И-11

О. ИЗРАЭЛЬСЕН

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИРРИГАЦИИ

ТС-30
626.8

Орсон У. ИЗРАЭЛЬСЕН

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИРРИГАЦИИ

Перевод с английского
инж. А. Л. ДМИТРИЕВА

Под общей редакцией и с предисловием
С. П. ТРОМБАЧЕВА

И * Л

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва — 1956

ORSON W. ISRAELSEN

IRRIGATION PRINCIPLES AND PRACTICES

Second Edition

NEW YORK 1950 LONDON

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга профессора сельскохозяйственного колледжа в штате Юта США Орсон У. Израэльсена «Теория и практика ирригации» впервые была издана в США в 1932 г. и вышла в СССР в русском переводе в 1936 г. Второе издание этой книги вышло в свет в США в 1950 г., переработанное и дополненное автором. Новое издание книги проф. О. Израэльсена значительно отличается от первого: выпущены гл. гл. 15, 16 и 17, сокращены главы 18, 19, 20, исключены некоторые параграфы глав. В то же время книга дополнена новыми главами — о дренировании орошаемых земель и об управлении орошением в США. Содержание некоторых глав дополнено новым материалом: приведены сведения о размерах орошаемой площади по состоянию на 1948 г., пополнены расчеты по насосному водоподъему, по устройству колодцев и стоимости подъема воды в США, расширены сведения о полевой влагоемкости почвы, влажности увядания и движении воды в ненасыщенной почве; приведены показатели содержания солей в оросительной воде и данные о солевыносливости различных сельскохозяйственных культур; обновлены и расширены данные исследовательских работ в США; составлен новый список 300 литературных источников по орошению.

Следует отметить, что приводимые автором сведения о размерах орошаемых площадей по состоянию на 1948 г. расходятся с данными других авторов, в частности Горна и Петерсона. Так, площадь орошаемых земель в Индии и Пакистане, по Израэльсену, равна 24 млн. *га*, в то время как по английским источникам она исчисляется в 28 млн. *га*.

Площадь орошения в СССР в 1948 г. показана в 3,2 млн. *га*, в действительности же она была в 2 раза больше.

В гл. 6 опущен расчет полива по бороздам. Сведения по этому господствующему в США способу полива даны кратко и носят эмпирический характер. Указано, например, что для сада длина борозды колеблется от 100 фут. (30 *м*) и менее до $^1/_4$ мили (400 *м*) для полевых культур, причем эти нормы не дифференцированы для такого большого диапазона. Функциональная зависимость длины борозд от свойств почв, уклона и от других факторов не отмечена.

Говоря о минимальной и максимальной влажности почв, проф. О. Израэльсен считает, что доступность почвенной воды растению зависит только от свойств почвы и совершенно не говорит о физиологических особенностях растений, вероятно по тем же соображениям, что минимум влажности определяется только свойствами почвы. С этим утверждением нельзя согласиться.

По результатам ряда опытных работ автор отмечает, что рыхление почвы не оказывает влияния на влагозадержание, что не подтверждается нашей практикой.

При переводе книги на русский язык в новом издании выпущена гл. 18 об административных аспектах орошения в США, как не представляющая интереса для советского читателя. Кроме того, сокращены гл. 15, 16 и исключен ряд таблиц, содержащих материалы, не имеющие значения для советской практики орошения.

В русском переводе книги опущено приложение А, содержащее вопросы и ответы на них, предназначенные для учащихся-американцев.

Книга обильно иллюстрирована графиками и фотоснимками. К недостаткам, однако, следует отнести отсутствие в некоторых случаях описаний, например, конструкции тензиометра. На рис. 75 расположение борозд, непараллельное друг другу, исключает возможность применения механизированного рыхления почвы многолемешным культиватором.

Второе издание книги проф. О. Израэльсена по своему содержанию остается учебным руководством, рассчитанным на студентов; приводимый материал взят в основном лишь из американской практики.

В книге приводится много различных сведений по ирригации в США. Для советского читателя особый интерес могут представить методы рассоления почв, откачки грунтовых вод, конструкции насосов, вопросы грунтового магазинирования поверхностных вод, использования этих вод в целях орошения, техника орошения, машины, применяемые для облицовки и отделки поверхности каналов и пр.

Числовые величины в книге переведены при редактировании в метрическую систему мер.

С. Тромбачев.

Глава 1

ПРОГРЕСС В ИРРИГАЦИИ И ЗАДАЧИ ОРОШЕНИЯ

Орошение — древнее искусство. На орошаемых землях возникали цивилизации, но эти же цивилизации, связанные с ирригацией, приходили в упадок и разрушались. В США и Канаде ирригация находится еще в начальной стадии своего развития. Большинство лиц, хорошо знакомых с вопросами орошения, убеждено в возможности создания долговечных оросительных систем при условии их рациональной эксплуатации. Другие же полагают, что цивилизация, созданная на основе орошаемого земледелия, рано или поздно придет в упадок также, как и некоторые древние цивилизации. Длительное существование цивилизованных наций, очевидно, зависит от многих факторов, среди которых особенно важным является устойчивое по производительности сельское хозяйство. В этой книге рассматриваются некоторые принципы и практические приемы, применение которых существенно необходимо для обеспечения постоянной рентабельности орошаемого земледелия.

1. Определение понятия «орошение». Термин «орошение» определяется как искусственная подача воды в почву с целью обеспечения ее влагой, необходимой для развития растений. Воду можно подавать в почву разными способами: 1) затоплением поверхности; 2) по бороздам — большим и малым; 3) под поверхностный слой почвы (подпочвенное орошение, при котором вода поднимается по капиллярам вверх); 4) дождеванием. В некоторых районах, обычно определяемых как влажные, сельскохозяйственные культуры из года в год развиваются удовлетворительно без помощи искусственного орошения; необходимое увлажнение почвы обеспечивается дождями. В других же районах в некоторые годы дожди обеспечивают получение всего количества влаги, потребной для растений, в иные же годы осадков выпадает недостаточно. Подача воды для орошения в засушливые годы в этих районах экономически оправдывается, так как доходы от повышения урожая культур покрывают издержки на орошение. В районах с незначительным годовым количеством осадков, а также там, где дожди отсутствуют в период вегетации (при достаточно высоком общем годовом количестве осадков), для

обеспечения высоких урожаев сельскохозяйственных культур существенно необходимо применять орошение ежегодно. Однако почти во всех орошаемых районах растения в некоторой степени питаются и дождевой водой, получаемой ими или в виде влаги, накопленной почвой от осадков до вегетационного периода, или в виде влаги, впитанной почвой непосредственно от дождей, выпавших в период вегетации. Орошение по существу дает возможность дополнять количество воды, получаемой почвой от естественных осадков; это дополнение необходимо для успешного возделывания растений и возможности удлинения периода их вегетации.

2. Орошаемые площади. Установлено, что $^1/_3$ поверхности земного шара получает ежегодно менее 250 *мм* осадков и что другая треть — от 250 до 500 *мм*. Бюро торговли США опубликовало следующее географическое распределение зон с недостаточным количеством осадков: юго-западная часть Африки, Южная Америка, Австралия, северная часть Африки, северная и западная части Северной Америки и Азии и районы южной Европы. К таким зонам относятся районы Канады западнее 101-го меридиана, северо-западная Индия до реки Ганга, большая часть Австралии, Палестина, Ирак, значительная часть Южной Африки с прилегающими к ней областями и Судан. Имеются также большие полузасушливые районы в Китае, Японии, Средней Азии, Египте, в западной части США, в Мексике и в странах Южной Америки. Бюро мелиорации США собрало данные, относящиеся к орошаемым площадям во всем мире. Сводка этих данных, показывающая распределение и величину орошаемых площадей, базирующаяся на разных данных, приведена в табл. 1.

На земном шаре насчитывается, таким образом, 200 млн. акров орошаемых площадей; из этого количества приблизительно $^1/_3$ расположена в Индии и Пакистане, более $^1/_4$ — в Китае и $^1/_{10}$ — в США. Некоторые авторы определяют величину орошаемой площади в Китае приблизительно в 80 млн. акров, что составляет $^1/_3$ орошаемой площади во всем мире.

Основная часть орошаемых земель Северной Америки — около 21 млн. акров — находится в западной части США. Приблизительное размещение и площади орошаемых земель на Западе США показаны на карте (рис. 1). Орошаемые земли имеются также и в восточной части США, но, так как площади их невелики, они не показаны на карте. В некоторых районах восточной части США дожди обычно дают воды вполне достаточно для возделывания сельскохозяйственных культур. Однако сельское хозяйство в таких частях западных штатов, как центральная и южная Калифорния, почти полностью зависит от орошения.

Таблица 1

Орошаемые площади во всем мире с распределением по отдельным странам, 1948 г.

Страны	Орошаемые площади, млн. акров *
Австралия	1,0
Аргентина	2,5
Бразилия	2,0
Египет	6,5
Индия и Пакистан	60,0
Иран	2,5
Ирак	3,0
Испания	3,5
Италия	5,0
Китай	50,0
Канада	1,0
Мексика	6,0
Марокко	1,5
Перу	2,0
Сиам	2,0
США	21,0
СССР	8,0 **
Филиппины	1,0
Франция	5,0
Французский Индокитай	5,0
Чили	3,0
Ява (Индонезия)	3,0
Япония	7,5
Всего ...	202,0
Другие страны	3,0
Всего ...	205,0

* 1 акр = 0,405 *га*

** Данные ошибочны: в действительности было около 7 млн. *га*, или примерно 17,5 млн. акров. — *Прим. ред.*

3. Современное состояние ирригации в США. В США в настоящее время только наполовину закончена работа по использованию в засушливых районах всей площади земель, которые могут быть в конечном итоге орошены. Около 50% всей площади, где вообще возможно орошение, являются пока

вследствие недостатка воды непроизводительными районами. Капиталовложения, необходимые для мелиорации второй половины площади, ее орошения, значительно превосходят денежные средства, затраченные на уже орошаемые земли. Предстоит сооружение огромных водохранилищ, постройка самых больших каналов, наиболее дорогостоящих туннелей и дюкеров. Нет возможности предсказать точно время, когда будут закончены такие монументальные оросительные сооружения для снабжения водой запада США. Существенным обстоятельством является то, что одновременно со значительным увеличением населения в течение каждого десятилетия увеличивается также и его потребность в оросительной воде. Быстрота роста населения в западных штатах особенно показательна. За период с 1940 по 1947 г. население 7 штатов тихоокеанского побережья от количества меньше 14 млн. человек возросло до 18 млн. с лишним, т.е. увеличилось приблизительно на 30%.

В течение 100 с небольшим лет население Европы возросло с 200 млн. до 500 млн. человек. В Великобритании население увеличилось с 10 млн. в 1800 г. до 40 млн. человек в 1900 г. В США в промежуток времени между 1900 и 1940 гг. население увеличилось на 70%, а между 1930 и 1940 гг. прирост был равен почти 9 млн. человек. Если население земного шара будет увеличиваться и в дальнейшем с такой же скоростью, то возникнет вопрос, из каких источников можно будет получать для него пищу. И мужчины, и женщины, знакомые с ирригацией, будут призваны для разрешения этой мировой задачи. Пустынные и засушливые земли штатов Аризоны, Калифорнии, Юта, Айдахо и Колорадо, бесплодные в настоящее время из-за отсутствия влаги, могут стать высокопродуктивными районами. В штате Монтана занимаются сухим земледелием, в частности возделыванием пшеницы, в значительно большей степени, чем земледелием на орошаемых площадях. По официальным данным США (State Board of Equalization) видно, что продуктивность акра орошаемой земли эквивалентна продуктивности четырех акров неорошаемой пахотной площади.

4. Инженерно-техническая и сельскохозяйственная стороны ирригации. На инженере лежит ответственность за проектирование и постройку сооружений, необходимых для создания водохранилищ, забора, подачи воды к местам орошения и ее распределения между потребителями. Важно построить сооружения настолько основательно, чтобы на прочность и устойчивость их можно было положиться и в критические периоды. Прорыв водохранилищной плотины может иметь следствием не только потерю больших капиталовложений, но в некоторых случаях быть причиной также и потери многих человеческих жизней. Размыв

водозаборной плотины или прорыв канала влечет за собой не только полное или частичное разрушение всего сооружения, но весьма часто и потерю ценного урожая вследствие прекращения подачи воды растениям в то время, когда она нужна. Современная ирригация предъявляет к инженеру требование строить сооружения, экономически себя оправдывающие. В некоторых проектах оросительные сооружения размещены так, что для орошения полей приходится перекачивать большое количество воды из рек, озер и водоемов. Инженер отвечает за конструкцию и установку соответствующего насосного оборудования. Многие замечательные оросительные сооружения — убедительное свидетельство о достижениях инженеров в данной области. Задачей, за разрешение которой инженер несет серьезную ответственность, является также определение потребных количеств воды и способов подачи ее на орошаемые площади. Для надежных прогнозов стока воды в бассейне данной речной системы обычно ведутся систематические наблюдения в течение многих лет за осадками в виде дождя и снега и за режимом рек и ручьев. К сожалению, в прошлом водные ресурсы при оценке часто преувеличивались, а потребность в воде преуменьшалась, что влекло за собой катастрофические последствия для многих оросительных систем. В решении проблем, связанных с орошением, наблюдается заметный прогресс, но возможности для развития орошения все еще далеко не использованы.

Для сельского хозяйства существенное значение имеют способы подачи оросительной воды на поля. С агротехникой в орошаемом земледелии связано значительно большее число лиц, чем с инженерно-техническими вопросами оросительных сооружений. Каждый земледелец, пользующийся орошением, должен решать важные вопросы, относящиеся к практике орошения, а некоторые из этих вопросов должны решаться ежегодно по-разному. Не существует постоянных правил, применимых в условиях всех засушливых районов, для всех типов почв и ко всем сельскохозяйственным культурам; нет также единого решения, когда следует производить поливы. Для многих фермеров, пользующихся орошением, является затруднительным вопрос о глубине, на которую оросительная вода должна проникать в почву в зависимости от различных климатических и почвенных условий, если иметь в виду экономическую сторону получения урожая.

С агротехнической стороной орошения связаны вопросы о надлежащей глубине проникновения воды в почву при каждом поливе, о равномерном распределении воды, о влагоемкости различных почв и о передвижении воды в почве.

Для наиболее эффективного использования воды необходимо, чтобы методы и практика орошения находились в соответствии с климатическими и почвенными условиями данной местности.

Сельскохозяйственные культуры, возделываемые в данном районе, выбираются до известной степени в соответствии с климатическими условиями местности, где находится то или другое хозяйство. На инженеров, работающих в сельском хозяйстве, и на агрономов возлагается ответственность за установление данных, необходимых для правильного разрешения в практике орошения некоторых трудных вопросов, относящихся к агрономической стороне орошения.

5. Климат и орошение. На орошение оказывают влияние метеорологические факторы — снегопады, дожди, температура, количество солнечных дней в году, а также длительность периода вегетации растений. В некоторых местностях штатов Аризона, Калифорния, Нью-Мексико и западного Техаса орошением пользуются в течение 10—12 месяцев в году, причем применение орошения исключительно важно для получения удовлетворительных урожаев. В других районах, например в части штата Монтана и части Канады, дожди в иные годы столь обильны, что надобность в орошении сомнительна. Искусственное орошение в основном дополняет собой ту часть естественных осадков, которую можно использовать при возделывании культур. С изменением количества естественных осадков, в зависимости от района и времени года, изменяется и количество воды, необходимой для искусственного орошения. В США имеется несколько долин с засушливым климатом, где осадки столь незначительны, что влияние их на урожай совершенно ничтожно. Как правило, влага, предоставляемая людям природой, должна тщательно сберегаться в целях ее использования для возделывания растений; запасы этой влаги должны учитываться при определении потребности почв и растений в воде.

6. Почвы и орошение. Весьма важно влияние свойств различных почв на практику орошения. Обычно влияние почвы на орошение недооценивается. Некоторые почвы состоят из крупных мало уплотненных частиц; такие почвы водопроницаемы в значительной степени. Другие почвы составлены из мелких сильно уплотненных частиц; такие почвы почти непроницаемы для воды. Исследования показали, что в некоторых почвах передвижение воды совершается в тысячу раз скорее, чем в других. Водопроницаемость почвы сильно влияет на практику орошения. В условиях почв с большой водопроницаемостью наблюдаются чрезмерные потери воды в результате ее глубокого просачивания в почву; поэтому необходимое увлажнение почвы с малой водопроницаемостью затруднительно. Почва является как бы резервуаром, в котором хранится вода для растений в промежутках времени между поливами. Размеры частиц почвы, их уплотненность, глу-

бина активного слоя почвы, органические вещества, содержащиеся в ней, и уровень грунтовых вод — все эти факторы влияют на глубину проникновения воды в почву и на накопление воды в зоне корневой системы за время одного полива; те же обстоятельства влияют и на периодичность поливов. Мощность слоя почвы в значительной степени обусловливает емкость ее как резервуара, сохраняющего воду, и влияет на периодичность поливов. Разнообразие размеров частиц почвы, плотности ее сложения, водопроницаемость и различная высота почвенного слоя в разных местах являются скорее правилом, а не исключением. Такое понятие, как «однородность», не может быть приложено к нормальным почвам. Для сельского хозяина, пользующегося орошением, важно изучить почву своего хозяйства; только при этом условии практика орошения будет соответствовать особенностям тех почв, которые позволяют рентабельно возделывать те или иные культуры.

Сельский хозяин, пользующийся орошением и обладающий земельным участком с высокоплодородной почвой при достаточной подаче воды, живет обеспеченно, и его расходы по орошению экономически оправдываются. Урожайность земель часто падает из года в год вследствие постепенного поднятия уровня грунтовых вод с последующим засолением почвы.

Для обеспечения устойчивой рентабельности хозяйства в засушливом районе фермер, пользующийся орошением, должен тщательно продумать все вопросы, связанные с уходом за почвой даже при условии владения наилучшими землями. Опытом сельских хозяев в орошаемых районах США установлен тот факт, что для поддержания урожайности почв существенно необходимы удобрение навозом, запахивание в почву зеленых удобрений и применение других видов удобрений.

Глава 2

ИСТОЧНИКИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И ЕЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ

Дождь и снег — основные источники оросительной воды. Как правило, осадки, выпадающие в равнинных условиях орошаемых районов, имеют сравнительно малое значение как источники воды; главными ресурсами оросительной воды являются осадки, выпадающие в горных районах. Эффективность любой оросительной системы основана главным образом на надежности подачи из нее воды в достаточном количестве. Общественные организации орошаемых районов должны накоплять в течение продолжительного времени сведения об осадках, о режиме и стоке рек, о подземных запасах воды в целях создания схемы рационального и полного использования всех водных ресурсов.

7. Осадки и температура. Для развития растений существенно важны вода и тепло. В орошаемых районах эти два основных фактора обеспечиваются природой не одновременно. Большая часть осадков выпадает преимущественно в течение холодного времени года, когда не происходит вегетации сельскохозяйственных культур. Наименьшее же количество осадков приходится на месяцы, когда морозы уже кончились и когда растения развиваются. В некоторых орошаемых долинах штатов Невада и Калифорния в течение периода наиболее быстрого развития растений количество осадков настолько мало, что увлажняется только поверхность почвы с последующим быстрым испарением влаги. На графиках (рис. 2) показано, что в течение месяцев с наиболее высокой средней температурой количество осадков невелико. На тех же графиках показаны также минимальные, средние и максимальные температуры для каждого месяца в районах некоторых городов в штатах Юта, Орегон, Невада и Калифорния и одновременно соответствующие средние величины осадков.

