосбора (в га)	Районы с коэффициентом расчленения водосбора[2] (в %)		Ширина дна и двух берегов (в м)
		1,0—1,3	1,3—1,6	
Ложбины	До 50	15	20	30—80
Лощины	50—300	25	40	80—150
Лощино-суходолы . . .	300—800	30	20	150—200
Суходолы	800—3000	20	15	200—300
Долины речные	> 3000	10	5	150—300

Приводораздельная часть водосбора, имеющая пологие склоны, обычно используется как пахотная площадь; присетевая часть водосбора может

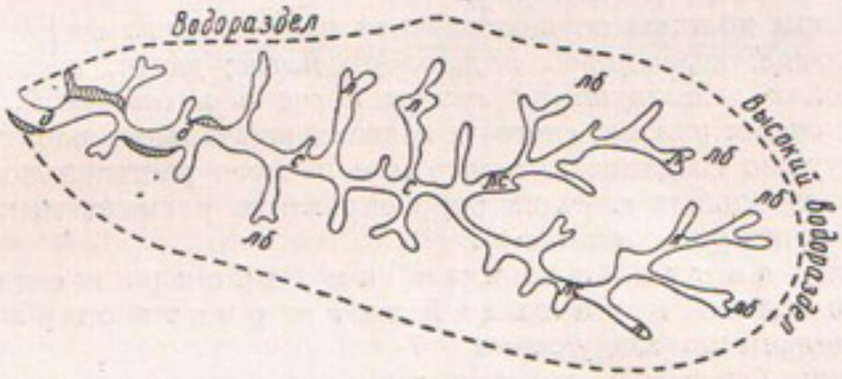


Рис. 395. Звенья гидрографической сети в пределах замкнутого водосбора речной долины:
лб — ложбина; *л* — лощина; *лс* — лощино-суходол; *с* — суходол; *д* — долина (речная).

использоваться как луговая площадь или пахотная, но при условии участия в севообороте трав и исключения пропашных культур, требующих частых рыхлений; гидрографическая часть водосбора используется под лес или луг (сенокос); здесь же в подходящих местах на размытых частях лощин устраиваются водоемы.

Меры предупреждения и борьбы с явлениями эрозии вытекают из условий происхождения и развития этих явлений. Как было сказано, процессы смыва и размыва проявляются тем энергичнее, чем больше живая сила стекающей воды, т. е. количество и скорость ее, и чем меньше водопроницаемость почвы и шероховатость ее поверхности. Для процесса же размыва уже образовавшихся лощин, кроме указанных факторов, имеет значение и высота водораздела над дном лощин или вообще над базисом эрозии.

Из сказанного видно, что главнейшие меры предупреждения и борьбы с явлениями смыва и размыва почвы должны сводиться к следующим основным:

[1] Журнал «Гидротехника и мелиорация» № 1, 1953.

[2] Коэффициент расчленения — длина сети в километрах на 1 км² водосборной площади. *Прим. автора.*

1) уменьшению количества стекающей по склону воды;
2) увеличению способности почвы поглощать воду;
3) уменьшению скорости стекающей воды;
4) увеличению сопротивления поверхности почвы размыву;
5) возможному поднятию базиса эрозии.

В деле борьбы с эрозией необходимо прежде всего предупреждение или прекращение явлений смыва почвы и недопущение перехода их в размыв; эта задача возникает главным образом на приводораздельной и присетевой частях водосбора.

Если же явление размыва уже началось, то необходимо прекращение развития процессов размыва и укрепление против дальнейшего размыва происшедших разрушений грунта. Эта задача возникает на гидрографической части водосбора и отчасти на присетевой.

Сообразно сказанному можно выделить следующие основные группы противоэрозионных мероприятий.

1. Меры, направленные на предупреждение или уменьшение явлений смыва и недопущение размыва:

а) увеличение водопоглощающей способности почв и тем самым уменьшение количеств стекающей воды;

б) задержание на водосборе и более равномерное распределение стекающей воды, тем самым уменьшение слоя и скорости стекающей воды;

в) увеличение сопротивления поверхности почвы размыву (и, следовательно, уменьшение скорости стока).

Все эти меры должны осуществляться прежде всего созданием и поддержанием *прочной комковатой структуры почвы*; далее, необходимы *создание на склонах полезащитных лесных полос и насаждений*, *обработка почвы и посев поперек уклона*; снего- и водозадержательные работы. На крутых склонах нужно создание лугового или лесного растительного покрова и, наконец, в отдельных случаях террасирование размываемых поверхностей (при особенно крутых склонах).

2. Меры, направленные на прекращение процесса размыва и дальнейшего роста оврагов, могут быть разделены на следующие:

а) облесение берегов и склонов промоин и оврагов в целях затенения, снегонакопления и увлажнения склонов и скорейшего задернования их;

б) уменьшение количеств воды, поступающей в промоину или овраг, путем устройства на водосборной площади оврага канав или валов, идущих по горизонталям и отклоняющих воду от вершины оврага, а также нагорных канав, отводящих стекающие воды в естественный водоприемник, и лесных полос, поглощающих воду;

в) уменьшение скорости стекающей воды по оврагу путем устройства по длине оврага ряда поперечных уступов или перепадов, на которых теряется живая сила стекающей воды; укрепление земляной поверхности оврага против размыва и увеличение его шероховатости (например, выстилка хворостом, дерном, камнем);

г) повышение базиса эрозии действующих оврагов; эта мера может применяться в сочетании с первыми.

Все эти меры имеют своей целью приостановить дальнейший рост оврага как в длину, так и в глубину и ширину. Приостановив рост оврага, необходимо закрепить вершину и откосы его от обвалов, сползания и выпирания. Это достигается укреплением вершины оврага при помощи лотков, перепадов или подпорных стен, а откосов оврага — планированием их, устройством одежды и др.

В дальнейшем кратко остановимся на перечисленных мерах.

2. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЫВА ПОЧВЫ

Основное значение в деле предупреждения и борьбы с явлениями смыва почв, как сказано выше, имеет усиление поглощения ею стекающей воды и обеспечение ее прочной комковатой структуры, достигаемые путем введения травопольных севооборотов или соответствующей системы обработки почвы, в зависимости от местных условий. Очень важно также применение органических удобрений в целях накопления в почве гумуса, увеличивающего влагоемкость и прочность структуры. Для предупреждения эрозии необходима поперечная обработка почвы и глубокая вспашка.

На более крутых склонах присетевой части водосбора, подвергающихся значительной эрозии (свыше 5—15 *т* с 1 *га* на озимых зерновых, по С. С. Со-

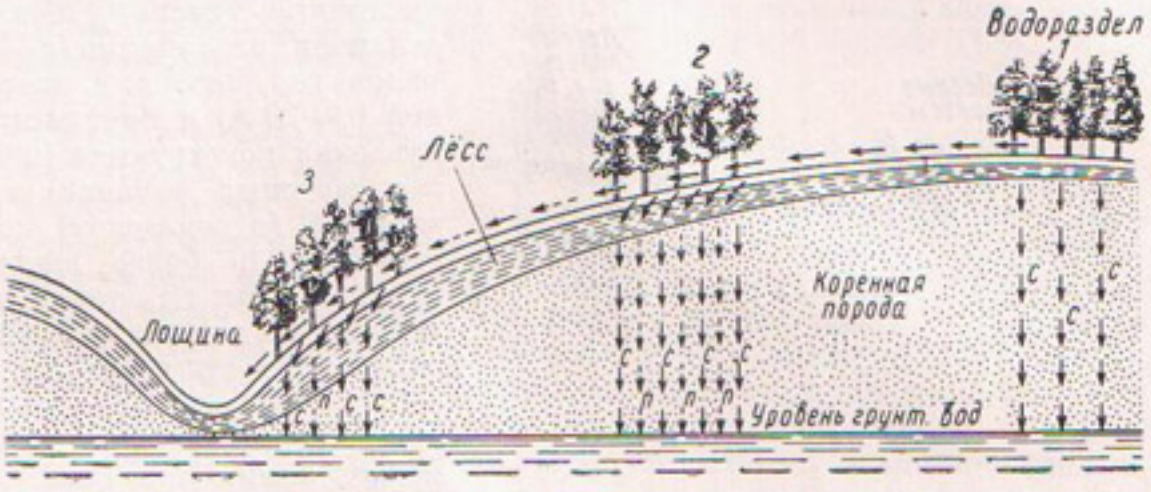


Рис. 396.

болеву), еще применяется: а) введение особого почвозащитного севооборота с увеличением числа полей трав; б) замена чистых паров занятыми; в) сокращение ширины полей (до 150—200 *м*), с чередованием культур вдоль склона; г) исключение из севооборота пропашных культур.

При большей крутизне склонов, когда интенсивность эрозии достигает 15—25 *т* на 1 *га* на озимых зерновых, применяется также пересечение полей поперек склона (вдоль горизонталей) полосами многолетних трав, способствующих поглощению воды и задержанию смываемой почвы.

При использовании под полеводство крутых склонов для прекращения смыва и размыва почвы, кроме перечисленных мероприятий, применяются также следующие.