8. Годовые осадки. Районы с большим количеством осадков в течение года известны под названием влажных. Районы с малым годовым количеством осадков считаются засушливыми или полузасушливыми. Количество осадков, выпадающих на поверхности земного шара, весьма различно — от 0 *мм* в таких пустынных

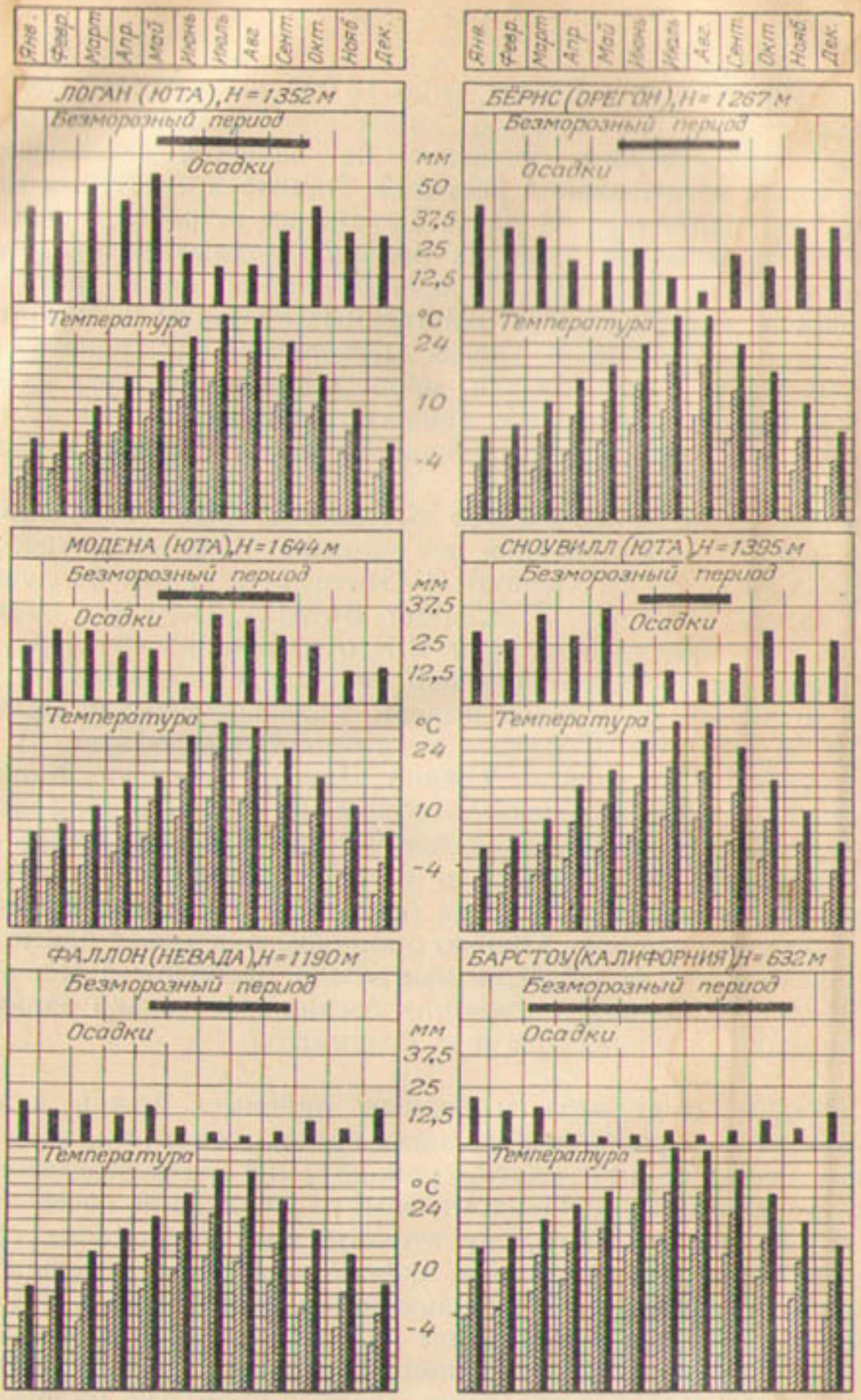


Рис. 2. Климатологические характеристики, составленные по данным некоторых метеостанций США, с показанием средних величин безморозных периодов, среднемесячных осадков, среднемесячных минимальных (легкая штриховка столбиков), среднемесячных (штриховка накрест) и среднемесячных максимальных температур (сплошная штриховка). (По данным Статистического бюро США.)

районах, как Ассуан в Египте, и до 15 000 *мм* и более в Ассаме в Индии. Там, где годовое количество осадков не менее 750 *мм*, искусственное орошение не является необходимым условием для возделывания растений. Однако в некоторых местностях, как, например, на части Гавайских островов, орошение рентабельно, несмотря даже на большое количество осадков в году, вследствие того, что наиболее обильные дожди выпадают в тот период, когда сельскохозяйственные культуры не находятся в состоянии вегетации. В других местностях, как, например, в восточной части США, засухи, происходящие иногда в вегетационный период, значительно снижают урожаи, и поэтому орошение здесь в течение засушливых периодов является делом весьма выгодным.

Среднее годовое количество осадков в США показано на карте (рис. 3), составленной по данным Бюро геологической службы США (U. S. Geological Surrey), а также по данным Бюро погоды США (U. S. Weather Bureau). По карте видно *, что в направлении на восток от 101-го меридиана средняя годовая величина атмосферных осадков увеличивается приблизительно от 500 до 875 *мм* в районах штатов, расположенных у Великих Озер, и до 1250 *мм* и более — в юго-восточных штатах. В восточных частях Северной и Южной Дакот, Небраски, Канзаса, Оклахомы и Техаса орошение необходимо только в засушливые годы, в западных же частях названных штатов применение орошения почти всегда выгодно. По карте также видно, что среднегодовое количество атмосферных осадков в отдельных западных штатах весьма различно. Однако орошение оказывает благотворное влияние на все обрабатываемые земли, расположенные западнее 101-го меридиана; исключение составляют только западные части штатов Монтана, Орегон и Вашингтон.

9. Осадки в долинах и горных районах. Дождь и снег, выпадающие на орошаемых долинах западных штатов, являются ценными источниками влаги, накопляемой непосредственно в почве. В некоторых долинах от зимних осадков в почве накопляется количество влаги, достаточное для прорастания семян и развития молодых растений в течение нескольких недель. В таких долинах в результате использования влаги зимних осадков, накопленной в почве, многолетние культуры хорошо развиваются уже в начале периода вегетации. В долинах же засушливых районов почва получает от зимних осадков настолько мало влаги, что фермеры бывают вынуждены давать предпосевные поливы для того, чтобы обеспечить прорастание семян и удовлетвори-

* Годовые изогиеты осадков на карте выражены в дюймах; 1 дюйм = = 25,4 *мм*. — *Прим. ред.*

тельное развитие растений в начальной стадии. Сельское хозяйство в таких долинах почти полностью зависит от атмосферных осадков, выпадающих в соседних горных районах, являющихся источником для орошения. Как правило, почти во всех орошаемых районах осадки, выпадающие в долинах, не имеют особого значения как источник оросительной воды. Осадки же, выпадающие в горных районах, составляют главные водные ресурсы (рис. 4). Такие условия создают для населения засушливых районов весьма интересные, но трудно разрешимые задачи подачи воды из горных районов на земли в долинах. Эти же условия вызывают настоятельную необходимость в глубоком изучении стока воды, который может быть получен от выпадения дождя и снега в течение оросительного сезона и целого года в данной горной местности. Жизненно важные проблемы требуют разумного решения, которое кладется в основу полного и экономического использования почти всех природных ресурсов Запада. Правильные решения неотделимы от вопроса о запасах воды в зоне водосборных бассейнов, от вопроса подвода воды к местам ее рентабельного использования в целях получения гидроэнергии, для орошения или для удовлетворения бытовых потребностей или нужд промышленных предприятий. Целью настоящей книги является прежде всего сообщение сведений, необходимых для экономного использования оросительной воды. Однако необходимо широкое признание того, что разумное решение задачи определения водных ресурсов в пределах данной водосборной площади и об экономных способах подачи воды к местам ее использования будут заметным шагом вперед по пути к общему благополучию.



Рис. 4. Потенциальные ресурсы оросительной воды, обнаруживаемые при изучении снежного покрова гор.

10. Изучение водных запасов. Накопление надежных сведений относительно возможных источников получения воды связано с затратой значительного труда и умения. Представляется вероятным, что недостаточная обеспеченность водой явилась причиной ряда финансовых катастроф и неудачи многих оросительных

начинаний. Преувеличенный оптимизм в этом деле и решения, принятые на основании недостаточных данных о величине стока с данной водосборной поверхности, не раз повторялись в практике. Эти ошибки дорого обошлись многим гражданам из западных штатов. Переоценка обеспеченности водой некоторых оросительных предприятий выразилась в конечном итоге в



Рис. 5. Измерение содержания воды в снежном покрове.

уменьшении фактически орошаемых площадей по сравнению с размерами орошения, намечавшегося по проектам. Эта преувеличенная оценка обеспеченности водой делалась преимущественно на основании данных, полученных в течение ряда относительно дождливых лет, что приводило к катастрофическим результатам при наступлении ряда засушливых лет. Существование таких климатических циклов невозможно предсказать с достаточной точностью, так же как и установить пределы колебаний величины осадков и стока рек в разное время года. Эти трудности усложняют задачу наиболее полного использования всей воды, которая могла бы быть получена для орошения в разные годы. Однако

население засушливых районов может разумно отрегулировать до некоторой степени использование водных ресурсов на орошение, основываясь на надежных сведениях об обеспеченности данного района водой. Такие сведения основываются на измерениях снежного покрова, как это показано на рис. 5. Настоятельно необходимо, чтобы официальные лица, ведающие вопросами орошения, прониклись сознанием исключительной важности порученных им задач; необходимы также достаточные средства для проведения тщательного изучения каждой речной системы в отношении режима стока и наличия водных ресурсов, обеспечивающих дальнейшее расширение существующих оросительных систем.

11. Природные источники. На раннем этапе развития современных способов орошения в Америке вся необходимая вода доставлялась естественными источниками: реками, горными потоками, ручьями. У большинства таких источников сток воды значительно снижался к концу лета — именно тогда, когда потребность в воде для орошения увеличивалась. На рис. 6 показаны месячные стоки трех типичных рек Великого Бассейна. Средний месячный сток р. Логан (штат Юта) в августе составляет 14,5 млн. $м^3$, в июне же 58 млн. $м^3$. Средний годовой сток этой реки, по наблюдениям в течение 34 лет, составляет 275 млн. $м^3$.

В целях более полного использования водных ресурсов рек Запада для орошения необходимо задержать в водохранилищах паводковые воды, пока они не потребуются для орошения.

12. Открытые водохранилища. В западных штатах сооружено много открытых водохранилищ. Емкость каждого водохранилища определяется природными условиями ущелья или долины, в которых задерживается вода, а также высотой плотины, удерживающей такое количество воды, которое может быть рентабельно использовано. Емкость таких водохранилищ находится в пределах от нескольких миллионов кубометров на малых реках до более чем 38 млрд. $м^3$ для одного из новых государственных водохранилищ США (рис. 7). Плотины, построенные для целей орошения, также различаются по высоте от недорогих, в несколько метров высоты, до массивных сооружений, высотой более 200 *м*, стоимость которых выражается несколькими миллионами долларов (рис. 8). Высчитано, что почти половина общего годового запаса воды в западных штатах еще не использована для орошения. Из половины общего количества уже использованной воды, повидимому, от 48 млрд. до 60 млрд. $м^3$ население получает ежегодно из открытых водохранилищ. В конечном результате при использовании всего годового запаса воды для орошения приблизительно 16 млн. *га* земли, вероятно около 2/3 этих запасов воды,

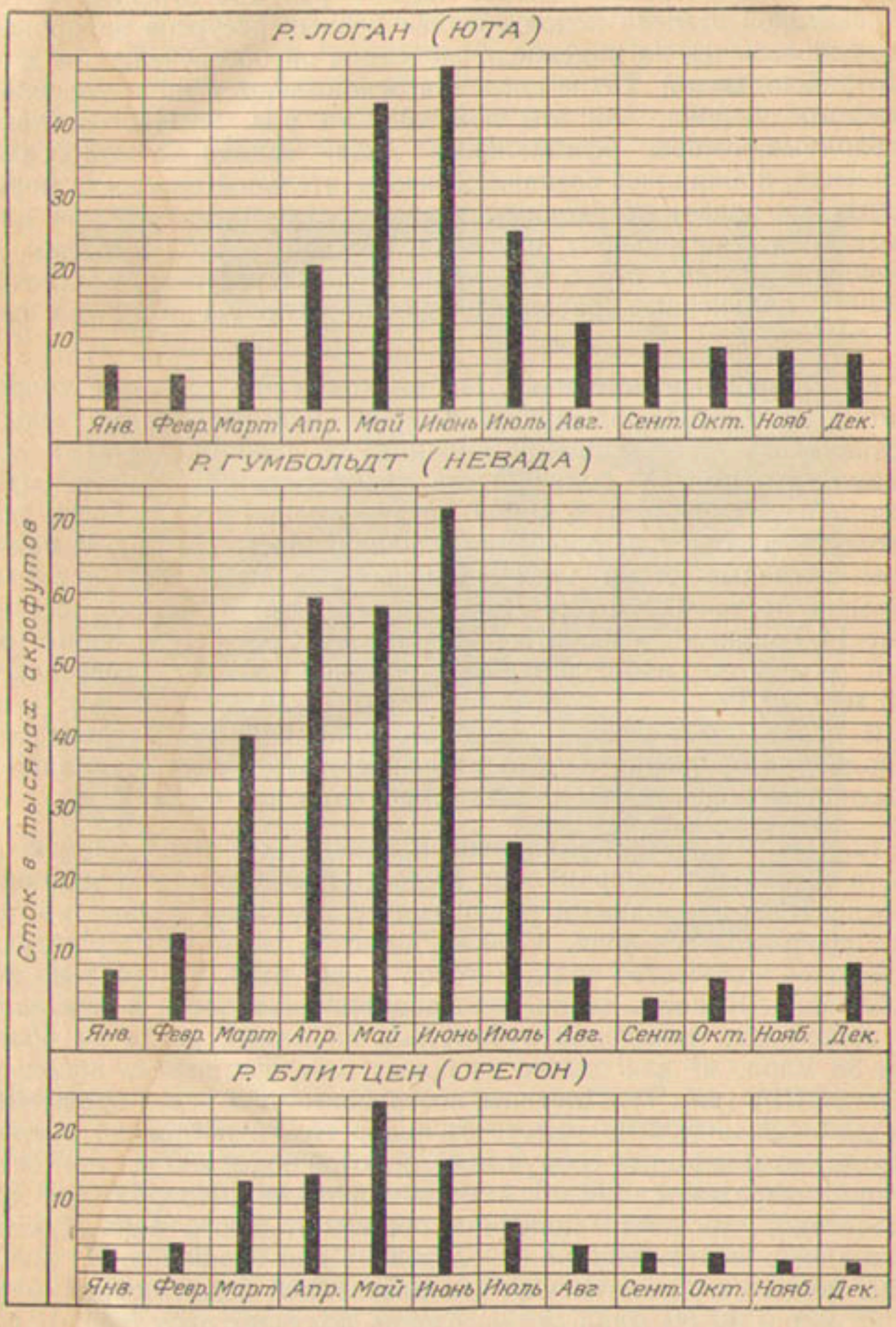


Рис. 6. Среднемесячный сток типичных рек Великого Бассейна США (1 тыс. акрофутов соответствует стоку воды 1,234 млн. $м^3$).

а возможно и больше, будет поступать ежегодно непосредственно из открытых водохранилищ. Необходимость дополнительного увеличения емкости водохранилищ заставит прибегнуть к сооружению плотин более высоких и более дорогих по сравнению с построенными до настоящего времени. Время, когда такие

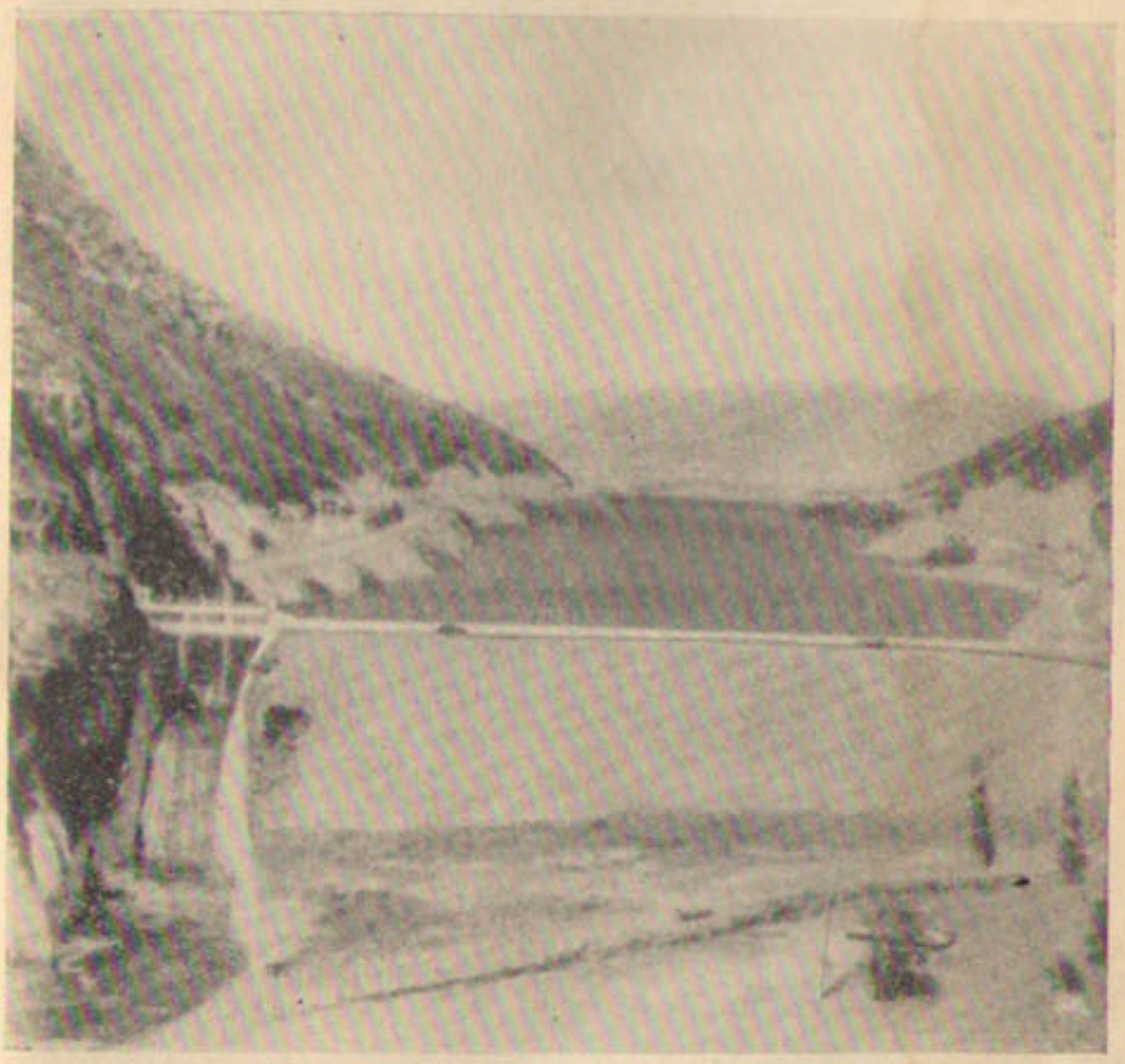


Рис. 7. Одно из государственных водохранилищ.

сооружения будут построены, зависит главным образом от увеличения спроса на сельскохозяйственные продукты.

13. Подземные водохранилища. В некоторых районах штатов Аризона, Калифорния, а также и в других западных штатах имеются большие запасы воды, содержащиеся в отложениях крупного гравия значительно ниже поверхности долин. Для использования этой воды широко применяется выкачивание ее из подземных источников. Понижение уровня грунтовых вод, являющееся результатом ее выкачивания в некоторых районах для

целей орошения, оказалось полезным также и как средство дренирования почвы. В других местах в результате выкачивания воды для орошения уровень подземных вод снизился настолько, что стало необходимым углублять имеющиеся колодцы. Понижение уровня грунтовых вод увеличило высоту подачи воды насосами и значительно повысило ее стоимость. Умеренное снижение уровня в тех районах, где условия благоприятны для откачки воды, способствует последующему затем накоплению подземных запасов воды.



Рис. 8. Порог водослива плотины Бауллдер Дэм; на заднем плане водохранилище Лейк Мид (штат Аризона).

Систематическое затопление поверхности участков, расположенных над подземными резервуарами, и просачивание в них воды становится признанным способом создания подземных запасов воды. В местностях, где вода выкачивается на поверхность для орошения или для других целей, подземные запасы воды можно увеличить, пользуясь искусственными способами их пополнения. Применимость этих способов была показана в некоторых западных штатах и особенно в штатах Аризона, Калифорния и Техас. Типична преграда из обломков скал в ущелье, образующая запруду (рис. 9). Это сооружение замедляет течение потока, вызывая инфильтрацию, пополняющую подземный запас воды. Запруды из обломков скал или преграды со слоем земли на их поверхности образуют разливы (лиманы), подобные показанному на рис. 10. Из таких лиманов вода просачивается в подземные резервуары и накопляется в них до времени, когда возникнет необходимость ее выкачивания на поверхность для орошения.