З а к л а д к а п о п е р е к с к л о н а в о д о р е г у л и р у ю щ и х (водопоглощающих) л е с н ы х п о л о с. В полосах накопляется лесная подстилка, почва промерзает слабо, быстро оттаивает весной и легко поглощает стекающую воду (рис. 396). Полосы можно делать также из фруктовых деревьев и ягодников.

Ширина водопоглощающей лесной полосы B может быть определена на основе следующих соображений. Если длина склона, с которой поступает стекающая вода на данную полосу (расстояние до вышележащей полосы или водораздела) равна l *м* (рис. 397), ширина полосы равна B *м*, а интенсивность осадков (или таяния) равна h *м/мин*, то в соответствии с изложенным выше (гл. XI), можно написать следующее равенство:

$$lh\sigma t = BK_{ср}\cdot(T+t),$$

откуда получим

$$B=\frac{lh\sigma}{K_{ср}}\cdot\frac{t}{t+T},$$

где $\sigma=\left(1-\frac{k}{h}\right)\varphi$ — коэффициент стока на водосборной полосе длиной l, причем $\varphi=\frac{tv}{l}\leqslant 1{,}0$ — коэффициент замедления стока; $K_{ср}$ — средняя за время $(T+t)$ скорость

поглощения воды в почву на лесной полосе в *м/мин*; t — продолжительность осадков; T — продолжительность стока воды после окончания дождя; $T \leqslant t$. Полученная по вышеуказанной формуле величина B увеличивается на 10—15 *м* за счет ширины опушечной промерзающей полосы.

Водопоглощающие лесные полосы располагаются на приводораздельной части размываемого склона, в середине его и на границе с гидрографической сетью. Они делаются непродуваемой конструкции с густым подлеском, так как такие полосы лучше задерживают стекающую воду.

При большой длине склонов между водопоглощающими полосами устраиваются лесные защитные полосы, имеющие задачей уменьшение скорости ветра и более равномерное задержание и распределение снега по площади склона и регулирование стока талых вод; защитные «ветроломные» лесные полосы делаются более узкими (в 5—7 рядов деревьев, т. е. шириной 10—20 *м*) и притом продуваемой конструкции (в более северных районах) или ажурной (с подлеском) конструкции (в более южных районах), так как такие полосы лучше влияют на уменьшение скорости ветра и способствуют более равномерному распределению снега между ними. Полезащитные полосы располагаются на пологих склонах перпендикулярно к направлению наиболее опасных ветров, а на крутых, сильно размываемых склонах — вдоль горизонталей склона. Расстояния между лесными полосами делаются такой величины, чтобы полосы не могли препятствовать механизации сельскохозяйственных работ на полях.

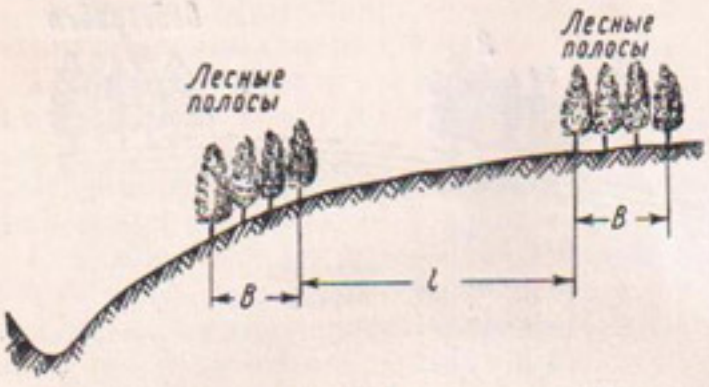


Рис. 397.

На крутых склонах (> 0,05) расстояние между защитными полосами B определяется (по А. С. Козменко) по формуле:

$$B = aH \frac{1}{1 + aI},$$

где H — высота деревьев;

a — коэффициент ветрового и снегового воздействия полосы на пологом склоне, равный от 15 до 25;

I — уклон склона.

Перпендикулярно к продольным лесным полосам закладываются поперечные полосы через 1000—1500 *м*. В местах стыка лесных полос оставляют разрывы (шириной 25—50 *м*) для проезда тракторов с прицепными орудиями. Лесные полосы делаются в виде смешанных насаждений из 4—8 древесных пород (дуб, тополь, ясень, лиственница, сосна, акация, вяз, клен, липа, лох, лещина, жимолость и др.).

Расстояния между рядами деревьев делаются 1,5—2,3 *м*, а между деревьями в ряду 0,7—1 *м*.

Полезащитные лесные полосы умеряют скорость ветра, повышают относительную влажность воздуха, снижают интенсивность испарения почвы и транспирации растений, способствуют более равномерному распределению снега и поглощению влаги почвой, уменьшают сток воды и смыв почвы и благодаря всему этому повышают плодородие почвы и урожай сельскохозяйственных культур на землях между полосами.

Влияние лесных полос на повышение урожаев можно иллюстрировать следующими примерами. По данным Института земледелия центрально-черноземной полосы имени Докучаева в Каменной степи, Воронежской области, в таблице 107 приведены урожаи (в *ц* с 1 *га*) в засушливый 1946 г.

Таблица 107

Культуры	Травопольный севооборот				Паропропашной севооборот	
	между полосами		в открытой степи		в открытой степи	
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
Озимая пшеница	16,5	27,8	10,5	18,8	5,3	14,9
Яровая »	10,6	12,5	7,8	10,8	5,8	8,8
Овес	15,7	24,2	7,8	16,2	4,4	8,9

На Богдинском опорном пункте ВНИИАЛМИ защитные лесные полосы обусловили прибавку урожая (в среднем за 1942—1946 гг.): по яровой пшенице 119%, по ржи 50, по ячменю 108, по просу 97%.

Для задержания воды на водосборе применяется также устройство на склонах невысоких валиков по горизонталям; валики должны задерживать всю воду атмосферных осадков, выпадающих между двумя соседними валиками. Отсюда определяются и расстояния между ними. С верховой стороны валика делается водосборная канавка, причем объемы валика и канавки на погонный метр длины равны.

Устройство валиков более сложное, но зато быстро действующее мероприятие против эрозии, способствующее также увлажнению почвы. Так как с увеличением уклона расстояния между валиками должны уменьшаться, то эта мера применяется на более пологих склонах, начиная с приводораздельных частей склона. Валики должны иметь по длине разрывы для перепуска воды и во избежание переувлажнения почвы у валиков.

Недостатками устройства валиков являются: а) потери площади под ними — до 2—3%; б) затруднение механизации сельскохозяйственных работ при узких расстояниях между валиками. Для устранения этих недостатков валики следует делать или с очень пологими откосами, т. е. переходимыми, или же временными, ежегодно нарезаемыми осенью и заравниваемыми перед началом полевых работ, после прохода весенних вод.

Для усиления поглощения воды в почву как весеннего снегового, так и летнего стока в настоящее время предложено (П. С. Волковым) щелевание почвы, состоящее в устройстве в почве вертикальных щелей глубиной до 70 *см* и шириной 2—3 *см*.

Щели нарезаются через 1,40 *м* одна от другой при помощи специальных плугов; опыты устройства их показали хорошие результаты по поглощению стекающей воды, причем они занимают не больше 3% полезной площади, занятой культурами. Достоинство щелей по сравнению с валиками в том, что они не стесняют механизации сельскохозяйственных работ.

Очень важной предупредительной мерой против образования промоин и оврагов является также распыление стока (перевод больших ручьев в малые). Оно достигается: а) уменьшением числа разъемных борозд и свальных гребней, загонной пахотой с чередованием ее всвал и вразвал; б) направлением вспашки перпендикулярно образующимся ложбинам; в) устройством распылителей стока по всем межам, дорогам, границам полей, уничтожением напашей по границам леса и пашни, путем устройства прокопов или, наоборот, пересыпки борозд и т. д.

Для уменьшения скорости стока применяется также закладка постоянной луговой полосы на присетевой наиболее крутой части склона около бровки.

На крутых склонах, при уклонах местности до 6—8°, для борьбы с эрозией почвы применяется иногда террасирование при помощи устройства невысоких валов по горизонталям местности; действие их основано на задержании стекающей воды и поглощении ее почвой.

Кроме предохранения почв от смывания, террасирование содействует большему увлажнению почвы, так как задерживает сток воды, увеличивает его продолжительность и впитывание влаги почвой.

На террасируемых склонах необходимо принятие мер для повышения водопроницаемости почв, чтобы можно было увеличить ширину террас. Террасирование нужно вести, начиная от водораздела, и защищать террасируемую площадь от возможности поступления на нее стока со стороны лежащих выше нетеррасированных площадей (при помощи нагорных каналов, оградительных валов).

Террасы делаются при помощи валов, идущих по горизонталям или имеющих определенный уклон.

Размеры террас с горизонтальными валами устанавливаются на основе таких соображений.

Количество воды, скопляющееся на террасе на единицу длины вала и равное объему призмы, ограниченной горизонтом ab, должно быть равно расчетному количеству стока с ширины террасы l (рис. 398).