Гравий, залегающий под толщей мелкоземистых грунтов, может также служить до некоторой степени резервуаром грунтовых вод при том условии, что скорость движения грунтовых вод в нижние слои почвы не особенно велика. Целесообразность затопления поверхности земли паводковыми водами в целях их дальнейшего использования является вопросом, на который еще не дано общего ответа. Местными условиями определяются воз-



Рис. 9. Вид с воздуха на перепады, сооруженные из обломков скал на реке Сан-Антонио. На переднем плане и вправо белые изломанные полосы обозначают направление течения; прямые параллельные полосы в направлении слева направо — перепады из обломков скал, образующие водные террасы, замедляющие течение.

можности образования подземных водохранилищ, способ накопления воды, возможный процент использования и соответствующая стоимость эксплуатации, а также порядок распределения воды, накопленной различными оросительными предприятиями. Эти задачи, а также и другие, более сложные, должны быть внимательно изучены в каждой местности, что должно служить

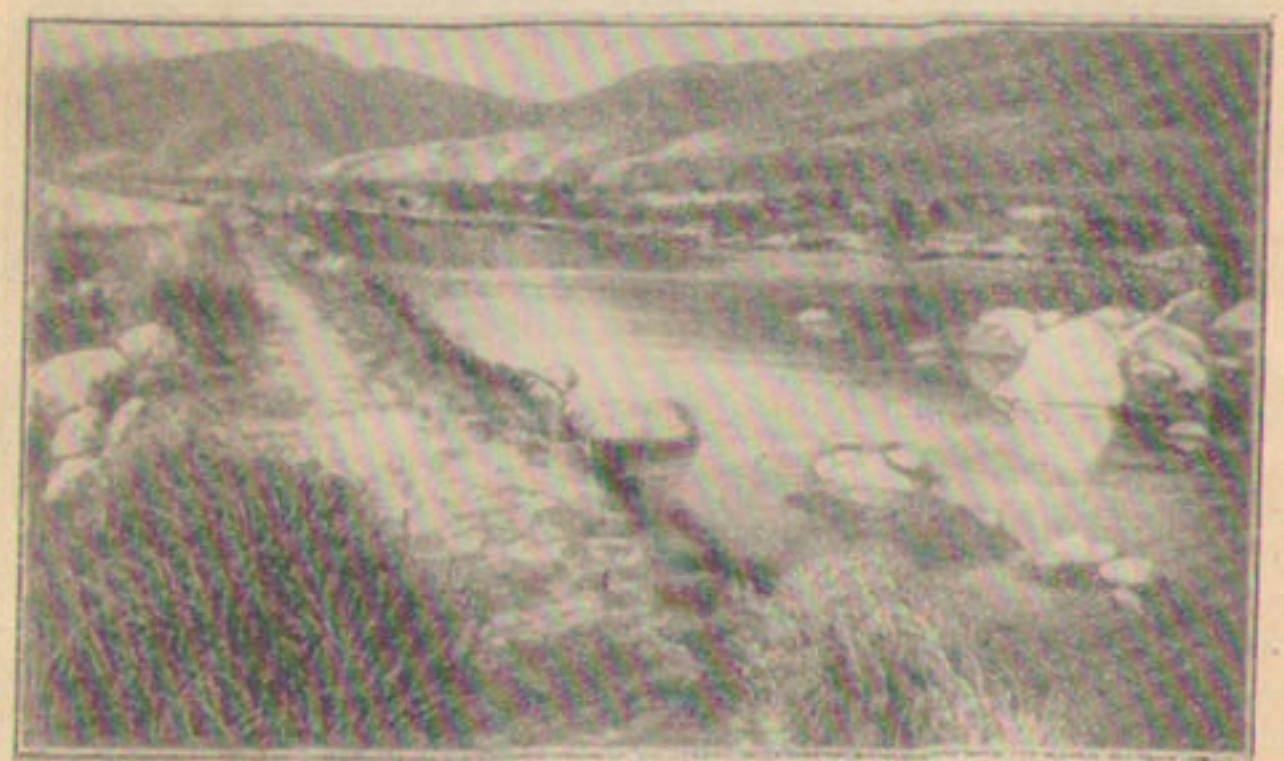


Рис. 10. Дамба, построенная насыпкой грунта на глыбы камня в ложе реки, замедляет течение и способствует образованию лиманов, простирающихся от гребня одной дамбы до другой, расположенной выше по течению.

основанием для суждения о целесообразности аккумулирования воды в подземных хранилищах.

14. Запасы воды в почве, в зоне корневой системы. Зона корневой системы в засушливых районах распространяется на глубину от 0,6 до 2,0 *м* и более. Суглинистые почвы могут иметь, например, толщину слоя 1,5 *м* и обладать значительной емкостью, позволяющей накоплять капиллярную воду, поглощаемую корнями растений. Как указывается в гл. 9, способность почв удерживать воду в состоянии, доступном для корней растений, находится в пределах от 25 *мм* до 50 *мм* и более на 30 *см* глубины почвы. Чтобы подчеркнуть важность запасов капиллярной воды, еще не оцененную в должной степени, следует сказать, что достаточно мощные глубокие суглинистые почвогрунты на орошаемых массивах с недостаточным количеством осадков зимой при тщательных поливах в течение осени или зимних

месяцев могут накопить миллиарды кубометров воды для использования ее растениями в начальной стадии вегетационного периода.

15. Коэффициенты полезного действия оросительных систем. Основной целью забора воды из природных источников для орошения полей является получение наибольших урожаев в соответствии с существующими экономическими условиями. Уменьшение потерь и как следствие этого повышение эффективности использования природных ресурсов (включая сюда и оросительную воду) дают в результате то, что называется экономичным использованием ресурсов, при условии, однако, что стоимость мероприятий по снижению потерь не слишком велика. Коэффициент полезного действия оросительной системы может быть увеличен снижением потерь воды на ее пути от источника воды к месту потребления, уменьшением утечек, потерь от глубокого просачивания в почву и испарения. Коэффициент полезного действия оросительной системы определяется как отношение количества воды, которое потребляется культурами, возделываемыми на орошаемых землях, к количеству воды, забираемой из реки или полученной от другого природного источника и направленной в один или несколько каналов.

Пусть E_i — к. п. д., выраженный в процентах;

W_c — оросительная вода, потребляемая в течение вегетационного периода сельскохозяйственными культурами орошаемого хозяйства или предприятия;

W_f — вода, поступившая в хозяйство за определенный период времени;

W_r — вода, отведенная в то же время из реки или другого природного источника в хозяйство или в каналы оросительной системы;

W_s — вода, накопленная в почве в зоне корневой системы. Тогда

$$E_i = \frac{100 W_c}{W_r}. \qquad (1)$$

На величину коэффициента полезного действия оросительной системы влияют эффективность способов отвода и подачи воды и эффективность способа полива. С их повышением увеличивается и коэффициент полезного действия. В большинство орошаемых районов эффективность орошения (т. е. коэффициент полезного действия системы) может быть существенно увеличена. Для многих источников значительные потери воды имеют место между временем и местом забора ее из реки и временем и местом ее накопления в почве в зоне корневой системы;

поэтому к. п. д. многих оросительных систем низок, вероятно, менее 33%.

Возьмем для примера сравнительно хорошую оросительную систему. Допустим, что 40% воды W_c, отводимой из источника, теряется на пути при доставке к месту потребления; 30% воды — W_f, поступающей в хозяйство, теряется вследствие сброса воды с орошаемых участков и на глубокое просачивание в почву; 20% воды — W_s, накопляемой в почве, теряется вследствие испарения. Тогда

$$W_f = 0{,}6\,W_r,$$
$$W_s = 0{,}7\,W_f = 0{,}42\,W_r,$$
$$W_c = 0{,}8\,W_s = 0{,}34\,W_r,$$
$$E_i = \frac{100\,W_c}{W_r} = 34\%.$$

Останавливаясь для примера на плохой оросительной системе, допустим, что 60% воды (W_f), отводимой из источника, теряется на пути и при распределении; 50 % воды (W_s), поступающей в хозяйство, теряется вследствие сброса с орошаемых участков и вследствие глубокого просачивания; 40% воды (W_c), накопляемой в почве, теряется в результате испарения. Тогда

$$W_f = 0{,}4\,W_r,$$
$$W_s = 0{,}5\,W_f = 0{,}2\,W_r,$$
$$W_c = 0{,}6\,W_s = 0{,}12\,W_r$$

и

$$E_i = \frac{100\,W_c}{W_r} = 12\%.$$

Если только эти расчеты правильны хотя бы приблизительно, они указывают на то, что возделываемыми культурами потребляется менее $^1/_3$ количества оросительной воды, взятого из источника. Поэтому очевидно, что вопросу повышения эффективности орошения должно быть уделено серьезное внимание.

Глава 3

УЧЕТ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Эффективность использования воды для орошения зависит в значительной степени от ее учета. Расширяющееся потребление оросительной воды и все увеличивающееся стремление оросительных предприятий определять плату за пользование водой на основе учета ее количества выдвигают вопрос о принципах и методах измерения количеств воды. Сведения о взаимоотношении воды, почвы и растений не могут быть использованы для практики орошения при отсутствии знания, как измеряется вода.

Для ясного представления лицами, изучающими вопрос о потребном количестве воды, ниже приводятся употребительные символы, единицы измерения и некоторые уравнения.

16. Единицы измерения стока воды. Единицы измерения стока разделяются на два вида: первый служит для выражения объемов воды, находящейся в покое, и второй вид — для измерения скорости течения воды и ее расходов. Для измерения объема воды, находящейся в покое, обычно употребляются: галлон, кубический фут, акродюйм и акрофут. Акродюйм — количество воды, достаточное для покрытия одного акра ($\sim 0{,}4$ *га*) слоем толщиною в один дюйм (2,54 *см*), что равно 3630 куб. футам (102 $м^3$); акрофут — количество воды, достаточное для покрытия одного акра слоем толщиной в один фут, что равно 43 560 куб. футам (1234 $м^3$).

Обычно употребляемыми единицами расхода потока воды являются галлоны в минуту, кубические футы в секунду и акрофуты в день. Пользуются также и «горным дюймом». Эта единица измерения определяется как количество воды, протекающее через отверстие в 1 кв. дюйм в вертикальной стенке под действием напора от 4 до 7 дюймов. Повсюду в западных штатах США горный дюйм определяется как расход 1 куб. фута воды в секунду (28,3 *л/сек*). В штатах Калифорния (на юге), Айдахо, Канзас, Нью-Мексико, Северная Дакота, Южная Дакота, Небраска, Юта ту же единицу определяют как 1/50 куб. фут/сек. В штатах Аризона, Калифорния (в северной части), Монтана, Невада, Орегон горный дюйм считается равным 1/40 куб. фут/сек.

В штате Колорадо 38,4 горного дюйма приравнивают к расходу в 1 куб. фут/сек.

17. Скорость истечения через отверстия. Под действием напора воды внутри труб водопровода вода вытекает из крана с большой скоростью, а при понижении напора скорость истечения воды уменьшается. Если бы напор внутри труб был одинаковым с давлением воздуха вне труб, вода не вытекала бы из крана. Давление в любой точке внутри массы воды с открытой поверхностью пропорционально глубине, на которой находится точка под поверхностью. Скорость истечения воды через отверстие в сосуде (или в стенке, поставленной поперек потока) увеличивается с глубиной расположения этого отверстия относительно поверхности воды. В практике орошения важно знать величину скорости истечения воды через отверстия, расположенные в любых глубинах под поверхностью воды. Основной закон физики, которому следует скорость истечения воды через отверстия, тот же, что и для скорости падения тела в любой точке вертикального пути от начальной точки падения.

Если пренебречь трением тела о воздух, то скорость падающего тела можно определить, зная расстояние, пройденное телом по вертикали от начала падения. Подобным же образом может быть определена скорость воды, вытекающей из отверстия в сосуде, если знать высоту положения поверхности воды над отверстием и пренебречь трением. Этот важный закон падения тел, применимый и к истечению воды, выражается уравнением

$$v = \sqrt{2gh}, \qquad (2)$$

где v — скорость воды в фут/сек или *м/сек*;
g — ускорение силы тяжести (или силы тяжести, отнесенной к единице массы воды);
h — глубина, на которой находится отверстие или высота напора, вызывающего истечение из отверстия в фут. или в *м*.

При значительном размере отверстия по вертикали скорость истечения воды в нижней его части будет заметно больше, чем в верхней. Для упрощения расчета далее принято, что высота отверстия по сравнению с высотой напора, вызывающего истечение, настолько мала, что разницей между скоростями вверху и внизу отверстия можно пренебречь. Для примера примем $h = 1{,}2$ *м* (рис. 11). Тогда

$$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}2} = 4{,}85 \text{ м/сек},$$

т. е. теоретически через отверстие, находящееся на глубине 1,2 *м*, вода должна вытекать со скоростью, равной приблизительно 5 *м/сек*. Действительная скорость истечения воды не-

сколько меньше теоретической вследствие сопротивления, оказываемого трением.

Количество воды, протекающей через отверстие или через живое сечение канала, прямо пропорционально площади отверстия или площади живого сечения канала, а также скорости течения. Это выражается уравнением

$$q = av, \tag{3}$$

где q — количество протекающей воды в куб. фут. или $м^3$ в секунду *;

a — площадь отверстия или поперечного сечения канала в кв. фут. или $м^2$;

v — средняя скорость в фут/сек. или $м^3/сек$.

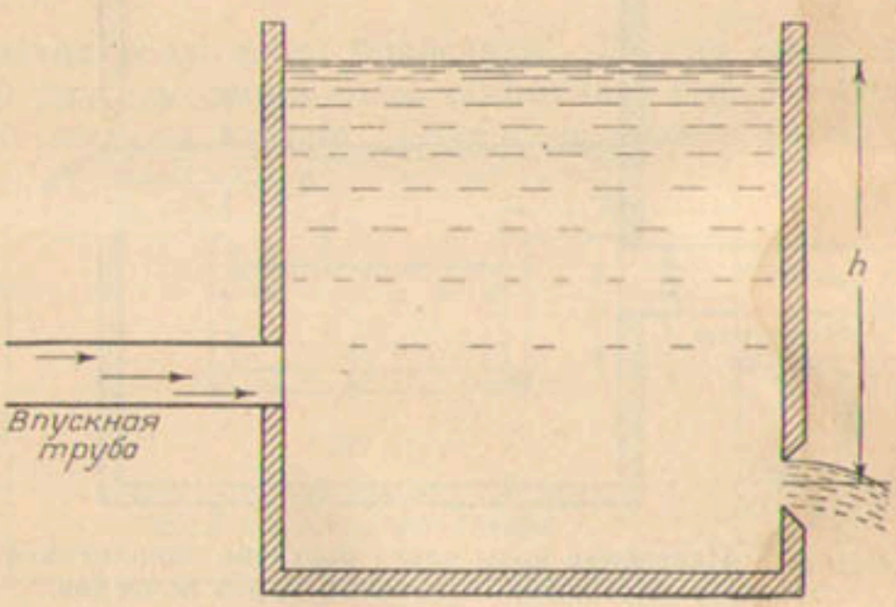


Рис. 11. Истечение воды через отверстие под напором.

18. Расход через отверстие. Теоретический расход через отверстие можно определить, подставив в уравнение (3) вместо v его выражение из уравнения (2), т. е.

$$q = a\sqrt{2gh}. \tag{3а}$$

Если высота отверстия (рис. 11) равна 4 дюймам, а длина равна 18 дюймам (перпендикулярно к поверхности страницы), то площадь

$$a = \frac{4 \cdot 18}{144} = \frac{1}{2} \text{ кв. фут, или } 0{,}045\ м^2.$$

---

* Физической размерностью q является $\frac{L^3}{T}$; так как $a = L^2$, а $v = \frac{L}{T}$, то произведение $av = L^2\frac{L}{T} = \frac{L^3}{T}$.

Опыт показывает, что в действительности расход через обычные отверстия равен 0,6 теоретического расхода. Поэтому фактический расход q может быть вычислен так:

$$q = 0{,}6 \cdot 0{,}045 \cdot 4{,}85 = \sim 0{,}13 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

В окончательном виде уравнение расхода через отверстие представляется так:

$$q = Ca\sqrt{2gh}, \qquad (4)$$

где C — коэффициент расхода, определяемый опытным путем. Этот коэффициент находится в пределах от 0,6 до 0,8 и более

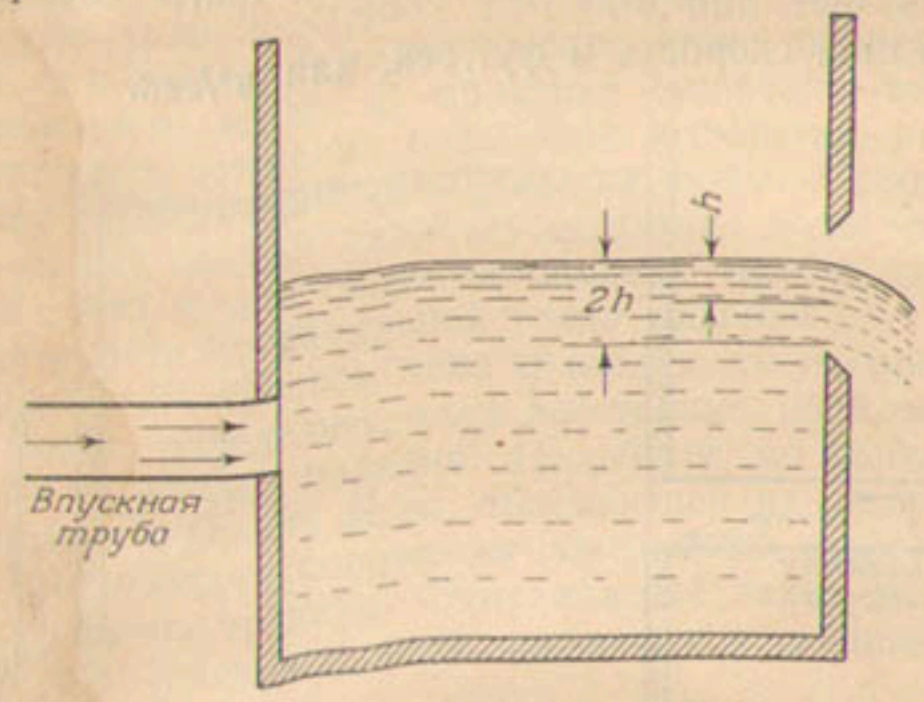


Рис. 12. Истечение воды через частично заполненное отверстие аналогично истечению через водослив.

в зависимости от положения отверстия относительно боковых стенок и дна сосуда или канала, а также от большей или меньшей округленности краев отверстия.

Если предположить, что высота отверстия увеличена, а поверхность воды понижается, пока не опустится ниже верхнего края отверстия (рис. 12), то напор, от которого зависит средняя скорость истечения (на рис. 12 обозначен буквой h), будет равен половине толщины слоя воды над нижним краем отверстия. Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярного к направлению течения, в действительности меньше площади отверстия. При длине отверстия 1,5 фута (или 45 *см*) поперечное сечение потока будет

$$a = 2h \cdot 1{,}5 \text{ кв. фут.},$$

или, выражая длину отверстия символом L в футах,

$$a = 2hL \text{ кв. фут.}$$

Подставляя это выражение вместо a в уравнение (4), получаем

$$q = 2CLh\sqrt{2gh} = 2CLh^{\frac{3}{2}}\sqrt{2g}. \quad (5)$$

Так как ускорение силы тяжести почти постоянно, то будет удобно произведение $2C\sqrt{2g}$ заменить одним символом — C', из чего следует, что

$$q = C'Lh^{\frac{3}{2}}. \quad (6)$$

Уравнением (6) выражается теоретический расход через отверстие для случая, когда верхний край отверстия выше поверхности воды.

19. Расход воды через водосливы. Термин «водослив», применяемый при измерении воды, обозначает вырез в стенке, установленной поперек потока. Отверстие может быть по форме

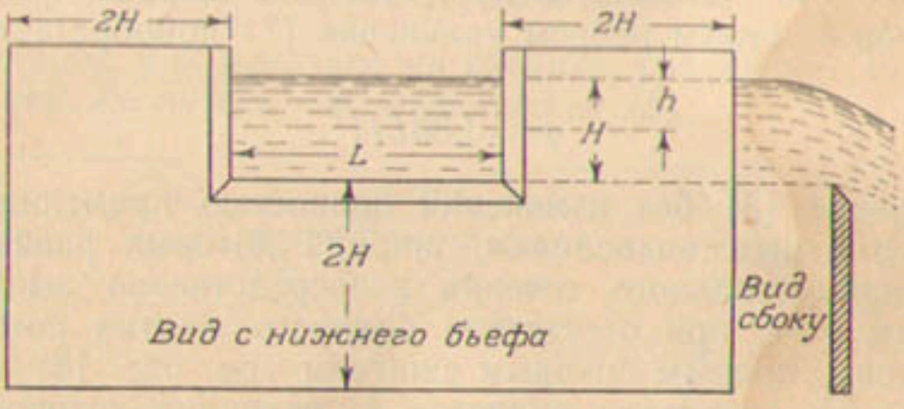


Рис. 13. Прямоугольный водослив с полным боковым сжатием.

прямоугольным, трапецоидальным и треугольным. Отверстие (см. рис. 12), частично заполненное текущей водой, и является водосливом. При измерении течения воды через водосливы удобно, как это обычно и делают, измерять полную глубину воды в водосливе, т. е. $2h$ (см. рис. 12). Хотя глубина воды H (рис. 13) не относится к точке со средней скоростью потока, тем не менее величиной H можно пользоваться в уравнении (6), изменив только значение коэффициента C'. Заменяя h равной ему величиной $\frac{H}{2}$, придаем уравнению (6) следующий вид:

$$q = C'L\left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{C'}{2^{\frac{3}{2}}}LH^{\frac{3}{2}},$$

или

$$q = C'' L H^{\frac{3}{2}}, \tag{7}$$

где *

$$C'' = \frac{C'}{2^{\frac{3}{2}}}.$$

Уравнение (7) выражает в общей форме расход воды через прямоугольные и трапецоидальные водосливы. Хотя, как указано выше, это уравнение базируется на основном уравнении $q = av$, при пользовании уравнением (7) необходимо помнить, что существенными для измерения являются только длина L порога (или ширина) водослива и глубина H (или напор) воды, текущей через водослив. Нет надобности в непосредственном измерении скорости. Коэффициент C'', обычно выражаемый через C, определен опытным путем многими научными работниками. Для прямоугольного водослива, по исследованиям Френсиса, $C'' = 3{,}33$. Отсюда следует, что для широко применяемых водосливов с острым ребром уравнение (7) приобретает вид:

$$q = 3{,}33 L H^{\frac{3}{2}}. \tag{8}$$

Уравнение (8) без изменений полностью применимо только к прямоугольным водосливам, ширина которых равна ширине канала прямоугольного сечения непосредственно выше порога водослива, т. е. при отсутствии бокового сжатия потока. Для водосливов с полным боковым сжатием (см. рис. 13) эффективной шириной водослива является L, величина которой определяется уравнением

$$L = L' - 0{,}2H, \tag{9}$$

где L' — измеренная длина порога водослива. Обычно для практического использования уравнения (8) принимают $L = 1$ и, решая его для разных значений H, составляют расчетные таблицы.

Итальянский инженер Чиполетти сконструировал водослив трапецоидальной формы с полным боковым сжатием. Предполагается, что расход воды через такой водослив прямо пропорцио-

---

* Размерность коэффициента C'' в уравнении (7) $L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$. Подстановка дает

$$\frac{L^3}{T} = \frac{L^{1/2}}{T} L^{\frac{2}{2}} L^{\frac{3}{2}} = \frac{L^3}{T},$$

что показывает однородность выражения с уравнением (7).

нален длине порога. Водослив Чиполетти нашел себе широкое применение. Приводим уравнение для расхода через этот водослив:

$$q = 3{,}367 L H^{\frac{3}{2}}. \qquad (10)$$

Боковые стороны водослива Чиполетти имеют наклон 1 : 4 (рис. 14). Пренебрегая небольшой поправкой в связи с наклоном



Рис. 14. Трапецоидальный водослив Чиполетти.

боковых сторон, как показано на рисунке, уравнение (10) можно получить тем же путем, как и уравнение (8).

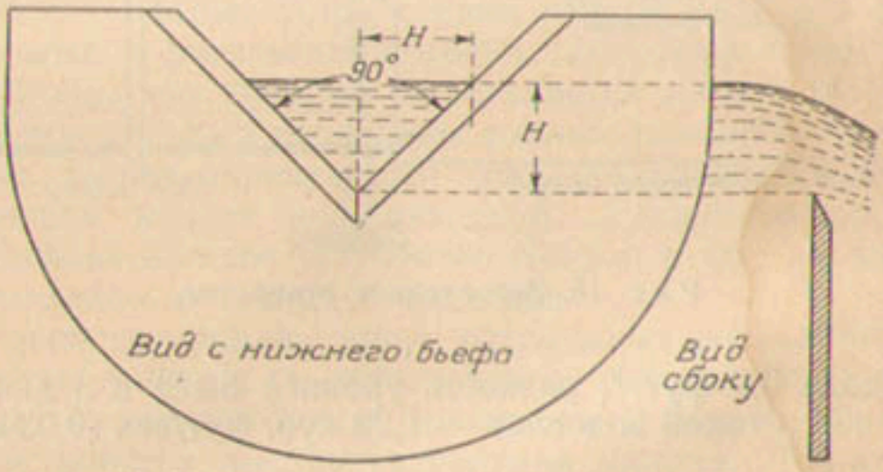


Рис. 15. Треугольный водослив с углом выреза 90°.

На рис. 15 показан водослив с поперечным треугольным сечением с углом 90°. Площадь его сечения $H \cdot H$, или H^2. Теоретический расход по уравнению (4) определяется формулой

$$q = CH^2\sqrt{2gh} = C'H^{\frac{5}{2}}.$$

Действительный расход через треугольный водослив, определенный опытным путем, выражается приблизительно уравнением

$$q = 2{,}49 H^{\frac{5}{2}}. \qquad (11)$$

20. Затопленные водосливы. Поперечное сечение затопленного водослива определяется как произведение его длины на высоту $A = l \cdot H$. Потеря напора для случая протекания воды через затопленный водослив выражается разностью h уровней воды между верхним и нижним бьефами (рис. 16). По уравнению (4) и на основании результатов опытов расход для стандартного затопленного водослива определяется уравнением

$$q = \frac{61}{100} LH\sqrt{2gh}. \qquad (12)$$

Затопленными водосливами пользуются в их обычной форме, а также в комбинации со щитами для измерения напора. Пример. Затопленный водослив имеет размеры: высоту 6 дюймов,

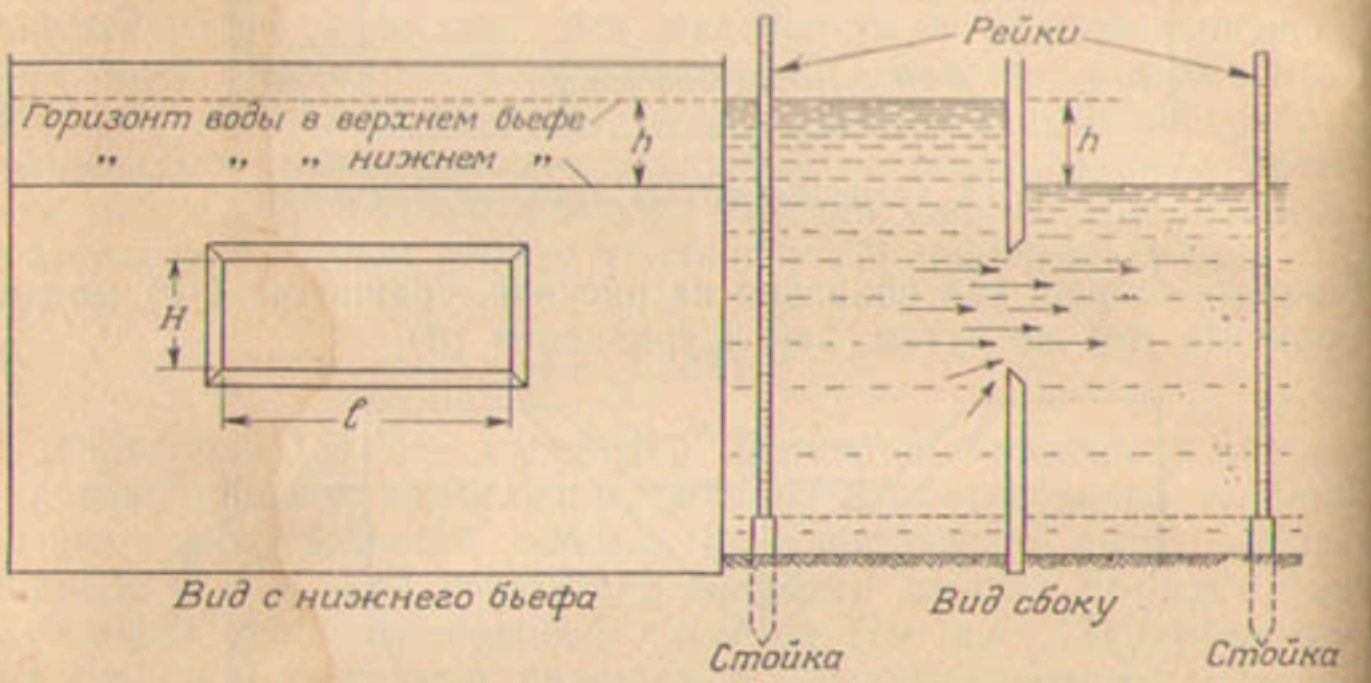


Рис. 16. Затопленное отверстие.

т. е. площадь 0,5 фут.^{2}; разность уровней была в 3 дюйма. Расход воды через такой водослив — 1,22 куб. фут/сек (0,0345 $м^3/сек$).

21. Типы водосливов. Водосливы, применяемые для измерения расходов оросительной воды, делятся на: 1) затопленные водосливы постоянных размеров; 2) затопленные водосливы с регулируемыми размерами отверстия; 3) водосливы горного типа в виде ящиков («miner's inch boxes»); 4) регулирующие щитовые затворы.

Затопленные водосливы с постоянными размерами отверстия применяются в тех случаях, когда имеющийся напор недостаточен для применения водосливов. Для достижения наилучших результатов отверстия водосливов делают прямоугольными с шириной в 2—6 раз большей, чем высота. Такие водосливы в большинстве случаев устанавливают в достаточно широких

каналах, обеспечивая полное или почти полное сжатие при коэффициенте около 0,61. Для случаев неполного сжатия нет достаточных данных о величине коэффициента. Условиями применения затопленных водосливов являются: гладкая лицевая поверхность стенки (в которой сделан вырез), гладкие острые края, точность размеров отверстия, наличие приборов для точного измерения напора.

Существует несколько типов регулируемых затопленных водосливов. Некоторые из них подобны водосливам с постоянными размерами отверстия; площадь отверстия регулируется только по высоте в соответствии с изменением расхода в широких пределах, без чрезмерной потери напора. Наиболее употребительным типом устройства затопленного водослива является комбинация из головного щитового затвора и измерительного прибора. Такие устройства делаются обычно из дерева. Конструктивно они состоят из одного-двух скользящих в пазах (перемещаемых вертикально) щитов, которые могут быть установлены в любом нужном положении. Затопленные отверстия, образуемые щитами, не являются точными измерительными устройствами и постепенно заменяются устройствами более совершенных типов.

Достижением последних лет можно считать регулирующие щиты для измерения воды, выпускаемые под маркой «Калько митер Гейтс». С этими устройствами разных размеров были проведены опыты, в результате которых построены кривые и составлены таблицы, по которым определяется расход в кубических футах в секунду через водосливы разных размеров по водосливной шкале. Напор определяется здесь как разность бьефов воды в подводящем канале и в отводном. Градуированию подвергается отдельно каждое устройство Калько и при продаже снабжается графиком и таблицей расходов.

Было сконструировано много остроумных водосливов горного типа в виде ящиков; в конструкцию большинства их входит перегородка с регулируемым отверстием и некоторые вспомогательные устройства для регулирования напора. Точность измерения любым из таких устройств зависит прежде всего от: 1) отношения величины напора к высоте отверстия; 2) точности регулирования напора и поддержания его определенной величины; 3) скорости течения воды вблизи отверстия; 4) точности определения площади отверстия; 5) условий, влияющих на сжатие струи; 6) обеспеченности от подтопления.

Для точного измерения расхода воды с помощью отверстия со свободным током высота водослива не должна превосходить высоту напора. Труднее всего регулировать напор. Средствами регулирования обычно служат или регулирующий щит, или сливной порог, расположенный на требуемой высоте, допускающей перелив излишка воды. В целях большей точности в конструкциях

некоторых водосливных ящиков использованы оба эти принципа. При полном сжатии скорость у отверстий обычно ничтожна.

22. Свойства водосливов и отверстий. Важно отметить то обстоятельство, что изменение напора H влияет на расход Q через различные водосливы и отверстия. Например, когда поток

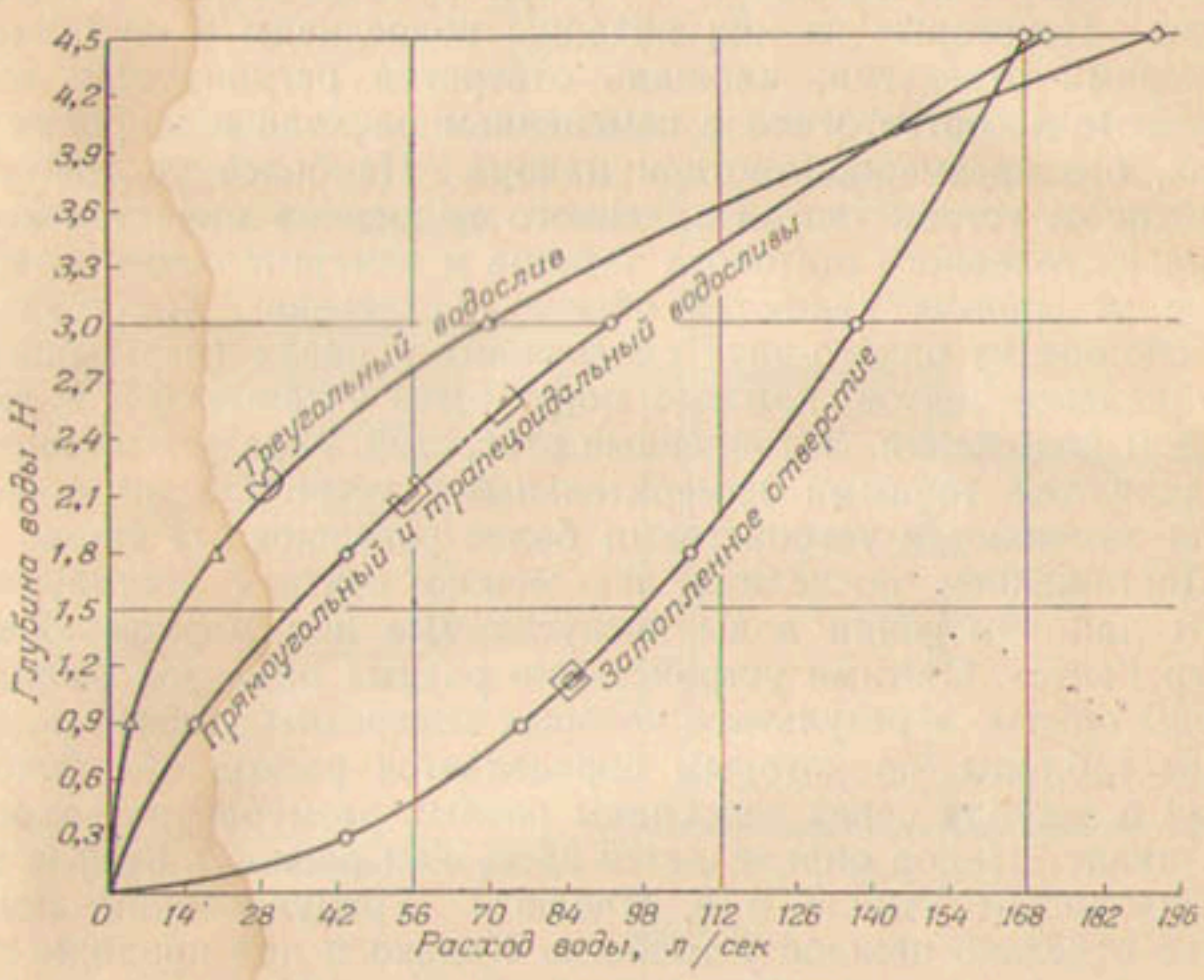


Рис. 17. Кривые, показывающие зависимость расхода воды (в *л/сек*) от глубины воды над порогом водослива (в *дм*) для 1-футового прямоугольного водослива с боковым сжатием, для 1-футового трапецоидального водослива, для водослива с треугольным вырезом (угол 90°) и для затопленного отверстия с площадью сечения 0,09 $м^2$.

через прямоугольный водослив увеличивается настолько, что напор H возрастает вдвое, то площадь поперечного сечения A удваивается, а расход увеличивается в 2,8 раза. При увеличении напора H в два раза в случае трапецоидального водослива площадь поперечного сечения возрастает немного больше, чем в два раза, вследствие чего пропорционально увеличивается и расход. При удвоении H в случае треугольного водослива площадь A увеличивается в четыре раза, а расход возрастает приблизительно в 5,66 раза. Когда удваивается напор H, заставляющий воду течь через затопленное отверстие, а площадь не ме-

няется, расход Q увеличивается только в 1,4 раза по сравнению с первоначальным расходом. Можно легко сделать и другие сравнения, подобные вышеприведенным, для любого изменения напора, учитывая, что расход Q изменяется в степени $^3/_2$ напора H при прямоугольных и трапецоидальных водосливах, приблизительно в степени $^5/_2$ в случае треугольных водосливов и соответственно в степени $^1/_2$ напора h при затопленных отверстиях. Изменение расхода водослива в зависимости от изменения напора H имеет большое значение для практики орошения. Это обстоятельство должно быть ясно понято лицами, ведающими распределением оросительной воды.

На рис. 17 приведены кривые, показывающие влияние напора водослива на его расход. Вышеприведенные зависимости могут быть подтверждены рассмотрением этих кривых.

23. Достоинства и недостатки водосливов. Достоинствами водосливов, как средств учета воды, являются: 1) точность; 2) простота конструкции и легкость изготовления; 3) незасоряемость водорослями и плавающими предметами; 4) длительность службы.

Недостатки водосливов: 1) необходимость значительного понижения уровня воды или потери напора, что делает непрактичным применение водосливов в местностях с ровной поверхностью; 2) накопление гравия, песка и ила над водосливом, что мешает точности измерения.

Главным достоинством затопленных отверстий является относительно небольшая потеря напора, что делает их пригодными для применения в каналах и канавах с очень малым уклоном, т. е. там, где трудно получить достаточное падение, позволяющее пользоваться водосливами. Кроме того, отверстия обладают и большинством достоинств, указанных и для водосливов.

Одними из наиболее важных недостатков водосливов являются: 1) накопление плавающего мусора и 2) накопление песка и ила выше отверстия, что нарушает точность измерений.

24. Водосливной ящик и успокоительный бассейн. Для возможности пользоваться любым из водосливов, описанных выше, канал должен иметь перед водосливом бо́льшую глубину и ширину, чем на некотором расстоянии выше водослива. Это необходимо для снижения скорости течения перед водосливом (обычная здесь скорость 0,15 *м/сек*). Переход от нормального сечения канала к увеличенному должен быть плавным. Необходимо противодействовать возникновению поперечных течений непосредственно выше водослива, что может быть достигнуто устройством успокоительных колодцев поперек канала.

за исключением условий, относящихся только к боковому сжатию. В ящике водослива должны быть отверстия — отдушины непосредственно под порогом для обеспечения проникновения воздуха под струи падающей воды.

Полезны нижеприведенные правила установки водосливов и пользования ими:

1. Водослив должен устанавливаться у нижнего конца длинного (успокоительного) бассейна достаточной ширины и глубины, обеспечивающего равномерность и плавность потока при приближении к водосливу со скоростью не более 0,15 *м/сек*, что, по существу, соответствует воде в состоянии покоя.

2. Средняя линия (продольная ось) ящика водослива должна быть параллельна направлению течения.

3. Плоскость водослива должна быть перпендикулярна к направлению течения, без наклона по течению или против него.

4. Порог водослива должен быть горизонтален, вследствие чего глубина слоя воды, текущей над ним, будет одинакова во всех точках. Верхний край порога должен быть острым настолько, чтобы струи протекающей воды соприкасались с ним только по острому ребру (по линии).

5. Высота порога водослива над дном канала должна быть приблизительно в три раза большей, чем напор над порогом. Боковые стороны бьефа должны находиться от боковых граней водослива на расстоянии, не меньшем двойной величины напора.