Если продолжительность дождя равна t, интенсивность его p и средняя скорость поглощения воды в почву за время выпадения дождя $\frac{k_0}{t^a}$, то с ширины террасы l за

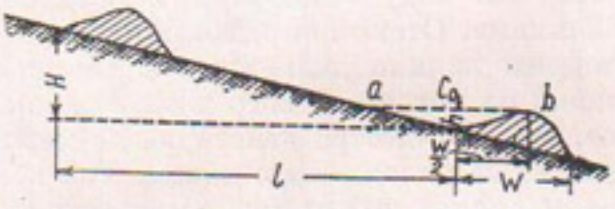


Рис. 398.

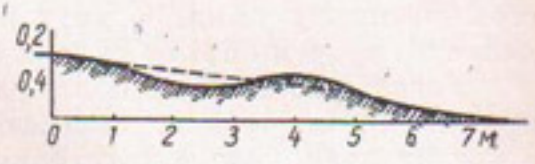


Рис. 399.

время t стекает количество воды, равное $lt\left(p-\frac{k_0}{t^a}\right)$ (на единицу длины вала). Это количество воды должно быть равно объему воды, задерживаемой валом, т. е.

$$ab\frac{h}{2}=(ac_0+bc_0)\frac{h}{2}=\left(\frac{w}{2}+\frac{lh}{H}\right)\frac{h}{2}.$$

Таким образом, можно написать:

$$l(tp-k_0t^{1-a})=\left(\frac{w}{2}+\frac{lh}{H}\right)\frac{h}{2}.$$

Так как $\frac{H}{l}=I$ есть уклон поверхности земли, то из предыдущего уравнения получим:

$$l=\frac{hw+\frac{2h^2}{I}}{4(tp-k_0t^{1-a})} \quad \text{и} \quad H=\frac{whI+2h^2}{4(tp-k_0t^{1-a})}.$$

Из приведенных формул видим, что расстояние l между валами или ширина террас и высота их H могут быть тем больше, чем больше способность почвы поглощать воду k_0, чем меньше количество дождя tp, чем меньше уклон поверхности I и чем больше допустимые размеры валов (ширина w и высота или допустимая глубина слоя воды h).

Поперечное сечение валов должно быть очень пологим, чтобы машины могли переходить через них. Схематически это сечение показано на рисунке 399.

Гребень валов должен быть горизонтальным, а высота валов такова, чтобы стекающие с террасы воды не могли переливаться через гребень вала (при принятой ширине террас l). Размеры валов принято делать следующими: ширина $w=1{,}5—4$ м, высота вала 0,20—0,35 м, высота террас $H=0{,}6—1{,}2$ м, в зависимости от уклона поверхности и расчетной силы дождя (при уклонах 3—8°).

Террасы с горизонтальными валами применимы на местностях с небольшим количеством весеннего и ливневого стока; иначе нужно увеличивать высоту валов, делать в них водоспуски для пропуска ливневых расходов. В местностях с обильным весенним или ливневым стоком предпочтительнее делать террасы с валами, имеющими уклон от 0,005 до 0,01, так как в этом случае вода стекает вдоль валов.

Террасы с валами, имеющими уклон, могут располагаться по склону реже, чем террасы с валами по горизонталям, и иметь более низкие валы. Это объясняется тем, что при валах с уклоном часть скопляющейся воды стекает вдоль вала, и потому не нужно увеличивать высоту валов или уменьшать ширину террасы. Валы с уклоном

делаются широкими (6—9 *м*) и невысокими (0,15—0,25 *м*), чтобы они были проходными машинами и их можно было засевать наравне со всей площадью террас.

Расчет террас, имеющих продольный уклон, ведется на основе следующих соображений. Поток воды, идущий вдоль вала, должен иметь такие размеры и такой уклон i, чтобы вода отводилась к водоприемнику без возможности перелива через вал и чтобы за время выпадения дождя t вода стекала с ширины террасы l. Связь между размерами террас, имеющих продольный уклон, и интенсивностью осадков, поглощением воды почвой и глубиной воды h в каждом данном створе террасы определяется по приведенным выше формулам для горизонтальных террас. Однако при наклонных террасах величина h по длине террасы L постепенно увеличивается, так как по мере удлинения вала сверху вниз увеличивается количество воды, стекающей вдоль вала. В целях удобств механизированной обработки почв желательно сохранять постоянными по длине террасы L ширину ее l и высоту H; поэтому нужно увеличивать по длине террасы L уклон валов i или высоту их (сообразно увеличению h); последняя должна быть равна $(h+0{,}10)$ *м*. Наибольшего значения величина h достигает в нижней части по длине террасы L.

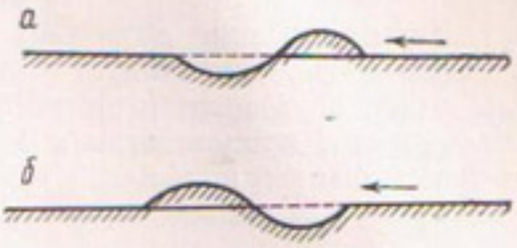


Рис. 400.

Длина террасы по направлению вала определяется на основании следующих соображений.

Для длины террасы L можно написать следующее уравнение баланса воды:

$$Ll\,(tp - k_0 t^{1-\alpha}) = Fvt + F_0 L,$$

где F — живое сечение водного потока в конце вала, а F_0 — то же сечение, но среднее на длине вала L.

По предыдущему

$$F = \frac{h}{2}\left(\frac{w}{2} + \frac{h}{I}\right) \quad \text{и} \quad F_0 = \frac{h_0}{2}\left(\frac{w}{2} + \frac{h_0}{I}\right),$$

где h — глубина воды в конце террасы;

h_0 — средняя по длине L глубина воды;

v — скорость стока воды вдоль вала в конце его, равная $v = C\sqrt{Ri}$;

R — гидравлический радиус живого сечения.

Из уравнения баланса получим:

$$L = \frac{Fvt}{l\,(tp - k_0 t^{1-\alpha}) - F_0},$$

где t — продолжительность дождя.

Уклон валов делается $i = 0{,}005 - 0{,}01$; он должен быть такой, чтобы скорость стекания воды вдоль вала v была ниже критической на размыв почвы.

Длина террасы L, при прочих одинаковых условиях, может быть тем больше, чем меньше ширина l и высота H. Чем длиннее терраса, тем больше опасность ее повреждений, но зато лучше условия механизации. Так как желательно ширину террасы делать одинаковой по длине L, то с удлинением террас L увеличивают высоту и уклон валов. Высота террасы H увеличивается с увеличением уклона местности I.

Ширина террас, имеющих продольный уклон i и допускающих сток воды с них, равна:

$$l = \frac{LF_0 + Fvt}{(tp - k_0 t^{1-\alpha})\,L},$$

где F, v и L определяются по предыдущему.

Ширина l террас с продольным уклоном может быть сделана больше, чем горизонтальных террас, и составляет 250—400 *м*. В соответствии с этим высота этих террас H при одинаковом уклоне местности I может быть больше (1—2 *м*).

Нижние концы валов упираются в водоприемник — естественный (балку, лощину, ручей) или искусственный (канал), причем сток воды с террасы можно сделать в одну или обе стороны, смотря по тому, имеется ли один или два подходящих водоприемника. Места соединения валов с водоприемником должны укрепляться против размыва почвы.

При устройстве террас с валами землю на насыпку валов следует брать с низовой стороны вала, т. е. с верховой стороны террасы, как показано на рисунке 400,*а*, так как в противном случае (рис. 400, *б*) в конце террасы при стоке воды образуется кривая спада и, следовательно, увеличивается скорость стока и смыв почвы с площади между валами[1].

[1] С низовой стороны земля берется в случае сооружения водоотводного вала, т. е. при наличии текущей вдоль вала воды; при устройстве водоудерживающего вала, т. е. при неподвижной воде выше вала, землю для его насыпки целесообразно брать с верховой стороны для увеличения емкости.

Валы и террасы разбиваются с помощью нивелира; лучшее время постройки террас — поздняя осень; постройка начинается с верхней террасы и постепенно переходит к нижним.

В течение первого года террасы не обрабатываются вовсе или же поступают под луговую культуру. Обработка почвы на террасированной поверхности должна вестись поперек склона.

Вспашка вдоль террас или валов делается всвал, причем земля отваливается к середине террасы.

Террасирование позволяет задерживать значительные количества стекающей воды, увеличивает увлажнение почвы и уменьшает смыв; однако оно имеет серьезные недостатки, состоящие в усложнении разбивки полей севооборота, производства и механизации сельскохозяйственных работ на террасированной площади, а также в необходимости следить за сохранностью валов; все это сильно ограничивает применение террасирования.

3. НЕДОПУЩЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗМЫВА, ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА ОВРАГОВ

Рассмотренные выше мероприятия, состоящие в усилении поглощения влаги и регулировании стока с водосбора (травопольные севообороты, лесные защитные полосы, снего- и водозадержание, террасирование), охватывают приводораздельную и присетевую части водосборной площади и имеют своей задачей предупреждение смыва почвы и перехода его в размыв. Следующая группа мероприятий, проводимых на самой гидрографической сети и на присетевых частях водосбора, имеет задачей недопущение или прекращение явлений размыва почвы и дальнейшего роста промоин и оврагов. Относящиеся сюда мероприятия должны вестись на базе предыдущих, т. е. борьбы с эрозией почв на водосборе каждого оврага и балки. Главнейшими мероприятиями по борьбе с ростом оврагов, по закреплению их от размыва являются следующие.