6. Водомерная рейка или измерительная шкала водослива может быть установлена на поверхности водослива, обращенной к верхней части потока, или рейку следует устанавливать на достаточном расстоянии от одной из сторон выреза водослива в таком месте, где вода относительно неподвижна (см. рис. 18), и рейка будет находиться вне кривизны изгибающихся струй потока, проходящего через водослив. Нулевое деление водосливной рейки или шкалы водослива должно находиться на одной высоте с порогом, что можно установить при помощи обыкновенного плотничьего ватерпаса и, если требуется, посредством более точного прибора.

7. Порог водослива должен быть расположен настолько высоко, чтобы вода могла падать свободно с порога, а под слоем воды, стекающей с порога, имелось бы пространство, заполненное воздухом. Если вода ниже водослива поднимается выше его порога, то свободное падение воды будет невозможно и водослив окажется, как говорят, затопленным. Измерения при помощи затопленного водослива возможны только путем введения в расчеты сложных поправок.

8. Для возможности точного измерения напор над водосливом по величине должен быть не более $^1/_3$ его ширины.

9. Напор над водосливом должен быть не менее 2 дюймов (5 *см*); при меньшей глубине трудно точно отсчитывать деления на шкале и получать результаты в узких пределах точности.

10. Во избежание размыва падающей водой канал ниже водослива должен быть защищен камнем или другими материалами.

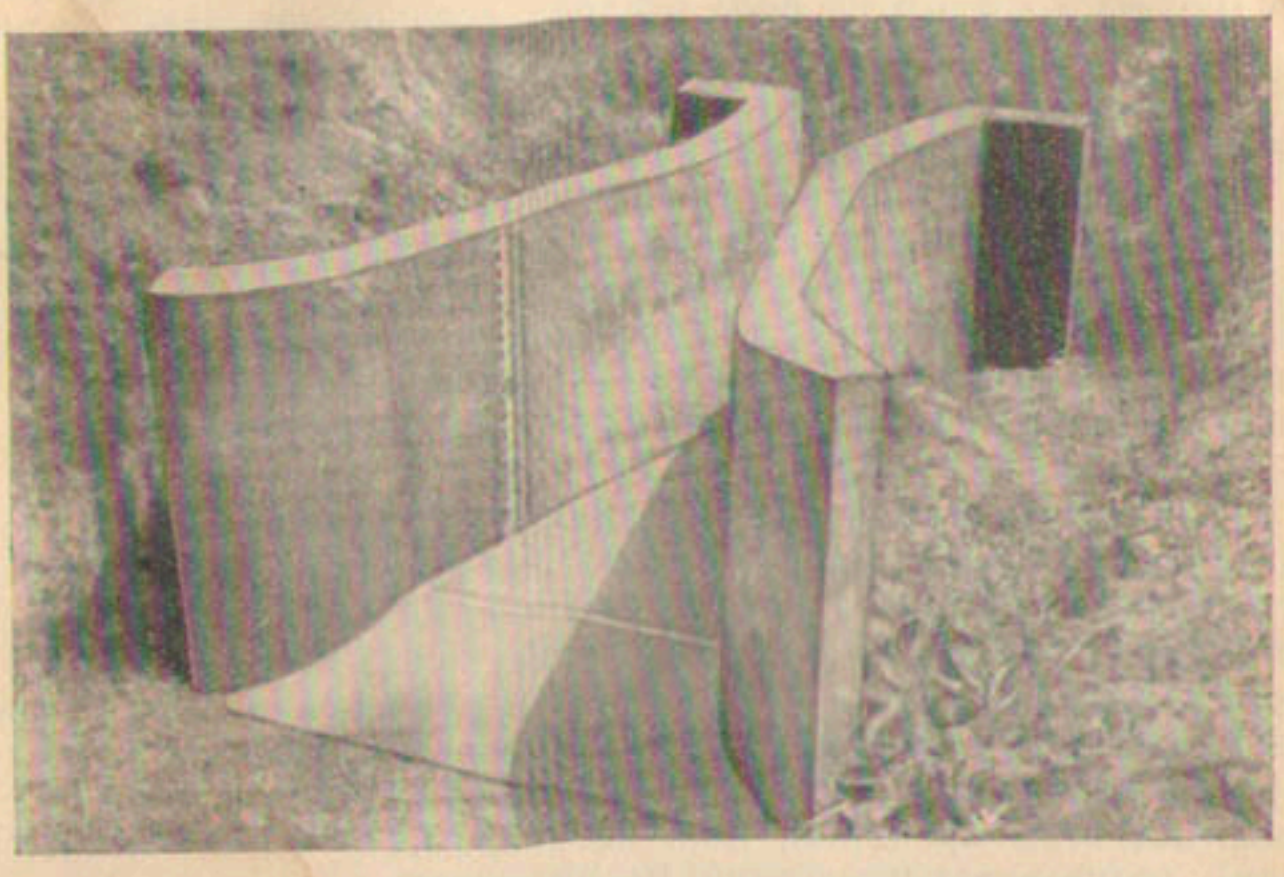
Существуют различные мнения среди авторитетных специалистов по орошению о точности разных формул, относящихся к водосливам, и о пригодности различных водомерных устройств. (Читателю, интересующемуся получением дополнительных сведений о водосливах и особенно о методах точного измерения воды, следует ознакомиться со специальной литературой.)

28. **Водомер Паршалла.** Паршалл сконструировал водомерный прибор, посредством которого расход определяется путем измерения потери напора, вызванной сжатием потока, протекающего через горловину или суженный канал со снижающимся дном у выходной части. Недостатки водосливов и затопленных отверстий в значительной степени устранены в конструкции водомера Паршалла. Ввиду того что напор H, на котором основано измерение этим прибором, мал, необходимо, в целях получения точных результатов измерений, проявить внимание при определении разности уровней воды в бьефах (рис. 20, 21, 22, 23).

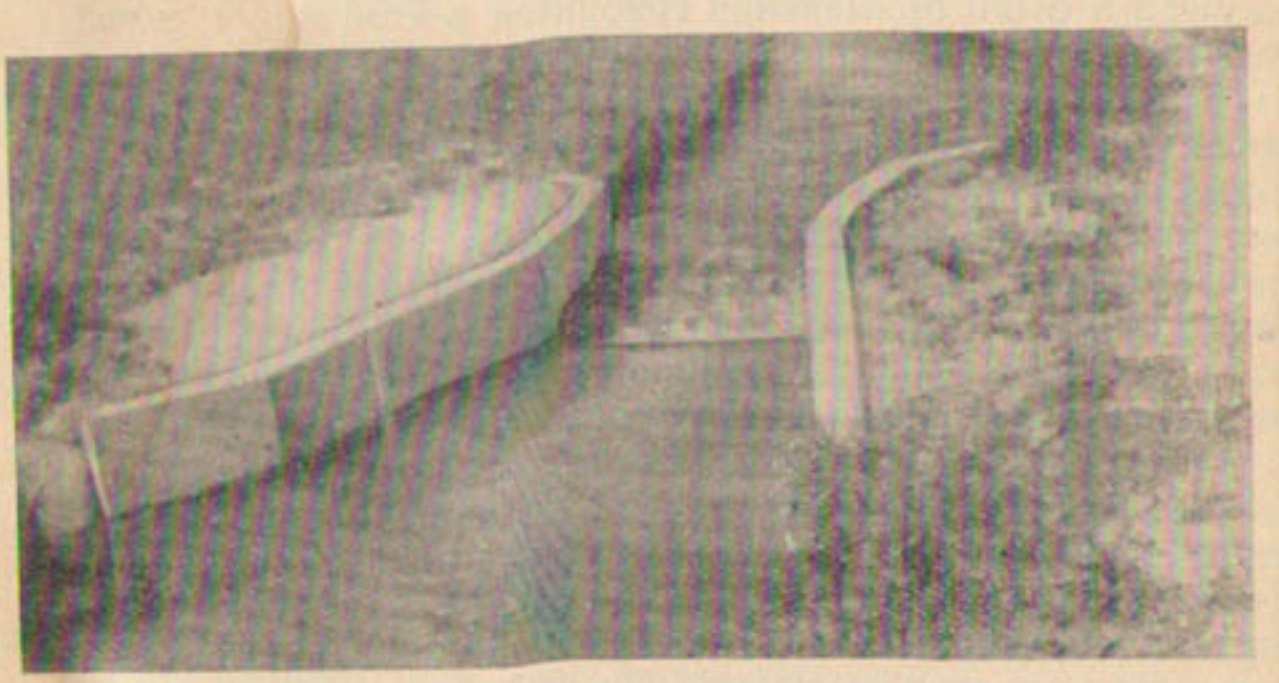
Описываемый водомер является результатом многолетнего тщательного исследования. Первоначально такой водомер стал известен под названием водомера Вентури, так как он был подобен водомерной трубке Вентури, служащей для измерения течения воды в трубках. О некоторых деталях конструкции такого водомера и о его применении говорится в этой книге, полные же сведения можно почерпнуть из других источников.

Точность водомера Паршалла находится в пределах, допустимых в практике орошения — обычно в пределах 5%. Водомеры с размерами от 7,5 *см* до 3,0 *м* ширины в сужении (в горловине) дают возможность измерять расходы от 1 *л/сек* до 5,6 $м^3/сек$. Устройства меньших размеров пригодны для измерения количеств воды, поступающей в фермерские хозяйства. Водомер Паршалла успешно работает при потере напора, меньшей, чем требуется в случае применения водосливов.

Ил не накопляется в тех местах рассматриваемого водомера, где он мог бы влиять на точность измерений, так как в таких местах скорость течения больше, чем в канале. Скорость течения вблизи водомера обычно не влияет или мало влияет на результаты измерения. При пользовании этим водомером можно применять самозаписывающие или регистрирующие приборы при необходимости получать данные о расходе воды в течение длительного времени, а также и измерительную рейку с делениями, выражающими расход в любых требуемых единицах.



Р и с. 20. Девятидюймовый водомер Паршалла с измерительной рейкой. Стальной лист толщиной 1″ у верхнего конца на пороге и у нижнего конца сооружения дает возможность точно установить дно на требуемом уровне.



Р и с. 21. Водомер Паршалла, построенный из бетона.

Пользоваться водомером Паршалла трудно, если канал имеет ответвления. В условиях свободного течения воды скорость выхода относительно велика, и поэтому канал ниже водомера должен быть защищен от размыва.

Успешное действие водомера Паршалла зависит главным образом от правильного выбора размеров и соответствующей

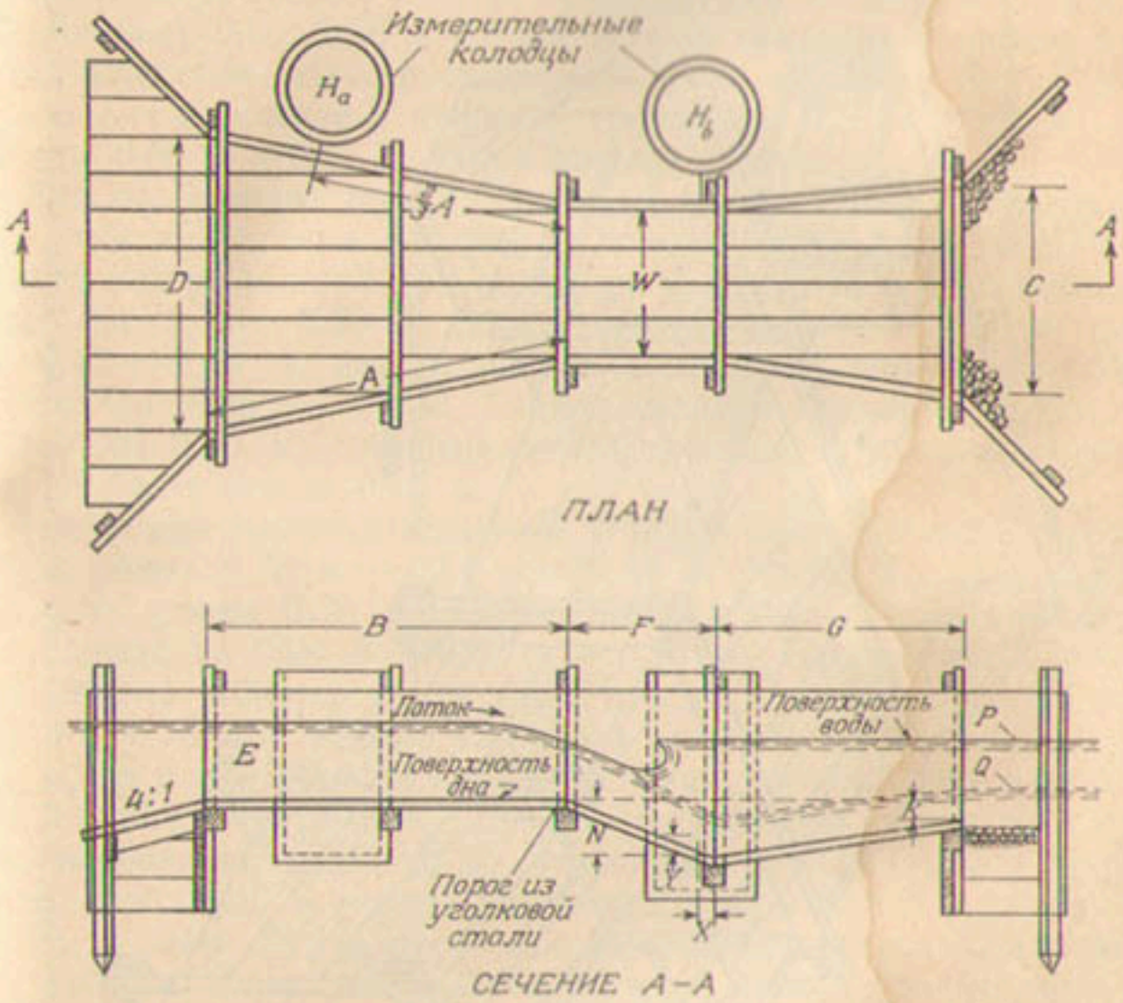


Рис. 22. План и продольный разрез водомера Паршалла. Размеры даны в табл. 3.

установки водомера. Необходимо учесть максимальный и минимальный расходы, подлежащие измерению, и определить максимально допустимый напор. Последний зависит от уклона канала и от запаса бровки его над нормальным уровнем воды в канале в том месте, где устанавливается водомер. Следует по возможности выбрать место, обеспечивающее постоянный свободный ток воды. В целях экономии средств следует предпочесть водомер с наименьшими размерами, удовлетворяющий существующим условиям.

Для примера допустим, что водомер должен быть установлен в канале с небольшим уклоном и что расход воды, который

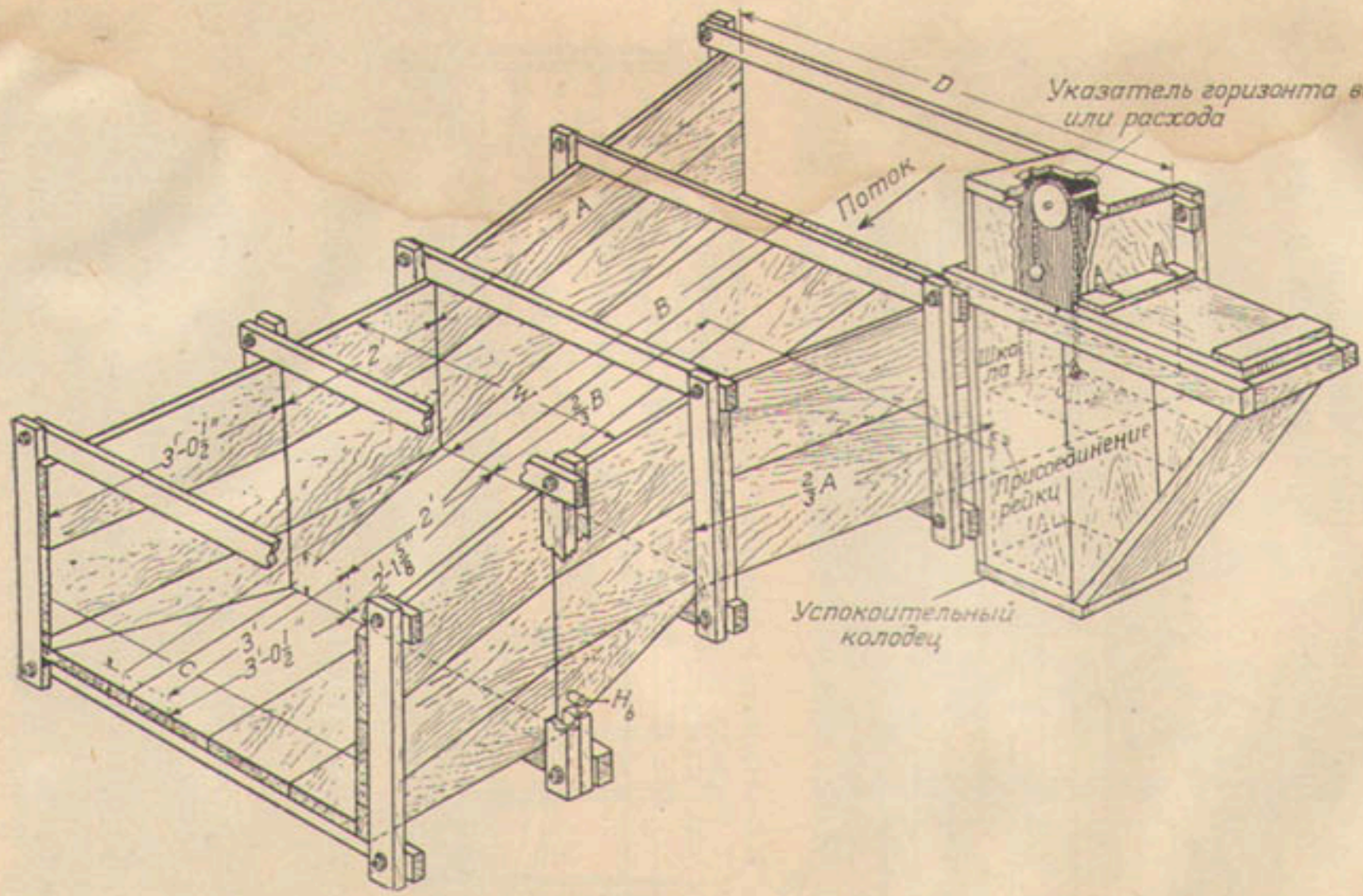


Рис. 23. Водомер Паршалла с успокоительным колодцем и указателем расхода.

необходимо определить, находится в пределах от 28 до 420 *л/сек*. Примем при наибольшем расходе потока глубину воды 0,75 *м*, а высоту от поверхности воды до бровки откосов — 15 *см*. Допустим также, что запас бровки откосов канала над горизонтом воды может быть несколько большим на некотором расстоянии от водомера выше по течению потока и что уровень воды можно безопасно поднять на 15 *см*. Поэтому наибольшая допустимая потеря напора равна 15 *см*. Водомерами с шириной сужения (горловины) 0,30; 0,60 и 0,90 *м* можно измерять расходы в широких пределах. При расходе 420 *л/сек* напор H будет равен 0,72 *м* для водомера с шириной горловины 0,30 *м*, 0,45 *м* — при ширине 0,60 *м* и 0,35 *м* — при ширине 0,90 *м*.

Для свободного тока затопленность не должна превосходить 60%, так что потеря напора не должна быть менее 40%. Требуемая потеря напора для водомера с шириной горловины 0,30 *м* будет $0{,}4 \cdot 0{,}72 = 0{,}29$ *м*; для водомера шириной 0,60 *м* потеря $0{,}4 \cdot 0{,}45 = 0{,}18$ *м*; для водомера с шириной горловины 0,90 *м* потеря $0{,}4 \cdot 0{,}35 = 0{,}14$ *м*. Таким образом, водомер с шириной горловины 0,90 *м* — минимального размера и максимум потери напора будет менее 0,15 *м*.

Требуемая глубина выше по течению при водомере шириной 0,90 *м* равна $0{,}75\ м + 0{,}14\ м = 0{,}89\ м$. Напор H_a при расходе 420 *л/сек* равен 0,35 *м*. Порог должен быть установлен выше дна канала на $0{,}90\ м - 0{,}35\ м = 0{,}55\ м$. Если принять 2-футовый (60-*см*) водомер, то глубина потока выше по течению будет $0{,}75\ м + 0{,}18\ м = 0{,}93\ м$. Так как в этом случае напор H_a равен 0,45 *м*, то порог должен находиться над дном канавы на высоте $0{,}93\ м - 0{,}45\ м = 0{,}48\ м$. Для возможности пользования 2-футовым водомером необходимо увеличить высоту откоса канала более, чем было принято, или допустить максимум затопления в 67%; в этом случае порог должен находиться на 0,45 *м* выше дна канала. Если имеющаяся потеря напора достаточна для того, чтобы допустить применение 1-футового водомера, то глубина потока выше по течению будет 1,05 *м*, а порог должен находиться над дном канавы на отметке: $1{,}05\ м - 0{,}72\ м = 0{,}33\ м$. Чем больше ширина горловины водомера, тем выше должен быть порог для обеспечения условия свободного течения воды при работе водомера.

Водомеры Паршалла можно строить из дерева, бетона или при малых их размерах из листового металла достаточной толщины. В табл. 3 и 4 приведены размеры водомеров с шириной горловины от 7,5 *см* до 3,0 *м*.

Для получения точности измерений такими водомерами должна быть соблюдена точность их размеров, особенно в суживающейся части и в горловине. Поверхность потока в суживающейся части выше по течению и особенно у порога должна быть

Таблица 3

Стандартные размеры водомеров Паршалла с шириной горловины от 7,5 до 23 *см*

Размеры в соответствии с рис. 22	Размеры (в *м*) для водомеров с шириной горловины *		
	7,5 *см*	15 *см*	23 *см*
A	0,47	0,62	0,87
2/3 *A*	0,31	0,41	0,60
B	0,46	0,61	0,86
2/3 *B*	0,30	0,40	0,57
C	0,18	0,39	0,38
D	0,26	0,39	0,57
E	0,38	0,45	0,61
F	0,15	0,30	0,30
G	0,30	0,61	0,45
K	0,03	0,08	0,08
N	0,06	0,12	0,12
X	0,03	0,05	0,05
Y	0,04	0,08	0,08

* Обозначения в соответствии с рис. 22.

Таблица 4

Стандартные размеры водомеров Паршалла с шириной горловины от 0,30 до 3,0 *м*

Ширина горловины, *м*	Размеры, *м* *					
	A	2/3 *A*	*B*	2/3 *B*	*C*	*D*
0,3	1,37	0,9	1,32	0,9	0,61	0,84
0,61	1,52	1,0	1,47	1,0	0,91	1,21
0,91	1,65	1,1	1,62	1,12	1,22	1,57
1,22	1,83	1,22	1,77	1,22	1,52	1,94
1,52	1,98	1,32	1,93	1,30	1,83	2,29
1,83	2,13	1,42	2,08	1,4	2,13	2,67
2,13	2,28	1,53	2,25	1,5	2,44	3,04
2,44	2,44	1,63	2,39	1,60	2,75	3,40
3,05	2,75	1,83	2,65	1,79	3,35	4,12

* Обозначения в соответствии с рис. 22.

горизонтальна. У обоих концов водомера должны быть боковые крылья, причем у входа в водомер их следует располагать под углом 45° к геометрической продольной оси водомера. При положении водомера на 30 *см* выше дна канала необходим короткий наклонный пол.

29. Прибор для измерения скорости течения (гидрометрическая вертушка). Для измерения скорости воды применяется прибор, показанный на рис. 24 *А*, *В*. На рис. 24, *В* этот прибор показан погруженным в воду в рабочем положении. Прибор

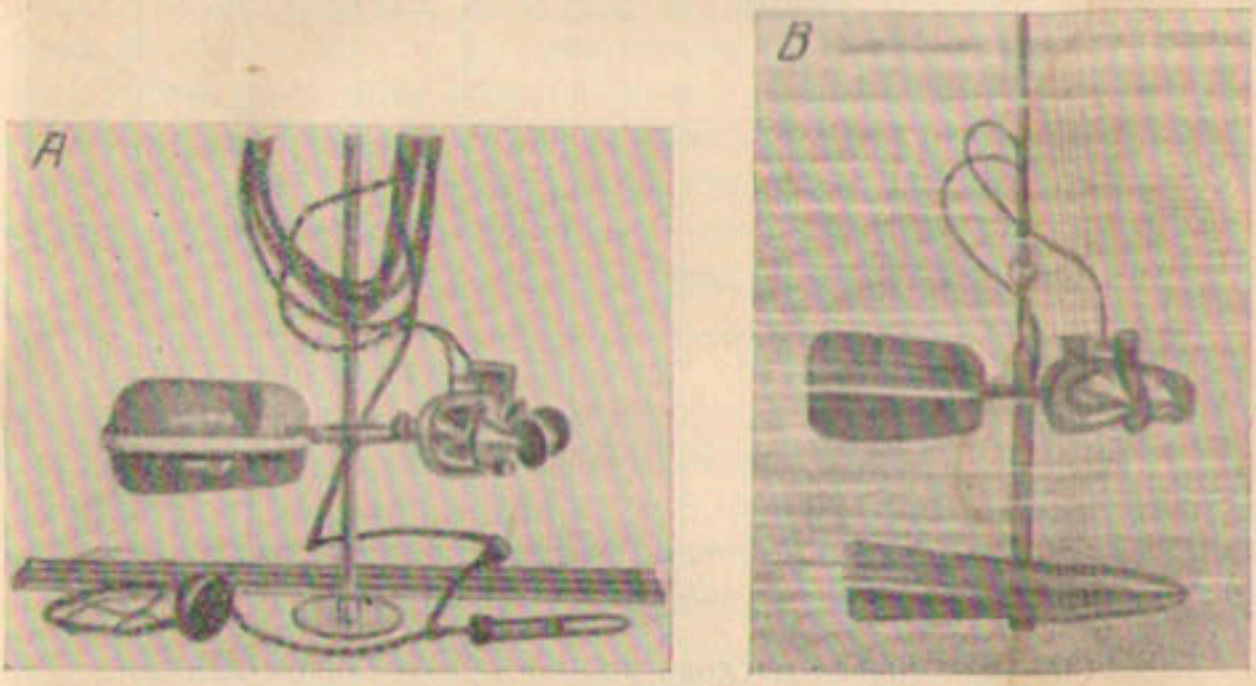


Рис. 24. *А* — гидрометрическая вертушка системы Лейц, подвешенная на стержне с круглым опорным диском; *В* — гидрометрическая вертушка системы Герли в работе.

тарируется продвижением его в спокойной воде с определенной скоростью, причем замечают число оборотов в секунду. Если протарированный прибор удерживать неподвижно в текущей воде на соответствующей глубине, то, пользуясь им, можно определять среднюю скорость течения воды по числу оборотов счетчика в секунду. Установлено, что в потоках глубиной не более 0,45 *м* средняя скорость наблюдается на глубине 0,6 потока *. В потоках глубиною более 0,45 *м* средней скоростью считается скорость, наблюдаемая между глубинами 0,2 и 0,8 глубины потока. Другим способом определения средней скорости потока является интегральный метод, заключающийся в том, что измерительный прибор медленно поднимают и опускают с соблюдением

* Некоторые авторитеты находят, что скорости, измеренные на глубине, равной 0,6 общей глубины мелких потоков, обычно на 4—6% выше истинных средних скоростей.

постоянной скорости его вертикального перемещения от дна до поверхности потока. Расходы воды почти во всех больших каналах и реках вычисляются по показаниям приборов, подобных описанным выше, путем определения скорости и измерения поперечного сечения потока.

Измеряя расходы в канале или реке на нескольких различных горизонтах или глубинах, получают данные, пользуясь которыми можно определить отношение между глубиной воды и ее

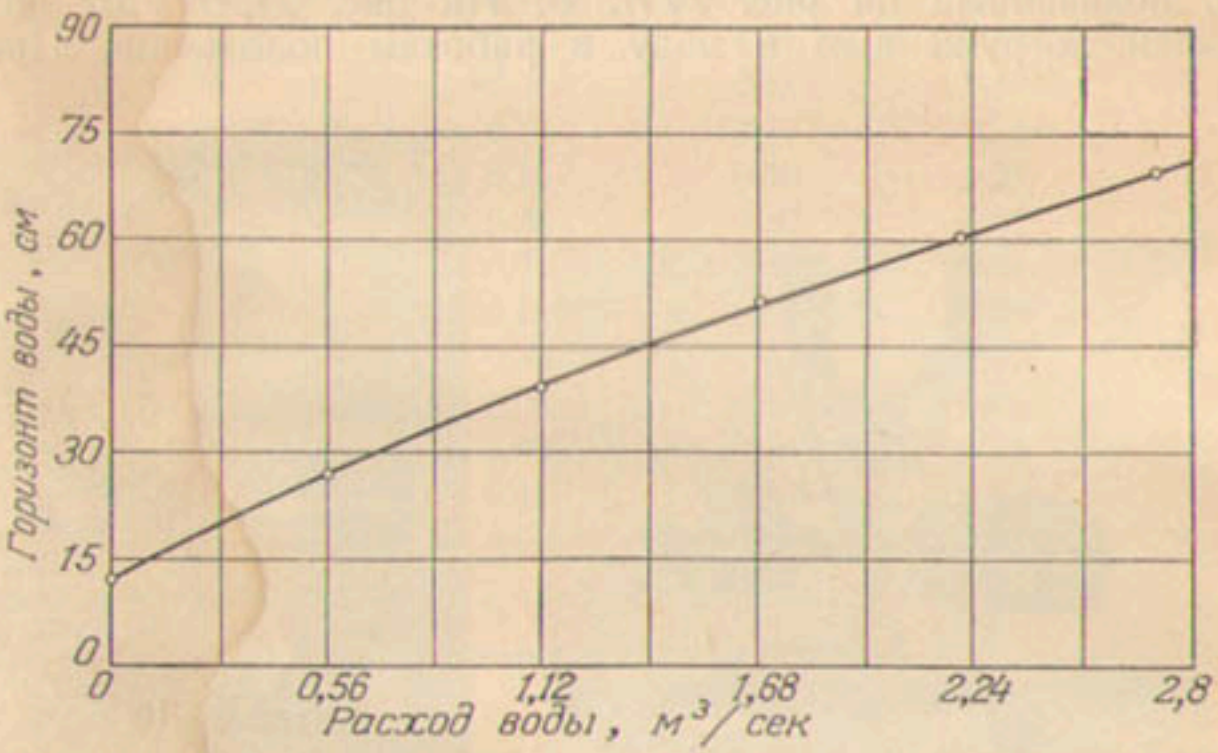


Рис. 25. Кривая расхода воды в оросительном канале.

расходом в реке. Глубину обычно измеряют относительно постоянной контрольной точки или нуля водомерного поста, и вертикальные расстояния над нулем принимают как отметки горизонта. По измеренным расходам при различных отметках горизонта строится кривая расходов. Такой типичной кривой является кривая на рис. 25. На ней показываются расходы, находящиеся в пределах от 0 при отметке 1,2 *м* до 2,83 *м*³/*сек* при отметке 0,72 *м*. Пользуясь кривой рис. 25, можно определить расход при любых отметках горизонта, находящихся в указанных пределах.

Главным преимуществом описываемых приборов для измерения скорости течения (гидрометрических вертушек) является то, что для пользования ими не требуется создавать какое-либо препятствие на пути текущей воды, а также и то, что приборы этого рода пригодны для работы на больших реках. Официальные лица, на ответственности которых лежит распределение оросительной воды между потребителями, пользуются для измерения воды, поступающей к потребителю, преимущественно графиками, подобными изображенному на рис. 25. Отметку

горизонта воды может прочесть и лицо без технического образования, но правильное пользование измерительным прибором (вертушкой), составление таблиц и построение кривых являются работой квалифицированного гидрографа или инженера.

30. Механические измерительные и регистрирующие приборы. Для измерения воды сконструировано значительное число механических приборов, при помощи большинства которых измеряется скорость течения, а также автоматически регистрируется общее количество воды, протекшей за данный период времени. Заслуживают внимания следующие приборы: счетчик Детриджа, счетчик Хилла, счетчик Вентури и счетчик Рилайанса. Представляется вероятным, что механические приборы с автоматической регистрацией расходов воды получат в дальнейшем более широкое распространение в связи с повышением стоимости воды и большее число коммерческих оросительных предприятий в силу необходимости будут основывать свои ставки за пользование водой на действительном количестве воды, поступающей в хозяйство.

Хотя при некоторых условиях применение измерительных приборов желательно, практическое пользование ими связано с некоторыми затруднениями. Поэтому, приобретая измерительный прибор, необходимо знать, чем ограничено пользование им. Наиболее применимые механические приборы, работающие за счет течения воды, могут быть классифицированы как объемные, скоростные и парциальные (by-pass).

Приборы объемного типа измеряют объемы воды. Вода, проходящая через прибор, смещает лопатки или диски, а последние заставляют работать регистрирующий механизм. Такие приборы обычно требуют большей потери напора, чем скоростные, и более дороги. Их применение для измерения оросительной воды ограничено установкой в трубопроводах, в которых вода находится под давлением, в местностях, где вода относительно дорога и при расходах не менее 375 *л/мин.*

Скоростные измерительные приборы работают под действием кинетической энергии потока. В их конструкцию обычно входит рабочее колесо с лопастями, вращаемое водой; действие их подобно действию гидрометрических вертушек. При больших скоростях течения рабочее колесо вращается со скоростью, почти прямо пропорциональной скорости течения воды; при малых скоростях течения рабочее колесо вращается более медленно, а при уменьшении скорости течения ниже некоторого предела его вращение прекращается. Скоростные измерительные приборы дешевле объемных, и ими можно пользоваться для измерения больших потоков, чем при пользовании измерителями объемного типа.

Действие измерительных парциальных приборов отличается от действия как скоростных, так и объемных приборов. Через регистрирующий аппарат протекает только небольшая часть потока, но прибор тарируется так, что регистрируется весь объем протекшей воды. Такими приборами пользуются в комбинации с некоторыми другими измерительными устройствами — водосливом, отверстием. Характер действия парциальных приборов до некоторой степени подобен действию скоростных в том отношении, что количество воды, протекающей через прибор, не постоянно, но обычно несколько меняется с изменением расхода потока.

Преимуществами механических измерений является отсутствие необходимости производить вычисления для определения объема протекающей воды. Этим удобством часто оправдывается стоимость таких приборов. На трубах, в которые вода поступает из открытых каналов, недопустима установка описанных измерительных приборов, так как они забиваются, если только вход в трубу не защищен от проникновения в нее разного пловучего мусора.

31. Водомеры Вентури и подобные им приборы. Измерительный прибор Вентури представляет собой трубу, расширяющуюся в виде конуса. Этот прибор нашел себе широкое применение при измерении расходов жидкости, текущей в трубопроводах диаметром от нескольких дюймов до нескольких футов; для измерения оросительной воды он мало применяется. Стандартные трубы Вентури считаются очень дорогими для целей орошения. Размеры труб Вентури делают неудобным пользование ими. Кроме того, их применение связано с чрезмерно большой потерей напора. Была разработана измененная конструкция труб Вентури, применяемых теперь преимущественно для измерения подачи воды из магистральных больших каналов в боковые или в каналы отдельных хозяйств. Каждая из таких модифицированных труб Вентури тарируется отдельно и снабжается таблицами и графиками расхода. Эти приборы применяются уже в течение нескольких лет, и их действие найдено удовлетворительным. Потеря напора при пользовании такими модифицированными трубами меньше, чем в случае применения многих других приборов. Они вполне пригодны для измерения расходов до 1,5 $м^3/сек$ как в открытых каналах, так и в трубопроводах. Ими можно пользоваться и при наличии ответвлений в комбинации с соответствующими устройствами, при небольших дополнительных затратах средств, и применять их вместе с приборами, регистрирующими скорость течения или общий объем протекшей воды. Главные недостатки модифицированных труб Вентури — отсутствие стандартных размеров и форм таких приборов и

также данных о необходимых коэффициентах. Стоимость водомера Вентури относительно высока, если только они не изготовляются большими партиями.

Насадки для измерения течения, отверстия в тонких пластинках в трубах и отверстия в тонких пластинках в конце трубы мало применялись для измерения оросительной воды. Такой аппаратурой пользуются в некоторой степени для испытания насосов и в лабораториях. Принципы, на которых основаны действия таких приборов, те же, что и для труб Вентури.

32. Водомер Коллинса. Водомером Коллинса пользуются при измерении тока воды в трубопроводах и особенно в трубопроводах, идущих от насосных станций. Прибор состоит из двух главных частей: трубки Пито специальной формы и воздушно-водяного манометра. Специальная трубка Пито представляет собой прямую латунную трубку малого диаметра, введенную в трубу. Трубка посередине разделена на две части, каждая из которых снабжена небольшим отверстием: одно — в верхней по течению части трубки, а другое — в нижней. Дифференциальный напор равен удвоенному скоростному напору. Концы трубки соединены с манометром гибкой трубкой; шкала манометра градуирована так, что отсчитываются непосредственно скорости в трубке в футах в секунду. Прибор снабжается графиком, служащим для перевода цифр шкалы в любые требуемые единицы для трубок различных диаметров.

Скорость течения в трубопроводах иногда определяется временем, требуемым для прохода вещества, окрашивающего воду, или соли через измеренную часть длины трубы.

33. Распределение оросительной воды. Для удовлетворительного распределения воды необходимо руководствоваться некоторыми правилами. Вода должна подходить к вододелителю параллельными струями, т. е. без водоворотов и без струй, отклоненных в сторону. Для обеспечения этого условия ящик вододелителя следует устанавливать у нижнего конца длинного лотка или прямого открытого канала. Дно канала непосредственно выше вододелителя должно быть горизонтально в поперечном сечении. Если вода не очень загрязнена илом, желательна малая скорость течения вблизи вододелителя. В потоках, несущих много ила и гравия, текущая вода не должна встречаться с препятствиями в виде, например, перемычек; скорость, с которой вода входит в вододелитель, должна быть постоянна на всем протяжении внутри него. Весьма важно, чтобы вода подводилась к вододелителю длинным, прямым каналом. Накопление в этом канале гравия и плювучего мусора вызывает завихрения и препятствует правильному распределению воды.