1. Облесение оврагов и балок, создание сплошных лесонасаждений на склонах оврагов и балок и в их верховьях, устройство широких (20—50 *м*) приовражных и прибалочных полос, задерживающих сток и закрепляющих почву.

2. Мероприятия по уменьшению количеств воды, поступающей в образовавшуюся промоину или овраг, путем отвода этой воды в безопасный в отношении размыва водоприемник. В числе этих мер отметим следующие.

Устройство по горизонталям облесенной приовражной площади водосборных канав-валов. Их проводят, отступя на 5—6 *м* от вершины оврага, и делают глубиной около 0,50—0,70 *м* и шириной по дну 0,30 *м*; вынутую землю кладут с низовой стороны в виде вала высотой до 0,70 *м* с бермой 0,50—1 *м*.

Главную роль в задержании воды играют валы, так как они задерживают в несколько раз больше воды, чем канавы. Вся стекающая с полосы между двумя валами вода должна уместиться за валами и в канавах.

Для предохранения валов от размыва, в них через 10—20 *м* делают одернованные водосливы шириной 20 *м* и на 0,15—0,20 *м* ниже гребня вала, для стока излишней воды. Дно канавы и гребень вала должны быть горизонтальны и гребни сливов в валах на одной высоте. Валы на концах направляются вверх по уклону и сводятся на нет.

Приведем расчет валов и канав. Предположим, что общий сток паводковых вод с водосбора данного оврага составляет Q, а объем воды, задерживаемый 1 пог. *м* вала с канавой, равен q.

Величина q слагается из двух объемов: q_1 — воды, задерживаемой 1 пог. *м* вала, и q_2 — воды, задерживаемой 1 пог. *м* канавы, т. е. $q = q_1 + q_2$. Если h — полезная высота вала, а h_1 — глубина канавы и полная высота вала, то (рис. 401):

$$q = q_1 + q_2 = \frac{1}{2}\left[\frac{h^2}{I} + (b + b_1)\,h_1\right],$$

где I — наибольший уклон водосборной площади оврага.

Общая длина валов-канав, необходимая для задержания всего стока воды в овраг, должна быть равна $Q : q$. Эта длина осуществляется в виде нескольких рядов или ярусов валов. Расстояние между валами l может быть определено следующим приемом. Если количество паводковых (весенних или ливневых) вод на данном водосборе эквивалентно слою a *м*, то можно написать равенство $al = q$, откуда получим расстояние между валами:

$$l = \frac{1}{2a}\left[\frac{h^2}{I} + (b + b_1)\,h_1\right].$$

Схема расположения канав-валов, по В. М. Борткевичу, показана на рисунке 402. Отдельные водотоки на облесенной площади между валами должны быть прегражден для того, чтобы воспрепятствовать концентрации воды, поступающей в канавы. Устройство канав неприменимо на склонах, подверженных оползанию грунта.

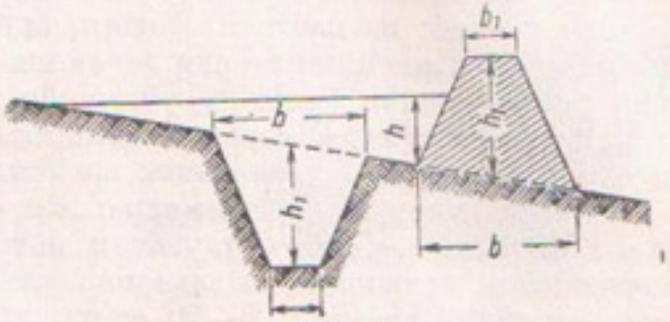
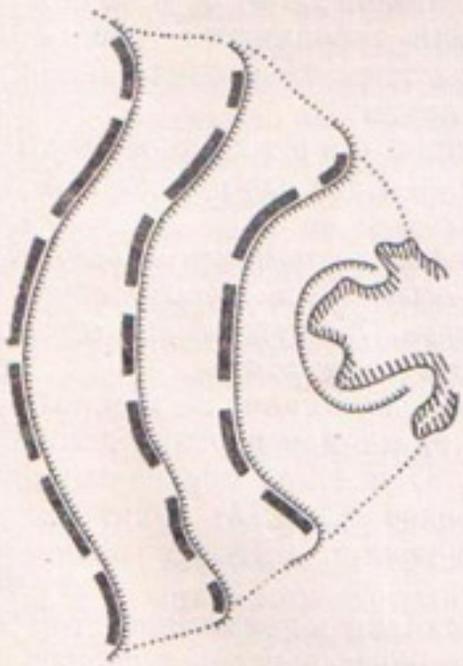


Рис. 401.

Вместо канав по горизонталям приовражного склона иногда устраивают несколько рядов невысоких запруд из плетней, фашин, камня или земляных валов. Эти запруды делают высотой около 0,30—0,50 *м*. Расстояния между ними определяются на основе вышеизложенных приемов. Нередко канавы и запруды делают прерывистыми, длиной 6—8 *м*, с такими же промежутками между ними, расположенными в шахматном порядке.

Для уменьшения количества воды, поступающей в овраг, прибегают также к отводу ее нагорными канавами. Эти канавы располагаются на расстоянии не ближе 6 *м* от вершины оврага, огибают ее и постепенно с максимально допустимым уклоном выводятся в долину или в нижнюю неразмываемую или закрепленную часть оврага. Дно и откосы нагорных канав укрепляют дерном или камнем. Недостатком нагорных канав является то, что весной они начинают поздно работать, если предварительно не очищены от снега и льда. Поэтому нередко нагорные канавы заменяются нагорными валами, которые отклоняют стекающие по водосбору воды от оврага. Высота валов делается такой, чтобы самая высокая вода не могла переливаться через гребень; откосы валов дернуются, а нагорный откос у больших валов укрепляется мостовой и перед ним делается водоотводный лоток шириной около 1—1,5 *м*.


Рис. 402.

3. Следующая группа мероприятий по борьбе с размывом основана на уменьшении скорости стекающей по оврагу воды. Сюда прежде всего относится террасирование русла оврага при помощи устройства поперечных уступов или стенок.

Поперечные стенки ослабляют размывающее действие стекающей воды, задерживают сзади себя наносы и тем самым выравнивают и поднимают дно оврага. Поднятие же дна оврага предотвращает сползание его откосов.

Поперечные уступы делаются невысокими (донные запруды), обычно от 0,30 до 1 *м*, в зависимости от материала.

Расстояние между уступами l определяется по формуле:

$$l = \frac{h}{I - i},$$

где h — высота стенки;
I — уклон оврага до устройства уступов;
i — уклон ложа оврага после устройства уступов (обычно величина i делается 0,05—0,10).

Отсюда число уступов на длине оврага L будет равно:

$$N = \frac{L}{l} = \frac{H - iL}{h},$$

где H — общее падение оврага на длине L.

Уступы делаются при помощи запущенных в дно и откосы оврага поперечных стенок: из плетней, фашин, бревен, из камня, где таковой имеется поблизости. Каменные стенки делаются из сухой кладки или же на цементном растворе (для больших уступов).

Для обеспечения неразмываемости русла применяется укрепление дна и откосов оврага и увеличение шероховатости его. Это достигается:

1) созданием по берегам оврагов и промоин приовражных лесных полос, способствующих накоплению снега, затенению склонов, повышению влажности и задернованию обнаженных откосов; эти полосы должны иметь ширину 20—50 *м*; на склонах оврагов и балок должны быть созданы сплошные лесонасаждения, начиная с нижних частей оврага, так как в нижних частях откосам легче придать устойчивость;

2) дерновани ем, мощением камнем в плетневых клетках, выстилкой хворостом (хворост кладется слоем в 0,30—0,50 *м* комлями вниз);

3) при помощи палисад, т. е. рядов свай, забитых по дну оврага так, что концы их на 0,20—0,40 *м* выступают над поверхностью; ряды свай забиваются на расстоянии 0,35—0,70 *м* друг от друга, поперек дна оврага выпуклостью к основанию оврага; сваи берутся длиной 1,5—2 *м* и толщиной 12—20 *см*; промежутки между концами свай заполняются камнем; каждая система палисад состоит из трех рядов, системы же располагаются одна от другой на таких же расстояниях, как запруды;

4) при помощи устройства в ложе оврага рядов плетней высотой 50 *см* под углом 45° к оси оврага на расстоянии 0,7—1,5 *м* один от другого, в зависимости от крутизны оврага.

Для борьбы с ростом оврагов применяется также повышение базиса эрозии путем устройства поперечных запруд в овраге. Эта мера требует предварительного закрепления действующего оврага. Запруживание оврагов является в то же время и средством обводнения местности.

Небольшие овраги могут быть запружены одной плотиной; на крупных же оврагах требуется устройство каскада плотин. Место для плотины должно быть выбрано с учетом следующих условий: а) падение оврага перед плотиной должно быть возможно малым — не более 0,008; б) грунт под основанием должен быть достаточно прочным; в) должно иметься удобное место для расположения водослива.

Кроме мер, направленных на то, чтобы приостановить дальнейший размыв и рост оврага, необходимо закрепить от возможных обвалов и сползаний вершину и откосы оврага.

Закрепление вершины оврага может быть достигнуто устройством здесь: а) живых креплений в виде лесопосадок, древесных плетней или выстилок; б) ступенчатых перепадов; в) наклонного лотка или быстротока; г) подпорной стенки. Выбор того или другого из этих способов зависит от размеров оврага, характера размыва, свойств грунта и др. Лесные посадки в верховьях оврагов необходимы во всех случаях.

При устройстве ступенчатых перепадов вершину оврага искусственно делают более пологой и более длинной, врезая сооружение в материк рядом уступов. Поверхность уступов делается горизонтальной

или наклонной к перепаду (с уклоном 0,01); в поперечном сечении площадкам дают лоткообразный вид, чтобы вода не размывала стенки оврага. Высота уступа обычно делается от 0,30 до 0,70 *м*, в зависимости от профиля вершины и характера крепления перепадов.

При устройстве л о т к о в обрыв вершины оврага скашивается и на полученной таким образом наклонной поверхности устраивается лоток из дерева, камня или бетона. Лоток состоит из трех частей: 1) верхней входной части, 2) наклонного лотка и 3) нижней части — водобойного колодца или успокоителя.

Входная часть представляет собой горизонтальную площадку с боковыми крыльями, запущенными в дно и откосы во избежание подмыва. Расчет сечения лотка делается по методу расчета быстротоков. Допустимая скорость течения воды в лотке принимается в зависимости от рода материала, из которого он построен. Иногда лотки делают в виде консольных перепадов. В выходной части лотка устраивается водобойный колодец.

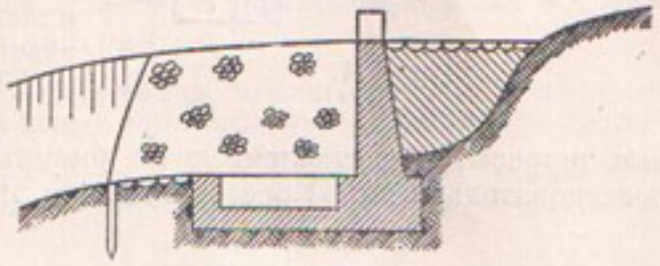


Рис. 403.

К устройству п о д п о р н ы х с т е н о к с в о д о с л и в о м (рис. 403) прибегают в тех случаях, когда вершина оврага подходит близко к дорогам, постройкам и т. д. и когда нельзя врезаться в вершину оврага ступенчатыми перепадами или лотком. Пространство между стенкой и оврагом засыпают землей, тщательно затрамбовывают и замащивают или покрывают бетоном. Чтобы переливающаяся вода концентрировалась к середине водослива, гребень его делают с наклонами к середине. Ниже подпорной стенки на дне оврага устраивают водобойный колодец.

Гидротехнические сооружения в оврагах требуют тщательного наблюдения и охраны во время прохода полых и ливневых вод; весной, до начала таяния, они должны быть очищены от сугробов снега, которые обычно скопляются в вершинах оврагов и промоин.

Для закрепления откосов оврага от оползания применяются: а) облесение — на защищенных от ветров склонах с хорошей почвой можно сажать плодовые деревья и кустарники; б) увеличение пологости до угла естественного откоса грунта и засев травами или дернование; в) выстилка дерном или камнем сплошь или вклетку; г) крепление откосов плетнями по горизонталям на расстоянии 1,5—2 *м* ряд от ряда.

4. БОРЬБА С ЭРОЗИЕЙ НА КРУТЫХ И ГОРНЫХ СКЛОНАХ

Крутые склоны — от 6—8 до 15—20° — можно использовать в сельском хозяйстве, устраивая ступенчатые террасы; в субтропических районах на склонах культивируют чай и цитрусовые.

Ступенчатые террасы (рис. 404) чаще делают наклонные; горизонтальные ступени образуются из наклонных постепенно, в результате обработки почвы. На конце каждой площадки устраивается валик; высота валика h от 0,15 до 0,30 *м*, ширина его $b = 0{,}5—0{,}7$ *м*; высота террас $H = 1—3$ *м*; уклон поверхности террасы составляет от 5 до 10%, а уклон самого уступа, или отношение $c : d$, делается от 30 до 60%.

Чем круче откосы ступеней $c : d$, тем меньше потеря площади под них, но зато нужно крепление откоса (посевом трав или дерном).

Чем меньше высота террас H, тем террасы короче и легче их строить, но зато тем больше число террас и труднее обработка их.

Ширина террас зависит от уклона местности I и высоты их H. Чем больше высота террасы H и меньше уклон поверхности I, тем больше может

быть ширина террасы. При уклонах больше 15—20% террасы получаются очень узкими, и потому такие площади целесообразнее использовать под лесонасаждения (без террасирования).

Ступенчатые террасы применяются при орошении крутых склонов в горных районах (рис. 405). В этом случае склон разбивается на отдельные террасы, образуемые каменными подпорными стенками или укрепленными откосами (не круче угла естественного откоса грунта).

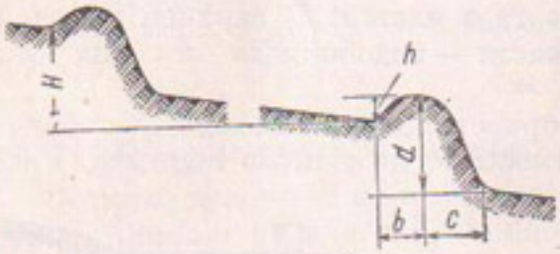


Рис. 404.

Террасированные склоны используются под орошение главным образом садов и виноградников, причем механизация сельскохозяйственных работ здесь крайне затруднена.

При культуре цитрусовых на крутых склонах применялись траншейные террасы, представленные на рисунке 406. Они выполняются в такой последовательности: 1) роется траншея, из которой верхний почвенный слой

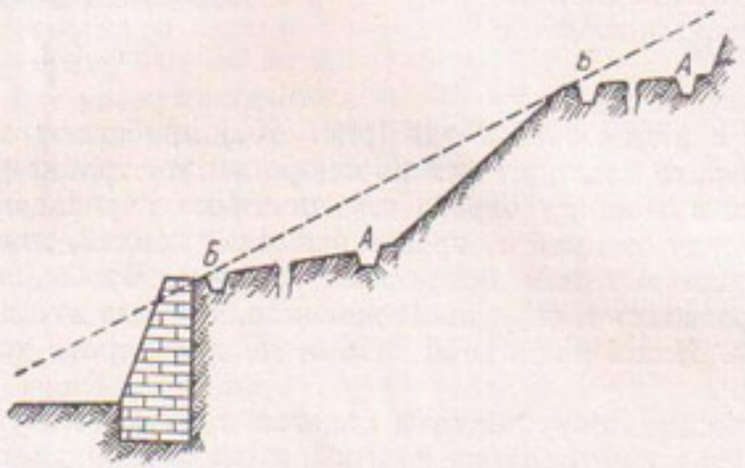


Рис. 405.

а кладется направо, а нижний подпочвенный слой *б* — налево и образует вал *в*; 2) после рытья траншеи на полную глубину почвенный слой с правой

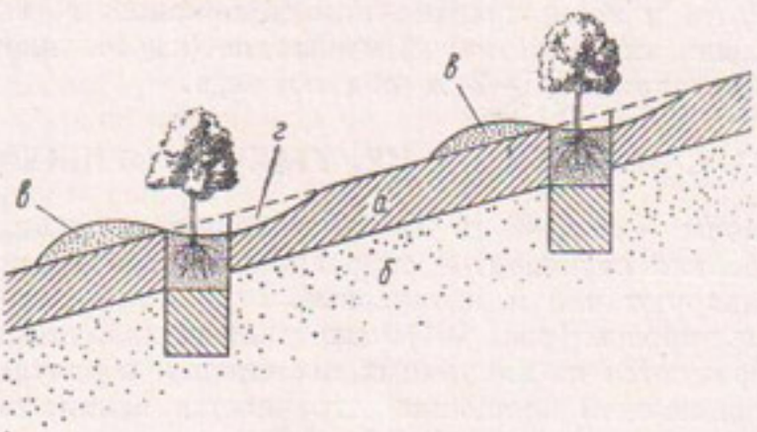


Рис. 406.

стороны укладывается обратно в траншею, вниз ее, и, кроме того, на окончательную засыпку траншеи берется часть верхнего слоя почвы с самой террасы. Таким путем получаются террасы, сохранившие неснятым верхний почвенный слой.

Между рядами растений помещаются покровные культуры, предохраняющие почву террас от размыва.

Для предохранения горных склонов от размыва *ливневые воды перехватываются водосборными канавами* и направляются вниз склона к водоприемнику по *специально устроенным для этого ливневодам.*

Водосборные канавы устраивают по горизонталям склона и делают нужной емкости в виде канав-террас с валом на низовой стороне; вдоль низового вала этих канав сажают древесные и кустарниковые породы. Такая водосборная сеть должна удовлетворять следующим условиям: 1) следовать по горизонталям склона; 2) захватывать весь бассейн стока атмосферных вод; 3) иметь достаточную емкость, чтобы вмещать максимальный ливень, возможный в данной местности; 4) быть устойчивой против размыва ливневыми водами. Однако *устройство водосборных канав не должно допускаться на склонах, подверженных оползням, так как инфильтрующаяся в грунт вода может вызвать или усилить оползни.*

Расстояние между канавами по поверхности склона рассчитывается так, чтобы скорость стекания снеговых и ливневых вод между двумя канавами не превышала предельной скорости размыва данного грунта.