Поток, текущий через водослив, можно легко разделить, поместив ниже водослива перегородку-делитель с острым ребром, делящим поток, падающий с порога водослива. Верхнее ребро этой перегородки должно находиться на достаточном расстоянии

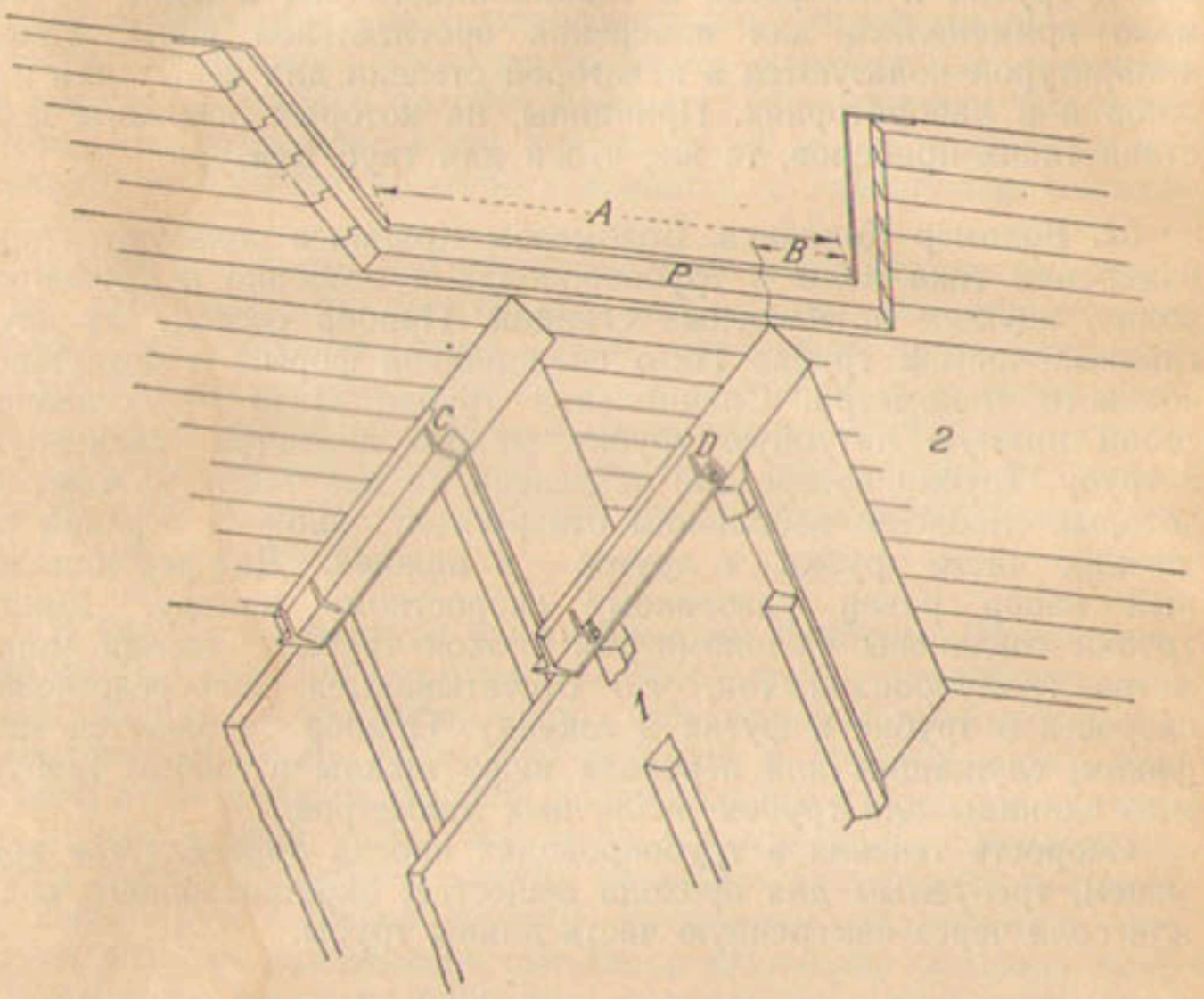


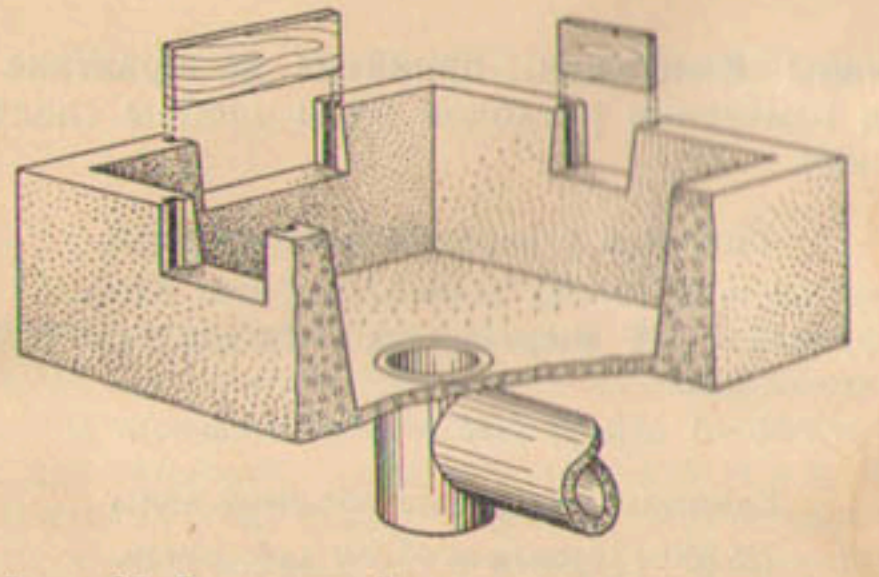
Рис. 26. Вододелитель.

1 — водослив Чиполетти с подвижными регулирующими делителями; *2* — пластинка из листовой стали; *C* и *D* — бруски из тавровой стали, покрытые с одного конца листовой сталью. Эти детали могут быть изготовлены также из дерева и покрыты у одного конца толстой жестью.

ниже порога водослива в целях обеспечения свободной циркуляции воздуха между делителем и струями, падающими с порога водослива.

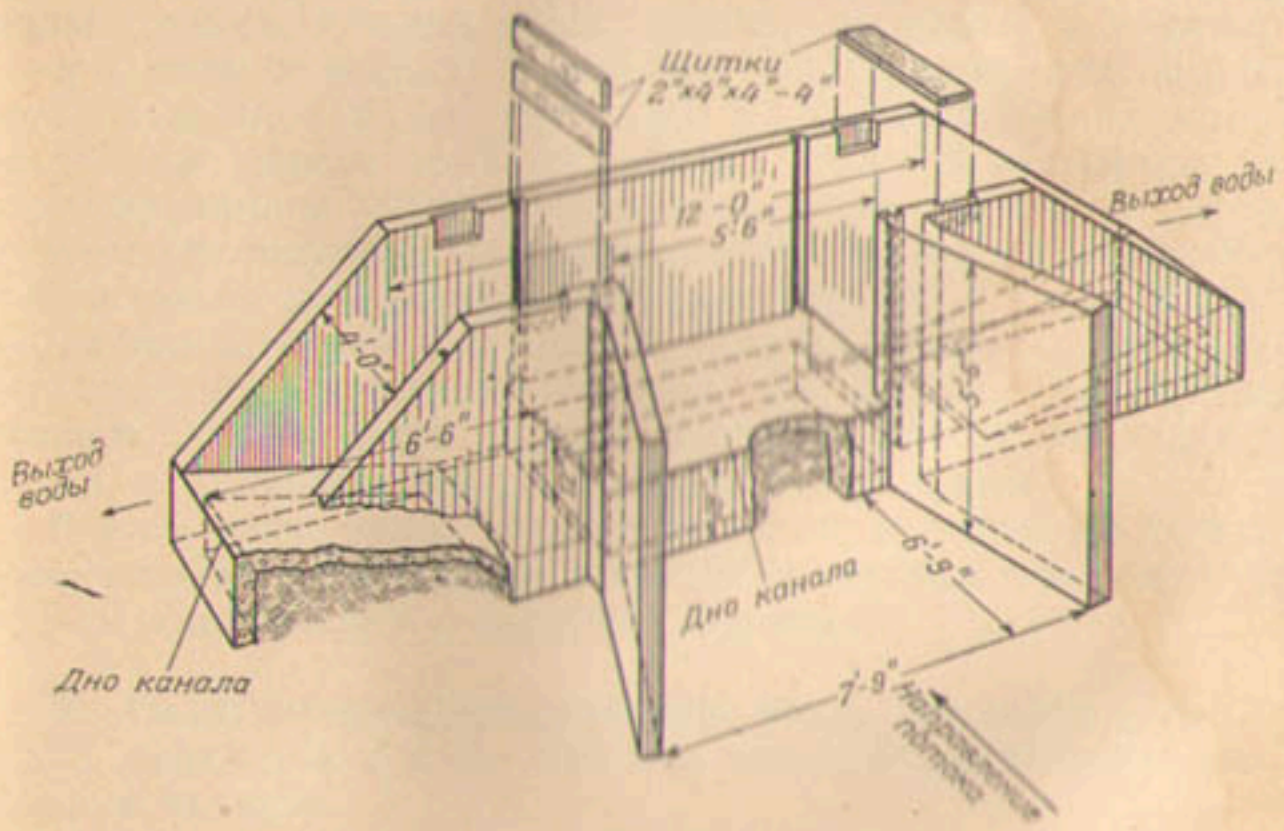
Расход воды, протекающей через водослив, не точно пропорционален длине его порога; при малых напорах отступление от пропорциональности можно считать ничтожным. Трапецоидальный водослив наиболее желателен для применения с целью водораспределения. Расход воды для таких водосливов почти пропорционален длине порога. Если, например, необходимо разделить поток на две части — одна с расходом $^5/_6$ общего расхода, а другая с расходом $^1/_6$, то делитель должен быть помещен на расстоянии $^1/_6$ от края водослива.

На рис. 26 показан трапецоидальный водослив с делителем, установленным так, что поток делится на три части.



Р и с. 27. Водосливной ящик для пропорционального деления воды.

Для деления потока на две равные части вполне удовлетворительные результаты можно получить, использовав прямоугольный водослив с боковым сжатием потока или без сжатия.



Р и с. 28. Бетонный ящик-вододелитель.

Там, где в фермерских хозяйствах вода делится на несколько потоков и поступает в трубы в земле, следует пользоваться специальными ящиками, посредством которых достигается пропорциональное деление воды.

На рис. 27 показан типичный бетонный ящик-вододелитель с присоединенной к нему трубой, а на рис. 28 — бетонный ящик-вододелитель со щитами.

34. Единицы измерения, принятые в практике орошения в США. Для измерения расходов воды удобны следующие единицы измерения.

Единицы измерения расхода воды

1. 1 куб. фут/сек = 50 горных дюймов/сек (штат Юта).
2. 1 куб. фут/сек = 7,48 американских галлонов/сек = 448,8 (приблизительно 450) галлонов/мин.
3. 1 куб. фут/сек = 1 акрофут/час (приблизительно).

Единицы измерения объемов воды

4. 1 акрофут = 325 850 галлонам = 43 560 куб. футам.
5. 1 куб. фут воды весит 62,5 фунта.
6. 1 галлон воды весит 8,36 фунта.
7. Объем одного галлона = 231 куб. дюйму.

Глава 4

ПОДАЧА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Орошаемые земли обычно удалены на большие расстояния от естественных источников снабжения водой (рек, ручьев, водоемов, находящихся на поверхности). Вода, получаемая из таких источников, как правило, отводится на расстояния, большие, чем вода из подземных бассейнов. Главные магистральные каналы американских оросительных систем имеют длину от нескольких миль до 100 миль и более. В некоторых случаях вода подается на несколько сотен миль из водохранилищ в горах, причем накопленная вода смешивается с водой рек и затем поступает в системы больших каналов на равнинных местностях. Для некоторых оросительных систем требуется много часов, а иногда и дней, чтобы подать воду от мест ее хранения к местам ее потребления. Законы течения воды, задачи, связанные с подачей ее, потери воды в каналах вследствие фильтрации, способы облицовки каналов, уход за ними — все это является темами, которым посвящены многие тома технических книг. В настоящей главе рассматриваются силы, обусловливающие движение воды, а также сопротивление, задерживающие ее течение. Рассматривается только равномерное движение воды, т. е. такое, когда через любые поперечные сечения канала в единицу времени проходят одинаковые количества воды. За малыми исключениями принято, что скорость течения в разных местах канала не меняется, т. е. движение воды в канале равномерное.

В этой главе также рассматривается определение потерь от просачивания воды в почву, способы облицовки каналов, их очистки и поддержания в должном порядке.

35. Силы, вызывающие движение воды. Движение воды в реках, в каналах и в почве является результатом действия сил, из которых главные:

1) притяжение земли или сила тяжести;

2) действие давлений различной интенсивности (напор); эти силы слагаются с другими силами.

36. Сила тяжести и движение воды в каналах. В каналах с одинаковой площадью сечения на всем протяжении и с одинаковой

глубиной скорость движения воды постоянна. Каждая весовая единица воды в канале притягивается к центру земли силой, непрерывно влекущей частицы воды вертикально вниз. Силой, заставляющей воду течь, является составляющая силы тяжести, параллельная поверхности воды. На рис. 29 эта сила изображена

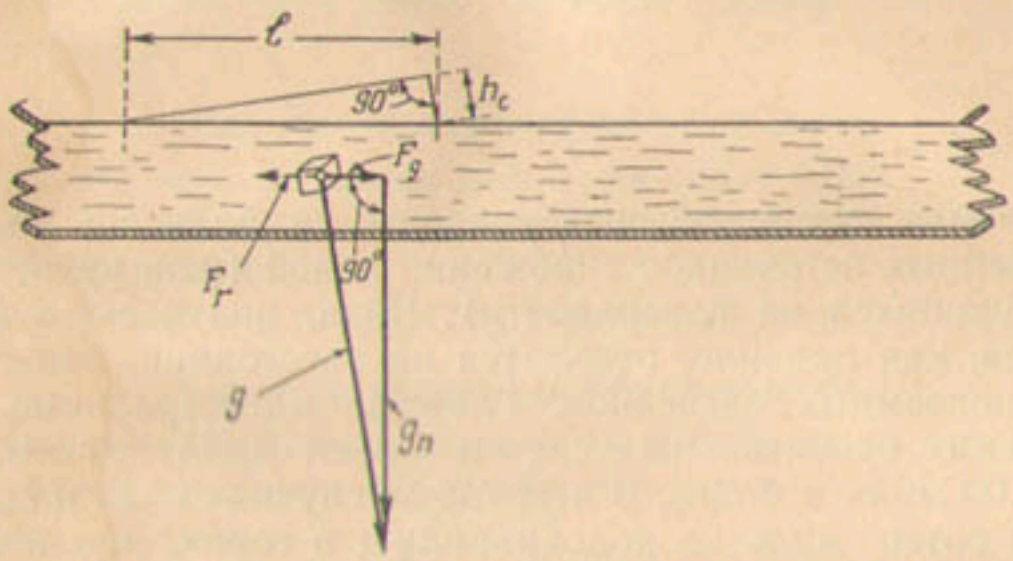


Рис. 29. Схема действия силы тяжести на единицу массы. Составляющая этой силы, параллельная поверхности воды, является движущей силой, заставляющей воду течь в канале.

F_r — сила трения; g — сила тяжести, действующая на единицу массы; F_g — составляющая силы тяжести, действующая на единицу массы параллельно поверхности воды; g_n — составляющая силы тяжести, нормальная к g или к поверхности воды в канале.

вектором F_g. Уклон определяется как величина падения поверхности воды на данной длине канала, например 1 фут на 1000 футов. Исходя из рис. 29, уклон представляется отношением $\frac{h_c}{l}$ (меньший треугольник). Два прямоугольных треугольника подобны. Поэтому

$$\frac{F_g}{h} = \frac{1}{l}, \quad \text{а отсюда} \quad F_g = \frac{h_c}{l}. \tag{13}$$

Уравнение (13) и рис. 29 показывают, что сила, заставляющая каждую частицу воды двигаться в направлении течения, увеличивается с увеличением уклона поверхности воды. При уклоне, равном нулю, $h_c = 0$ и $F_g = 0$; в этом случае движение воды отсутствует.

37. Разность давлений (потеря напора) и движение воды в горизонтальной трубе. Давление воды в любой точке массы воды, находящейся в состоянии покоя, пропорционально глубине, на которой находится точка под поверхностью воды. Эта взаимо-

связь, широко использованная практически, выражается математически в виде

$$p = wH, \tag{14}$$

где p — величина давления ($кг/см^2$);
w — вес единицы объема воды;
H — глубина погружения точки под водой.

Разность давлений в двух точках (пьезометры *1* и *2* на рис. 30) может быть получена так:

$$p_2 = wH_2. \tag{а}$$

$$p_1 = wH_1. \tag{б}$$

Вычитая уравнение (б) из уравнения (а), имеем

$$p_2 - p_1 = w(H_2 - H_1). \tag{в}$$

Для удобства разность давлений в любых двух точках выражена p', а разность глубин $(H_2 - H_1)$ — через h_0. Отсюда следует

$$p' = wh_0 \quad \text{и} \quad h_0 = \frac{p'}{w}. \tag{15}$$

Сила, заставляющая каждую единицу веса воды двигаться в горизонтальной трубе, пропорциональна разности давлений (напоров) h_0 или $\frac{p'}{w}$ на единице длины трубы.

Измерение разности давлений (высот напора) показано на рис. 30, где изображена горизонтальная труба AB, присоединенная к резервуару R, в который поступает вода. Приток воды настолько велик, что уровень в резервуаре остается постоянным с высотой H' над центром сечения отводящей трубы. Шесть небольших вертикальных трубок, называемых пьезометрическими (на рисунке они обозначены цифрами *1, 2, 3* и т. д.), присоединены к большой трубе с целью измерения высоты напора в разных местах горизонтальной трубы. При закрытой задвижке у выходного конца большой трубы высота E' воды в трубке *6* — та же, что и в резервуаре, а также и в каждой из других пьезометрических трубок. При закрытой задвижке в конце трубы общее давление на единицу площади в большой трубе в точке B равно атмосферному давлению на единицу площади плюс давление воды, равное весу столба воды высотой H'. По открытии задвижки вода начинает вытекать вследствие того, что общее давление внутри трубы становится выше атмосферного давления снаружи ее. При установившемся движении воды в трубе высоты воды в каждой пьезометрической трубке будут такие, как показано пунктирной линией EB, если пренебречь потерей давления при входе в трубу.

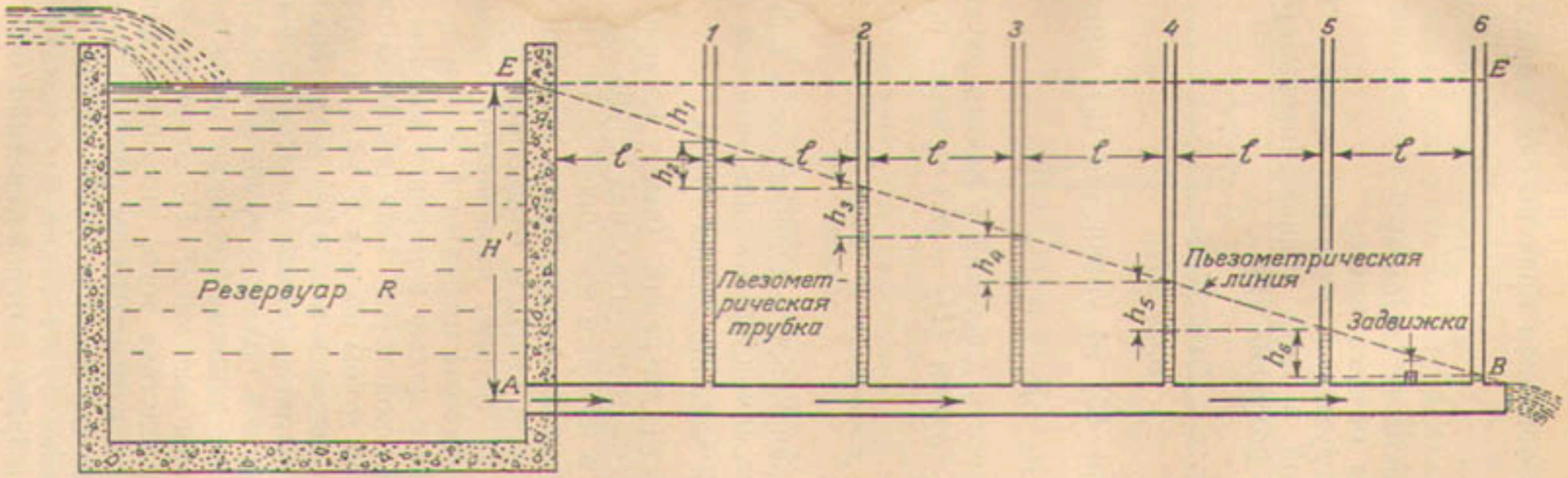


Рис. 30. Положение пьезометрической линии при истечении воды по горизонтальной трубе из резервуара, в котором поддерживается постоянная глубина воды.

Разность давлений (напор), измеренная пьезометрическими трубками *1* и *2*, выражается равенством

$$h_2 = \frac{p_1 - p_2}{w}. \qquad (г)$$

Исходя из того, что h_0 выражает разность давлений (напор) на данной длине l трубы, можно видеть, что результирующая сила F_p, приводящая в движение каждую единицу массы воды, вызвана разностью высот (напором) и выражается равенством

$$F_p = \frac{h_0}{l}. \qquad (16)$$

38. Движение воды в наклонной трубе. Допуская, что скорость течения в наклонной трубе постоянна, можно найти, что движущая сила F, вызванная весом воды, равна сумме сил $F_g + F_p$ [уравнения (13) и (16)], т. е.

$$F = \frac{h_e + h_0}{l}. \qquad (17)$$

Этот закон иллюстрируется рис. 31. Общая величина энергии напора в точке *1* на единицу массы воды выражается суммой высот энергии положения точки *1* относительно плоскости и энергии давления. Возникает результирующая сила, которая выражается уравнением

$$F = [(h'_e + h'_p) - (h''_e + h''_p)] = \frac{h_f}{l}, \qquad (18)$$

где h_f — разность пьезометрических напоров на расстоянии l, как показано на рис. 31.

Сравнение уравнений (13) и (18) показывает, что уклон линии, проходящей через вершины столбиков воды, поднявшейся в пьезометрических трубках под действием давления внутри трубы, до известной степени аналогичен уклону поверхности воды в открытых каналах. Из предыдущего рассмотрения следует, что силой, движущей единицу массы воды, является составляющая силы тяжести [уравнение (13)], градиент напора (гидравлический градиент) или движение может являться результатом совместного действия обеих сил [уравнение (18)].