Скорость стекания в конце площадки стока длиной x при условии равномерного выпадения осадков интенсивностью h *м/сек*, как было показано выше, определяется такой формулой:

$$v_x = \sqrt{Cx(h-k_0)} = \sqrt{Cx\sigma h},$$

где σ — коэффициент стока, зависящий от проницаемости почвы; $C = \alpha\sqrt{I}$; I — уклон; α — коэффициент; $\alpha = 7-30$, в зависимости от шероховатости поверхности.

Скорость получает указанное значение при стекании воды сплошным тонким слоем; на крутых же склонах при ливневых осадках вода обычно стекает отдельными струями, вследствие чего скорость стекания возрастает, так что можно принять значение скорости:

$$v_x = m\sqrt{Cx\sigma h},$$

где $m > 1$.

Если ограничить длину площади x условием, чтобы скорость на конце ее не превышала допустимой величины v_{max} в отношении размыва, то расстояние между канавами должно быть не больше:

$$x \leqslant \frac{v_{max}^2}{m^2 C\sigma h}.$$

Таким образом, расстояние между канавами должно быть тем меньше, чем меньше допустимая (по условиям размыва грунта) скорость стока, чем больше уклон и меньше шероховатость склона; чем больше интенсивность осадков h, продольная изрезанность поверхности стока (т. е. m) и больше σ, т. е. меньше поглощение воды почвой.

Так как перехватывающие воду канавы проводятся по горизонталям склона, а расстояние между канавами тем больше, чем меньше уклон поверхности, то это расстояние можно определить в вертикальном направлении, т. е. устанавливать разницу отметок тех горизонталей, по которым должны проводиться канавы. Эта разность равна $H = xI$, где x — расстояние между канавами по поверхности, а I — уклон поверхности склона. Подставив сюда вместо x найденное выше значение его, получим

$$H = \frac{v_{max}^2\sqrt{I}}{m^2\alpha\sigma h},$$

где $\alpha = 7-30$.

Если расстояние между водосборными канавами равно x *м*, а интенсивность ливня составляет h *м/сек*, то сток в канаву на 1 пог. *м* длины ее $q = x\sigma h$ *м*^{3}*/сек*, т. е. он увеличивается (при данных h и k_0) с увеличением расстояния x или с уменьшением крутизны склонов, так как с уменьшением уклона I расстояние x увеличивается. Расход воды и пропускная способность канавы по длине увеличиваются, так как $Q = qL$, где L — длина канавы.

При работах по укреплению южного склона Крымских гор расстояние между горизонталями, по которым проводились канавы, было принято равным 6 *м*, а емкость канав рассчитана на ливень, дающий 60 *мм* воды в час.

Насыпной земляной вал с низовой стороны канавы закрепляют посадкой деревьев. Деревца (1—2-летки) сажают не в гребень вала, а на склон, обращенный к канаве, чтобы деревцо не сползало при осыпании вала.

Вода в водосборных канавах стекает (для чего дну канав должен быть придан необходимый уклон) и поступает в особые ливневоды, т. е. в хорошо укрепленные, обычно каменные, искусственные русла — ступенчатые перепады или быстротоки, проложенные вдоль по склону и служа-

щие для отвода стекающих ливневых вод. Ливневоды в виде каменных ступенчатых перепадов построены, например, в Никитском саду в Крыму, а также во многих местах на Черноморском побережье Кавказа.

Если устройство водосборных канав невозможно из-за опасности оползания склонов при насыщении грунта водой, необходим отвод воды по ливневодам.

В горных местностях приходится также вести борьбу с селевыми потоками[1], которые во время ливней приносят большие опустошения и разрушения нижележащим полям и селениям.

Если горный склон составляет угол α^0 к горизонту, то наименьшая скорость потока, при которой может начаться перемещение гальки диаметром d и удельного веса γ', равна

$$v = \sqrt{\frac{f(\gamma' - \gamma)\, d \cos \alpha}{0{,}07\gamma}},$$

т. е. она тем меньше, чем больше уклон поверхности (угол α^0) и больше удельный вес жидкости, в которой происходит движение гальки. А так как в селевом потоке вода насыщена песчано-глинистыми наносами и представляет собой жидкую грязь, то удельный вес ее γ значительно больше удельного веса чистой воды, и вследствие этого она может переносить во взвешенном состоянии гальку и даже камни. Селевой поток без утраты свойств текучести может содержать на единицу объема воды: песка 2—2,5 объема, пылеватых частиц 1,2—1,5, а глины 0,6—0,7 объема. Скорость движения селя достигает 3—7 *м/сек*.

Основными средствами борьбы с горными потоками являются: 1) залужение, облесение и регулирование стока на водосборе склона и 2) облесение самого склона. Эти мероприятия имеют большое значение, так как они уменьшают и делают более равномерным сток поверхностных вод и закрепляют поверхность склона; только на базе этих мероприятий наиболее успешными оказываются меры по укреплению образовавшихся промоин и лощин, по которым стекают главные массы воды. Эти меры обычно состоят в преграждении горного потока рядом поперечных запруд, а при крупных потоках в разгрузке их.

Запруды делают двух видов: 1) невысокие донные ставящиеся преимущественно на небольших потоках, образующие постоянные пороги на дне потока и закрепляющие его от дальнейшего размыва и углубления; 2) более высокие плотины, разбивающие большое падение потока на ряд участков с небольшим уклоном, разделенных хорошо укрепленными перепадами или водосливными плотинами. Образованные этими запрудами водоемы постепенно заиляются наносами, при этом дно потока поднимается и расширяется, благодаря чему скорость течения значительно уменьшается, паводки не могут производить таких размывов и нести столько наносов, как раньше.

Укрепляют не только главный поток, но и впадающие в него боковые промоины, отчего уменьшается вынос материала из них в главный поток. Легко размываемые склоны потока укрепляют плетнями, фашинами и облесением.

Запруды на горных потоках должны быть очень прочными, так как должны выдерживать давление не только воды, но и грязекаменной массы селевого потока. Крупные потоки разгружают путем отвода части их стока в особые ливневоды или закрепленные тальвеги.

Очень важно также выправление устьевых участков горных потоков и устройство дамб, имеющих задачей отклонять селевые потоки от защищаемых объектов.

[1] Проблема формирования селевых потоков, предупреждения их возникновения и борьбы с ними весьма сложна и представляет серьезную народнохозяйственную задачу; здесь вопрос рассматривается весьма кратко и не претендует на полноту изложения проблемы.

5. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И БОРЬБА С ОПОЛЗНЯМИ ГРУНТА

Вредное механическое действие могут оказывать не только поверхностные стекающие, но и почвенные и грунтовые воды, пропитывающие грунты на склонах и вызывающие, при соответствующих условиях, оползание земляных масс, так называемые о п о л з н и.

Как известно, сила сцепления частиц грунта в большой степени зависит от содержания влаги в грунте: чем больше влажность грунта (при данном давлении на грунт), тем меньше сила сцепления[1]; поэтому земляная масса, будучи насыщена водой, становится неустойчивой и при крутых склонах легко оползает. Если же грунт состоит из слоев разной плотности (например, слоистые или делювиальные отложения, покрывающие основной массив), то, как только поверхность соприкасания отдельных слоев вследствие пропитывания водой станет достаточно скользкой, начинается оползание верхних, более проницаемых слоев грунта по нижним, более водоупорным пластичным слоям, если только уклон нижнего слоя допускает это движение. Для начала сползания нужно, чтобы вся масса грунта или поверхность соприкасания отдельных слоев получила такую влажность, при которой нарушается необходимое сцепление частиц и ослабляется сила трения; эта избыточная почвенная влажность может быть в результате действия выклинивающихся грунтовых вод или просачивающихся в грунт поверхностных вод и атмосферных осадков.

Временем года, наиболее благоприятным для образования оползней, является весна, когда после оттаивания грунта легче всего происходят деформации и сдвиги его; чем обильнее зимние осадки и быстрее процесс таяния, тем энергичнее эти деформации.

Значительное развитие оползни имеют во многих районах СССР (Южное побережье Крыма, Черноморское побережье Кавказа, берега Волги и другие районы).

Верхний слой грунта не будет сползать по нижнему пока угол естественного откоса больше угла наклона поверхности соприкасания слоев к горизонту. Угол наклона поверхности нижнего слоя остается постоянным, угол же естественного откоса по мере повышения влажности грунта уменьшается; поэтому явления оползней в слоистых грунтах тем возможнее и тем опаснее, чем круче наклон слоев и чем больше насыщенность верхнего слоя водой.

Следует отметить большую сложность явления оползания, которое определятся условиями равновесия всей массы оползня при определенном геологическом строении, условиями стока и просачивания поверхностных и грунтовых вод и т. д. В частности, поверхность сползания грунтов может и не совпадать с поверхностью соприкасания двух различных слоев грунта, а часто соответствует траекториям движения водяных струй в данном грунте, имеющим направление к откосу грунта; смачивание грунта вызывает ослабление сил сцепления в нем и может быть причиной сползания.

Из сказанного вытекают следующие основные мероприятия, могущие предотвращать явления сползания грунта.

1. Изолирование оползневого массива от притока к нему подземных и поверхностных вод с вышележащих площадей с помощью нагорных и ловчих каналов.

2. Осушение поверхности соприкасания (скольжения) отдельных слоев грунта.

3. Понижение влажности грунта, сползание которого нужно предупредить, так как с уменьшением влажности уменьшается вес сползающей массы и, следовательно, сила, влекущая этот массив вниз.

4. Обеспечение устойчивости основания сползающего массива путем подпорных стенок, могущих служить упором для вышерасположенных

[1] При высоких влажностях.

масс грунта; это достигается также приданием массиву достаточно пологого откоса, поднятием подошвы его, устройством берм, защитой от подмыва текучими водами и т. д.; однако надо заметить, что крепление откосов не должно допускать образования скоплений воды выше этого крепления.

Для осушения поверхности соприкасания сползающих слоев грунта необходимо перехватить все, как грунтовые, так и поверхностные, воды, просачивающиеся в данный грунт и увлажняющие плоскость сползания.

Для захвата и отвода грунтовых вод применяется при неглубоком залегании этих вод дренаж, при глубоком же залегании — подземные галереи или штольни.

Наиболее успешно перехватывают воду дрены или галереи, заложенные ниже осушаемой поверхности сползания и притом перпендикулярно к направлению течения грунтовых вод. В тех случаях, когда сползанию подвержены верхние слои грунта, перехватывающие дрены имеют небольшую глубину; в этих условиях часто применяют дрены с пористым заполнением сечений или делают открытые дренажи, т. е. траншеи, заполненные щебнем, хворостом, жердями и т. д. Чтобы дрены действовали и зимой, они должны быть заложены в незамерзающем слое. При глубоких оползнях закладывают подземные галереи и штольни; дно их должно лежать в грунте, подстилающем сползающий слой; сечение штолен должно быть достаточно большим, во избежание засорения (не меньше 0,5 $м^2$), и укреплено деревом или камнем.

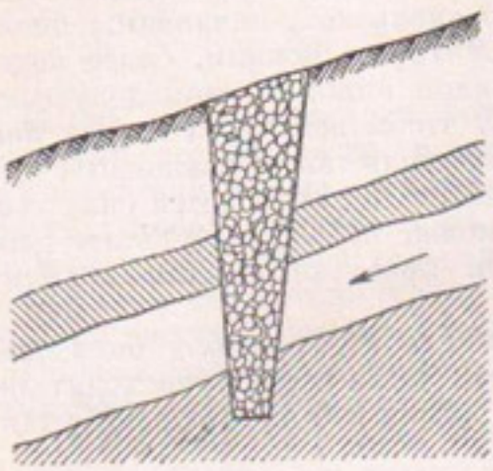


Рис. 407.

В верховой стенке галереи, а иногда и в перекрытии делают узкие отверстия для поступления грунтовых вод. С напорной стороны и сверху галерею засыпают сначала крупным, а затем мелким камнем и щебнем для лучшего перехватывания грунтовых вод; с низовой стороны полезно затрамбовать канавы и стенки галереи глиной.

За исправной работой галерей и штолен нужно наблюдать, иначе она может нарушаться вследствие смещения грунта. Иногда вместо закрытых галерей делают открытую траншею, заполненную до поверхности крупным камнем и щебнем и перехватывающую не только грунтовые, но и поверхностные воды. Дно траншей и штолен должно быть опущено в водоупорный слой, чтобы они могли полностью перехватывать грунтовые воды и хорошо осушать плоскость сползания (рис. 407). Открытая траншея может обеспечить более надежное действие по сравнению с подземной галереей в тех случаях, когда условия притока грунтовых вод не могут быть строго фиксированы; однако устройство их требует иногда глубоких выемок.

Водосборные галереи и штольни должны перехватывать приток грунтовых вод и осушать поверхность сползания. После того как галереи перехватят приток грунтовых вод сверху, следует осушить самое тело оползня от просачивающихся в почву местных атмосферных вод.

И дренаж и штольни должны иметь выпуски, отводящие собираемые ими почвенно-грунтовые воды к водоприемнику[1].

Кроме непосредственного отвода из сферы оползня грунтовых вод, насыщающих сползающий земляной массив, должны быть приняты меры к тому, чтобы *не допустить просачивания в этот массив и поверхностных вод*. Для отвода поверхностных вод служат открытые осушитель-

[1] При устройстве перехватывающих штолен, тем более открытых, следует учитывать возможное их отрицательное влияние на устойчивость массива, в смысле нарушения связи нижележащего оползающего грунта с основным материком.

ные канавы или специальные укрепленные водоотводные лотки. Их располагают, во-первых, выше оползня, как нагорные канавы, защищающие от притекающих сверху вод, и, во-вторых, на самой сползающей поверхности — для отвода поступающих на нее поверхностных вод. В пределах сползающего склона должны быть уничтожены или защищены от фильтрации все поверхностные водоемы и урегулированы имеющиеся водные потоки. Если подверженный сползанию склон орошается искусственно, то, во избежание фильтрации воды в грунт, должны применяться самые минимальные поливные нормы (при способе полива дождеванием), а также антифильтрационные одежды оросительной сети. На крутых сползающих склонах сажают кустарник с глубокой корневой системой.

При использовании подверженного сползанию и еще не укрепленного склона очень важно не перегружать сползающего земляного массива тяжелыми сооружениями, избыточным насыщением почв водой и т. п.

Для предохранения сползающих склонов от подмыва протекающими внизу водными потоками необходимо искусственное отклонение от защищаемого склона размывающих его течений воды путем устройства шпор или дамб.

Осуществлению мероприятий по борьбе с оползнями грунта должно предшествовать тщательное изучение геологических, гидрологических, гипсометрических и хозяйственных условий каждого данного объекта; только на этой основе может быть установлена комплексная система мероприятий, необходимая в каждом данном случае.

Близкая к рассматриваемому вопросу проблема переработки берегов водохранилищ здесь не рассматривается.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к шестому изданию 3

I. ВВЕДЕНИЕ

Предмет, метод и задачи мелиораций 7
1. Мелиорации как составная часть системы мероприятий по преобразованию природы 12
2. Водный режим почв мелиорируемых территорий и составные части мелиоративных систем 16
3. Задачи мелиораций в СССР 24
4. Развитие мелиораций в СССР 26

II. МЕЛИОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Глава первая. **Основные условия оросительных мелиораций и оросительные системы** 37
1. Потребность в орошении и его распространение 37
2. Виды оросительных мелиораций 40
3. Влияние орошения на внешнюю среду развития растений и урожай 40
4. Качество оросительной воды 48
5. Составные элементы оросительной системы 49

Глава вторая. **Создание и регулирование нужного водного режима при орошении. Оросительная регулирующая сеть** 52
1. Режим орошения и его динамика 52
Основные способы орошения 52
Водный режим почвы и растений при орошении и его регулирование 54
Режим орошения (поливов) отдельных сельскохозяйственных культур 62
Режим орошения совокупности культур в севообороте и в хозяйстве 79
2. Техника орошения и устройство оросительной регулирующей сети 82
Поверхностное орошение 83
Техника поверхностного полива. Общие ее принципы 83
Сравнение различных способов полива 103
Способы полива при квадратно-гнездовом посеве пропашных культур . . . 104
Подготовка поверхности почвы к орошению 106
Новая система орошения и устройство временной оросительной сети . . . 108
Орошение дождеванием 121
Системы дождевания 123
Низконапорные (короткоструйные) системы дождевания 126
Высоконапорные (дальнеструйные) системы дождевания 133
Среднеструйные системы дождевания 140
Мостовые и консольные системы дождевания 141
Расчет систем дождевания 144
Оросительная сеть при дождевании 150
Подпочвенное орошение 151

Глава третья. **Проводящие каналы оросительной системы—магистральный и распределительные** 158

1. Основные принципы действия и расчета проводящих каналов 158
2. Расположение проводящих оросительных каналов 160
   Главный оросительный (магистральный) канал 160
   Межхозяйственные и хозяйственные распределительные каналы, связь их с организацией территории и хозяйства 164
3. Режим работы и расходы воды в оросительных каналах 169
   Плановое водопользование в оросительной системе и расходы воды нетто в каналах 169
   Расходы воды брутто и пропускная способность оросительных каналов. Гидромодуль 177
   Коэффициент полезного действия оросительных систем 181
   Борьба с потерями воды в каналах 190

Глава четвертая. **Конструкция оросительных систем** 199

1. Открытые оросительные системы 199
   Командование и сопряжение оросительных каналов 199
   Поперечное сечение и профили оросительных каналов; предъявляемые к ним требования 202
      Неразмываемость русла каналов 203
      Незаиляемость каналов 204
      Минимальная фильтрация 207
      Наибольшая пропускная способность 207
      Устойчивость русла каналов 208
      Гидравлический расчет каналов 209
   Конструкция оросительных каналов 211
      Канал в выемке 213
      Канал в полувыемке-полунасыпи 214
      Канал в насыпи 214
      Канал на косогоре 215
      Резервы земли при устройстве дамб 215
      Деформации каналов 216
2. Закрытые оросительные системы 219
3. Лесные полезащитные полосы и дороги на орошаемых землях 225
4. Арматура оросительных систем 228
   Боковые регуляторы и подпорные сооружения 229
   Регуляторы-водомеры 230
   Сбросные и выпускные сооружения 234
   Перепады и быстротоки 236
   Проведение воды в сложных условиях рельефа 236
   Сооружения для задержания наносов (отстойники) 237

Глава пятая. **Недопущение заболачивания и засоления орошаемых земель и борьба с этими явлениями** 238

1. Система необходимых мероприятий 238
2. Агротехнические мероприятия на орошаемых землях 241
3. Плановое нормированное водопользование и правильная эксплуатация системы 243
4. Недопущение затоплений и удаление избыточных поверхностных вод (сбросные каналы) 246
5. Режим грунтовых вод на орошаемом массиве 248
6. Понижение и регулирование уровня грунтовых вод. Дренаж на орошаемых землях 255
   Конструкция и расположение дренажной сети 259
   Вертикальный дренаж при помощи колодцев 260
7. Промывка и мелиорация засоленных почв 262

Глава шестая. **Источники воды для орошения и головное питание оросительных систем** 271

1. Основные виды источников орошения и классификация головных сооружений 271
2. Согласование режима источника и режима орошения 272
   Выбор расчетного режима источника орошения 273
   Регулирование режима источника орошения 275
3. Забор воды на орошение из рек 280
   Место водозабора 281
   Основные виды водозабора 283
4. Использование вод поверхностного местного стока на орошение и обводнение 288
   Орошение и обводнение из водохранилищ—прудов 289
      Условия и месторасположение водохранилищ 289
      Водохозяйственные расчеты орошения на местном стоке 292
      Нормальный горизонт наполнения водохранилищ 298
      Сбросные и водозаборные сооружения 300
   Лиманное орошение 301
      Виды лиманов и условия их применения 303
      Расчет лиманного орошения 307
      Устройство лиманного орошения 311
5. Использование подземных вод на орошение 313

Глава седьмая. **Орошение с механическим подъемом воды** 320

1. Условия применения 320
2. Размеры и расположение каналов 321
3. Режим работы и основные типы насосных станций 324
4. Энергетика орошения с механическим водоподъемом 338
5. Регулирующие резервуары и водохранилища 343

Глава восьмая. **Вопросы орошения в районах неустойчивого увлажнения** . . . 346

1. Особенности орошения в степных и лесостепных районах 346
2. Орошение пригородных земель сточными водами 351

Глава девятая. **Эксплуатационные вопросы орошения** 356

1. Значение правильного освоения и эксплуатации оросительных систем 356
2. Эксплуатация оросительной системы и организация планового водопользования 356
3. Переустройство и реконструкция оросительных систем 360

III. МЕЛИОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ. ОСУШИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Глава десятая. **Основные условия осушительных мелиораций** 367

1. Задачи осушительных мелиораций в СССР 368
2. Процессы заболачивания и главнейшие виды осушаемых почв 370
3. Требования сельскохозяйственных культур к водному режиму почв; нормы осушения 376
4. Водный режим на заболоченных землях и методы его регулирования 381
5. Влияние осушения на почву и растения 383
6. Виды осушительных мелиораций 390
7. Составные элементы осушительной системы; связь их с водоприемником и с организацией хозяйств 394

Глава одиннадцатая. **Создание нужного водного режима при осушении; осушительная регулирующая сеть** 397

1. Принципы действия и расчета осушительной регулирующей сети 397
2. Регулирование режима почвенно-грунтовых вод 399
   Основы регулирования оттока почвенно-грунтовых вод 399
   Расположение регулирующих дрен; глубина и расстояние между ними 411
   Размеры регулирующих дрен 425
3. Регулирование стока поверхностных вод 429
   Основы регулирования поверхностного стока 429

Расположение и размеры регулирующей сети при регулировании стока поверхностных вод . . . 432
4. Устройство регулирующей осушительной сети . . . 436
Открытая регулирующая сеть . . . 437
Закрытая регулирующая сеть (дренаж) . . . 439
Виды дренажа . . . 439
Аэрационный (вентиляционный) дренаж . . . 450
Расположение дренажа . . . 451
Размеры дрен . . . 454
Арматура дренажной системы . . . 457
Проектирование и выполнение дренажа . . . 458

Глава двенадцатая. **Проводящая часть осушительной системы** . . . 462

1. Основные принципы действия и расчета проводящих каналов; расходы проводящих осушительных каналов . . . 463
Модуль стока и влияющие на него факторы . . . 464
Формирование и динамика стока . . . 464
Установление расчетного модуля стока . . . 475
Данные по модулю стока . . . 478
2. Расположение проводящих осушительных каналов . . . 481
3. Поперечное сечение и конструкция проводящих осушительных каналов . . . 486
Сечение, профиль и расчет каналов . . . 486
Конструкция каналов . . . 490
Деформации русла каналов . . . 493
4. Дороги на осушаемой территории . . . 495
5. Сооружения на осушительных каналах . . . 497

Глава тринадцатая. **Регулирование водного и питательного режимов осушаемых земель** . . . 500

1. Шлюзование осушительных систем . . . 503
2. Увлажнение (орошение) осушаемых земель . . . 507
3. Удобрительное орошение осушаемых болот . . . 510

Глава четырнадцатая. **Мелиорации пойм и затопляемых низменностей** . . . 516

1. Основные виды пойм и требования к их мелиорации. Мероприятия на водосборе 516
2. Управление водным режимом почв на поймах . . . 519
3. Обвалование пойм и затопляемых низменностей . . . 521
Условия применения обвалования . . . 522
Виды дамб и их расположение . . . 523
Водопропускные отверстия в дамбах . . . 531
4. Повышение поверхности низменностей путем кольматажа . . . 533
5. Борьба с затоплением и подтоплением пойм при подпоре воды на реках . . . 537

Глава пятнадцатая. **Водоприемники осушительных систем** . . . 543

1. Требования, предъявляемые к водоприемнику условиями осушения и состоянием пойм . . . 543
Причины неудовлетворительного действия водоприемников и мероприятия по их упорядочению . . . 545
2. Регулирование водоприемников . . . 546
Спрямление русла . . . 547
Расчистка и углубление водоприемника . . . 551
Выправительные работы в русле . . . 552
Определение ширины регулируемого русла . . . 556
3. Разгрузка водоприемника . . . 559
4. Влияние упорядочения водоприемника на сток воды и затопление пойм . . . 560
Влияние упорядочения водоприемника на повышение уровня воды на нижележащих участках реки . . . 560
Влияние упорядочения водоприемника на затопление пойм . . . 561
5. Понижение уровня водоемов . . . 563

Глава шестнадцатая. **Осушение с механическим подъемом воды** 567
1. Условия применения и общие схемы 567
2. Резервуары и мощность установки 570
3. Виды водоподъемных установок 573
Глава семнадцатая. **Вертикальные системы осушения** 577
1. Осушение посредством откачки воды из колодцев 577
2. Осушение посредством поглощающих колодцев 581
Поглощающие колодцы как водоприемники 584
Поглощающие колодцы как регуляторы грунтовых вод 584
Глава восемнадцатая. **Специальные вопросы осушительных мелиораций** 586
Осушение болот в целях торфоразработок 587

IV. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАЗМЫВА ПОЧВ И ОПОЛЗНЕЙ И БОРЬБА С ЭТИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

Глава девятнадцатая. **Предупреждение размыва почв и оползней и борьба с этими явлениями** 595
1. Система комплексных противоэрозионных мероприятий 595
2. Предупреждение процессов смыва почвы 603
3. Недопущение процессов размыва, образования и роста оврагов 608
4. Борьба с эрозией на крутых и горных склонах 611
5. Предупреждение и борьба с оползнями грунта 615

БИБЛИОТЕКА
№ 35263
ИВП и Г. АН. УзССР

Остяков Алексей Николаевич
К72 Основы мелиораций. 6-е изд., доп. и переработ. М., Сельхозгиз, 1960.
662 с. с илл. (учебники и учеб. пособия для высших с.-х учеб. заведений).

631.6

Редактор В. П. Орлова. Художник Б. М. Разин. Художественный редактор С. Н. Томилин. Технический редактор М. М. Гуревич. Корректор М. А. Иткович.

Сдано в набор 2/VI 1960 г. Подписано к печати 26/X 1960 г. Т 12582 Формат 70×108 1/16. Печ. л. 39(53, 43) Уч. изд. л. 58,82. Изд. № 1199 Тираж 12 000 экз. Заказ № 401. Цена 16 р. 70 к. С 1/I 1961 г. цена 1 р. 67 к.

Сельхозгиз. Москва, К-31, ул. Дзержинского. 1/19
Московская типография №5 Мосгорсовнархоза. Москва, Трехпрудный пер., 9.