39. Силы сопротивления движению воды. Движение любого вещества, включая воду, замедляется сопротивлением, возникающим при движении одного тела по другому. Примером может служить поезд, движение которого замедляется вследствие соприкосновения колес с рельсами. Силы этого рода, препятствующие движению, называются силами трения. Для движения воды в канале с постоянной скоростью необходимо условие, чтобы сила

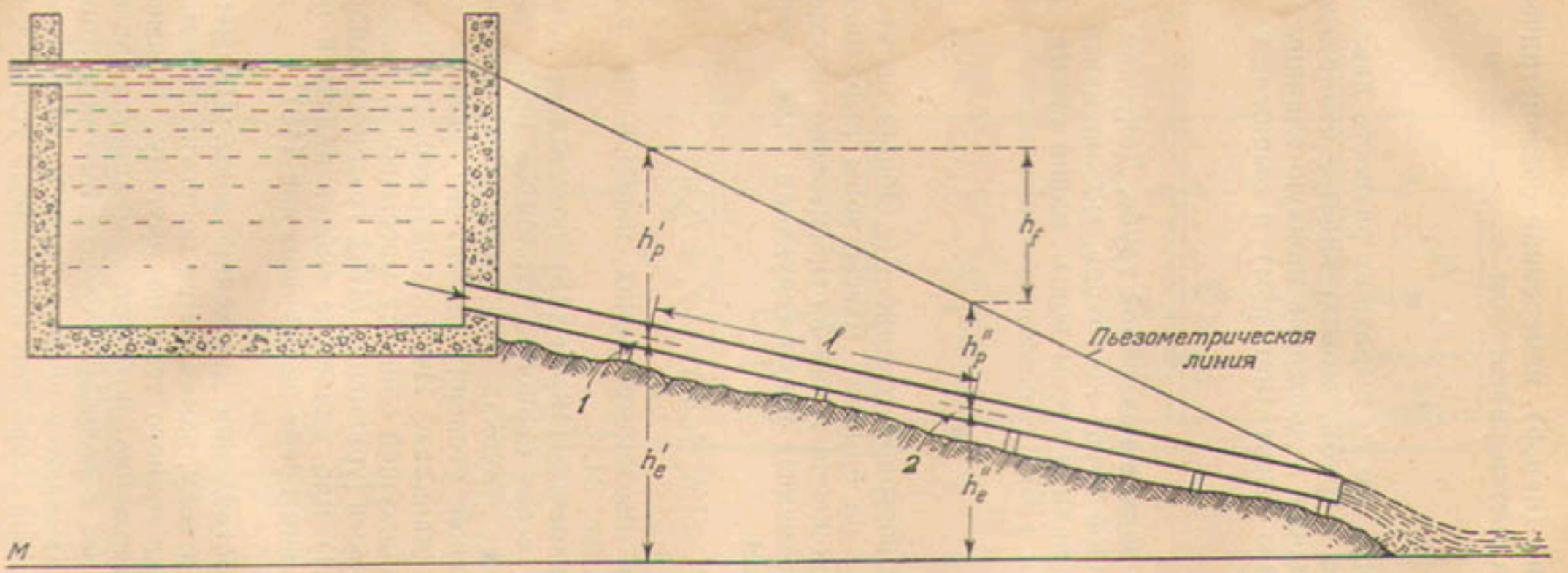


Рис. 31. Течение воды по наклонной трубе.

трения F_r (рис. 29), приходящаяся на единицу массы воды, была по величине равна движущей силе F_g. При увеличении уклона на некоторой длине канала увеличивается и сила F_g, воде сообщается ускорение, и скорость ее течения возрастает. Увеличение скорости течения способствует увеличению сопротивления от силы трения до тех пор, пока сила F_r вновь не станет равной по величине силе F_g *. В результате опытов, имевших целью установить зависимость между трением и скоростью течения воды в каналах и трубах, пришли к выводу, что при переходе за некоторую критическую скорость и при турбулентном движении воды сопротивление от трения изменяется приблизительно пропорционально квадрату скорости.

Помня, что $\frac{h_c}{l}$ выражает уклон поверхности воды в канале и что $\frac{h_f}{l}$ — пьезометрический градиент (рис. 31), можно сделать вывод, что при движении воды в канале или трубе скорость ее равна некоторой постоянной, помноженной на квадратный корень из величины уклона, т. е.

$$V = C \cdot \sqrt{\text{уклон}}. \qquad (19)$$

На силы трения, уменьшающие скорость течения воды в канале, влияют площадь соприкосновения воды с дном и откосами канала, отнесенная к единице длины, а также степень шероховатости материала, служащего облицовкой канала. Отношение между поперечным живым сечением канала и его смачиваемым периметром называется гидравлическим радиусом; обозначается он буквой r. Например, площадь поперечного сечения канала в форме прямоугольника, с шириной по дну 1,5 *м* и глубиной 0,6 *м* равна 0,9 $м^2$; смачиваемый периметр равен $1{,}5 + 2 \cdot 0{,}6 = 2{,}7$ *м*, а гидравлический радиус $r = 0{,}33$ *м*. Гидравлический радиус трубы круглого сечения, заполненной текущей водой, равен одной четверти диаметра.

40. Энергия и пьезометрические линии. Для приведения воды в движение необходимо затратить энергию. Механическая работа определяется как произведение силы на путь, а механическая энергия есть способность производить работу. Каждая единица массы текущей воды обладает тремя видами энергии: энергией

---

* При движении воды в каналах и трубах наблюдаются завихрения и поперечные течения. Частицы воды движутся не прямолинейно, а по зигзагообразным путям. Такой характер движения воды называется турбулентным в противоположность движению воды параллельными струями, что характерно для медленного течения воды по песчаному ложу или в трубах весьма малого диаметра. При течении параллельными струями отсутствуют завихрения и поперечные струи.

положения, энергией давления и энергией скорости (кинетической энергией). Потеря суммарной энергии единицей массы воды при продвижении на единицу длины канала показана на рис. 32 и 33 линиями градиента энергии. Потеря энергии единицей массы

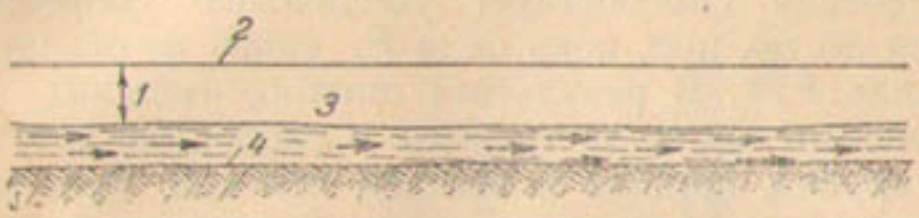


Рис. 32. Открытый канал с водой.

1 — скоростной напор; *2* — линия градиента энергии; *3* — поверхность воды с гидравлическим уклоном; *4* — дно канала.

воды при продвижении на один фут в канале одинакового поперечного сечения на всем протяжении и одинаковой глубины постоянна, как это показано линией градиента энергии на рис. 32. При движении воды в трубах уклон линии градиента энергии изменяется при изменении диаметра трубы. Однако во всех случаях линия градиента энергии падает, как это видно на рис. 33, где она поднимается в тех местах, где скоростной напор внезапно уменьшается, а высота давления увеличивается.

В общем сила, сообщающая движение единице массы воды, пропорциональна некоторой функции уклона линии градиента

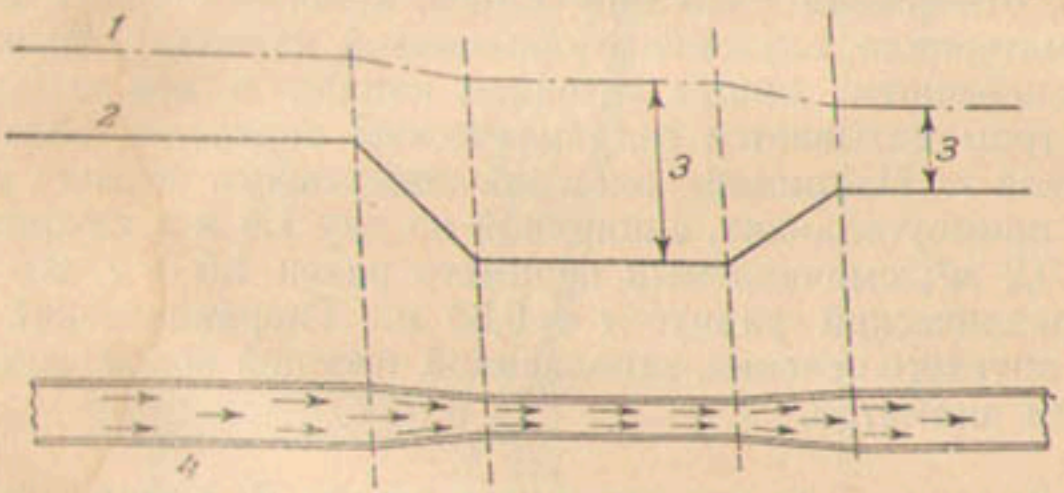


Рис. 33. Уклон линии градиента энергии, всегда направленный в сторону течения воды.

1 — линия градиента энергии; *2* — гидравлический уклон; *3* — скоростной напор; *4* — трубопровод с тремя размерами диаметра и двумя переходными частями.

энергии, т. е. потере энергии на единице длины трубы или канала. В любом трубопроводе с постоянным по всей длине сечением вода течет с одинаковой скоростью, которая пропорциональна квадратному корню из величины гидравлического уклона, как это выражено уравнением (19).

Важно отметить, что, определяя гидравлический уклон или энергетический градиент, длину l измеряют по каналу или по

трубе, а не по линиям градиентов. Длина по каналу или по трубе одинакова с длиной линии градиента между двумя точками только в случае постоянного режима равномерного течения в трубе или в канале, когда линия гидравлического уклона или линия градиента энергии параллельна трубопроводу (см. рис. 29—33).

Линии градиентов — гидравлического и энергии — рассматриваются ниже, в гл. 10 в связи с рассмотрением движения воды в почвогрунтах.

41. Уравнения скорости движения воды. Чтобы вывести уравнение, определяющее в общей форме скорость движения воды, был проведен ряд опытов с целью установления зависимости между скоростью течения воды, степенью шероховатости поверхности каналов и труб, гидравлическим радиусом и уклоном канала.

В результате этих опытов было получено несколько взаимосвязанных уравнений. Из этих уравнений широко применяется уравнение, предложенное Шези, применявшим для вычисления коэффициента C формулу Куттера, уравнение Маннинга и уравнение Скоби.

Ниже приведено уравнение Маннинга *:

$$v = \frac{1{,}486 r^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}}{n}, \qquad (20)$$

где v — средняя скорость в футах в секунду;
n — коэффициент шероховатости, использованный также и в формуле Куттера;
r — гидравлический радиус в футах;
s — уклон поверхности воды в канале, или гидравлический уклон.

Если известны гидравлический радиус r и уклон поверхности воды s, то, выбрав значение n — коэффициент шероховатости (для этого есть справочные таблицы), определяют значение скорости v. Пользуясь уравнением (3) $q = av$, можно затем определить расход воды в канале.

42. Земляные каналы. Наиболее распространенным типом канала для подведения воды к месту ее использования является канал, вырытый в грунте по трассе намеченного пути воды. Такой канал называют земляным каналом, если отсутствует искус-

---

* Уравнение Маннинга приведено здесь ввиду его простоты независимо от того, что при проектировании оросительных систем широко пользуются и другими уравнениями.

ственная облицовка его дна и стенок. Чрезмерные скорости течения воды в земляных каналах вызывают эрозию (размыв).

Очень немногие грунты способны сопротивляться течению со скоростью более 1,5 *м/сек*. Главное преимущество каналов в грунте — их малая стоимость. Недостатки таких каналов сводятся к следующему: а) чрезмерная потеря воды вследствие просачивания ее в грунт (фильтрация), б) допускаемые малые скорости течения и поэтому относительно большие площади поперечных

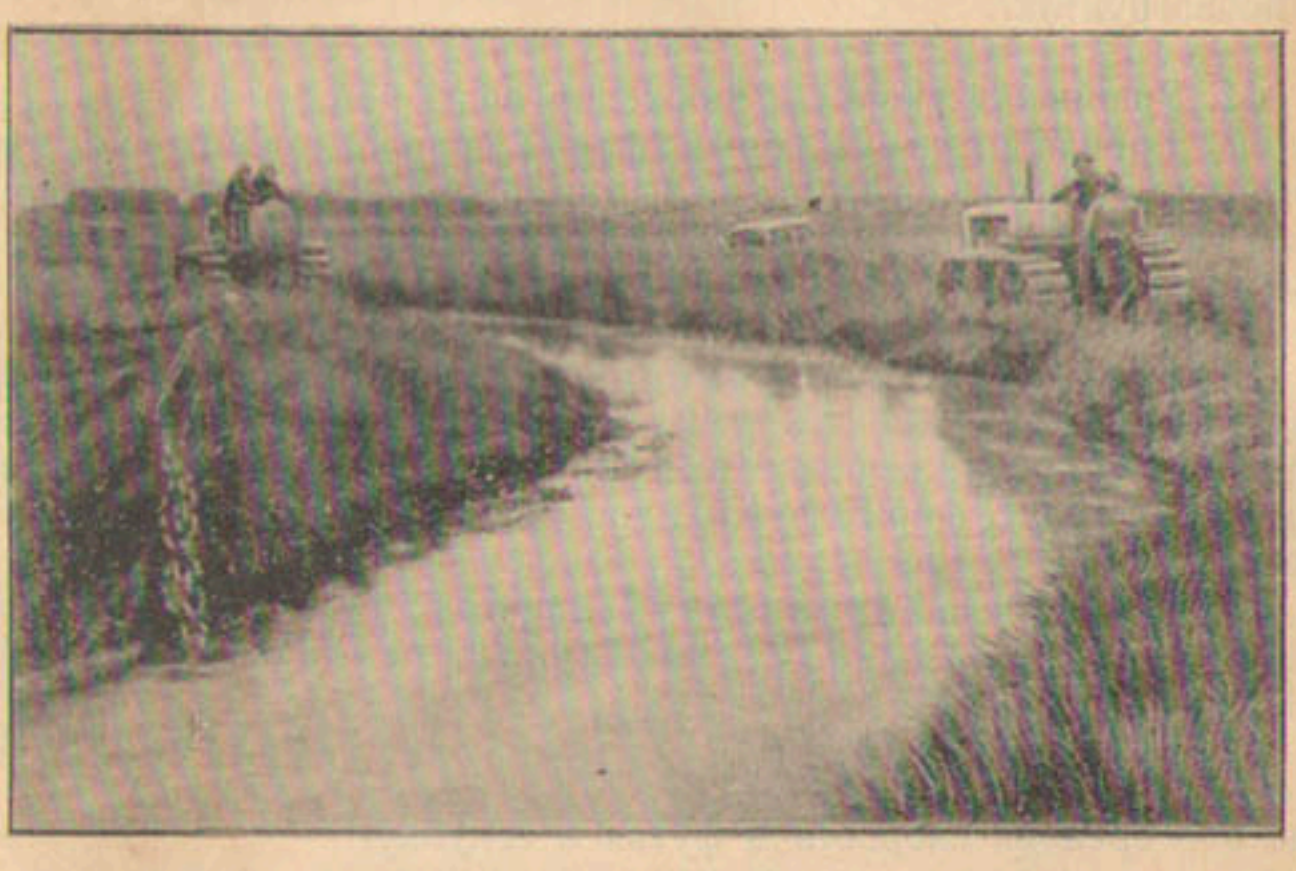


Рис. 34. Дизельные тракторы тянут большую цепь весом 1040 *кг*, при помощи которой дно канала очищается от мха и сорной растительности.

сечений, в) опасность повреждения в результате размыва, а также землероями; г) благоприятные условия для зарастания дна и откосов сорняками и мхом, вследствие чего уменьшается скорость течения и требуются большие издержки на поддержание каналов в порядке (рис. 34). Откосы каналов в земляном русле обычно делают настолько крутыми, насколько это допускает увлажненный грунт. Величина откосов принимается обычно от 1 : 3 (высота к заложению) до 1 : 1 при очень устойчивом грунте. Отношение ширины дна b к глубине канала d зависит от топографических условий. Ширина дна канала может быть меньше его глубины, но она может и превышать глубину в 10 раз и более. Наиболее экономически приемлемое поперечное сечение канала определяется (при устойчивом грунте) уравнением

$$b = 2dtg\frac{\theta}{2}, \qquad (21)$$

где θ — угол, образуемый откосами канала с горизонтом. Это уравнение пригодно для расчета и в случае облицованных каналов. Для каналов прямоугольного сечения $\frac{\theta}{2} = 1$, откуда следует, что ширина канала равна двойной высоте.

43. Подача воды из оросительной системы к месту потребления и ее к. п. д. При подведении воды от источника (реки) к орошаемым хозяйствам, как правило, неизбежны некоторые потери при проходе воды через неисправные щиты, водосливы, водостоки, потери от испарения и просачивания.

Пусть

E_c — доля воды, подведенной к местам ее потребления, по отношению к водозабору из источника в процентах;

W_r — количество воды, отведенной из реки или водоема в оросительный канал (водозабор);

W_f — количество воды, поданной из канала в хозяйства. Тогда

$$E_c = \frac{100 W_f}{W_r}. \qquad (22)$$

Процент E_c воды, поданной оросительной системой в хозяйства, определяется, таким образом, как отношение объема воды, поступившей во все хозяйства, к объему воды, взятому из реки или другого водоисточника.

Семнадцать западных штатов США обладали в 1940 г. сетью главных и распределительных оросительных каналов с общей протяженностью в 200 тыс. *км*. Установлено, что из 111 млрд. $м^3$ воды, отведенной из источников в 1939 г., 38% этого объема было потеряно между пунктами отвода воды из источника и местами ее потребления. Коэффициент полезного действия E_c, таким образом, равен 62%.

Малый средний процент подачи воды в хозяйства объясняется главным образом большими потерями, вызываемыми фильтрацией воды в необлицованных каналах в грунтах с большой водопроницаемостью. Из общей протяженности каналов, построенных в 1939 г., только 8 тыс. *км* каналов были облицованы, что составляет всего 4% общей протяженности оросительных каналов.

Вода, теряемая при транспортировке и подаче ее к местам потребления по системе каналов, поступает в некоторых равнинных местностях обратно в реки и затем вновь забирается другой системой каналов, расположенной ниже по течению реки. Таким образом, малые значения коэффициента полезного действия E_c в действительности менее серьезны, чем они иногда кажутся. Несмотря на такую возможность использования теряемой воды,

важно, как общее правило, доведение потерь до возможного минимума, в результате чего увеличивается коэффициент полезного действия E_c.

На фильтрацию воды из каналов в грунты влияют многие переменные факторы, и потому точное измерение указанных потерь затруднительно. В больших магистральных каналах потери воды по длине выбранных достаточно больших участков каналов с немногими отводными каналами или совсем без них определяются вычетом расхода в нижнем конце данного участка из расхода в его голове. Для измерения расхода воды в каналах применяются обычно гидрометрические вертушки, но можно пользоваться водосливами и водомерными лотками. Потери от просачивания в грунт (фильтрации) могут быть значительны и серьезны и на коротких участках каналов, но эти потери слишком малы для измерения их вышеописанным методом.

Фильтрационные потери на отдельных участках канала можно измерять только приблизительно, путем измерения водопроницаемости материала дна и откосов канала, величины смачиваемой площади и гидравлических уклонов — факторов, вызывающих просачивание и утечку воды в грунт. В гл. 10 детально сообщается о способах измерения проницаемости почв. Наилучшим методом получения надежных результатов измерений является сооружение водоема на выбранном длинном участке канала, что дает возможность определить величину просачивания (фильтрации) через относительно большие площади дна канала и его откосов.

Важным является не только измерение фильтрационных потерь воды в канале, но и ясное представление о размерах этих потерь. В хозяйствах, обслуживаемых многими старыми магистральными и распределительными каналами, фермеры настолько привыкли к потерям воды, что даже не представляют себе размеров и серьезности этих потерь. Иногда вредные последствия сильной фильтрации воды в грунт обнаруживаются в результате случайного ознакомления с состоянием канала в его нижней части и с состоянием прилегающих к каналу участков земли.

44. Одежда каналов. Поверхность некоторых каналов облицовывается. Это делается с целью: 1) уменьшения потерь воды, 2) предохранения канала от повреждений, 3) создания препятствия зарастанию сорной растительностью, 4) задержания развития водорослей, 5) уменьшения размыва при больших скоростях течения, 6) снижения расходов по поддержанию канала в порядке, 7) увеличения пропускной способности канала. Некоторые каналы облицовывают дешевыми способами: глиной (рис. 35) и слоем асфальта. Детальное ознакомление со стоимостью облицовки каналов важно в отношении определения экономической

целесообразности таких работ. При проектировании системы каналов наиболее важным фактором, определяющим целесообразность облицовки, является стоимость воды, сбереженной в результате уменьшения ее потерь на фильтрацию. В местностях с очень ограниченными ресурсами воды облицовка каналов представляет выгоды в смысле более экономичного использования запасов воды.

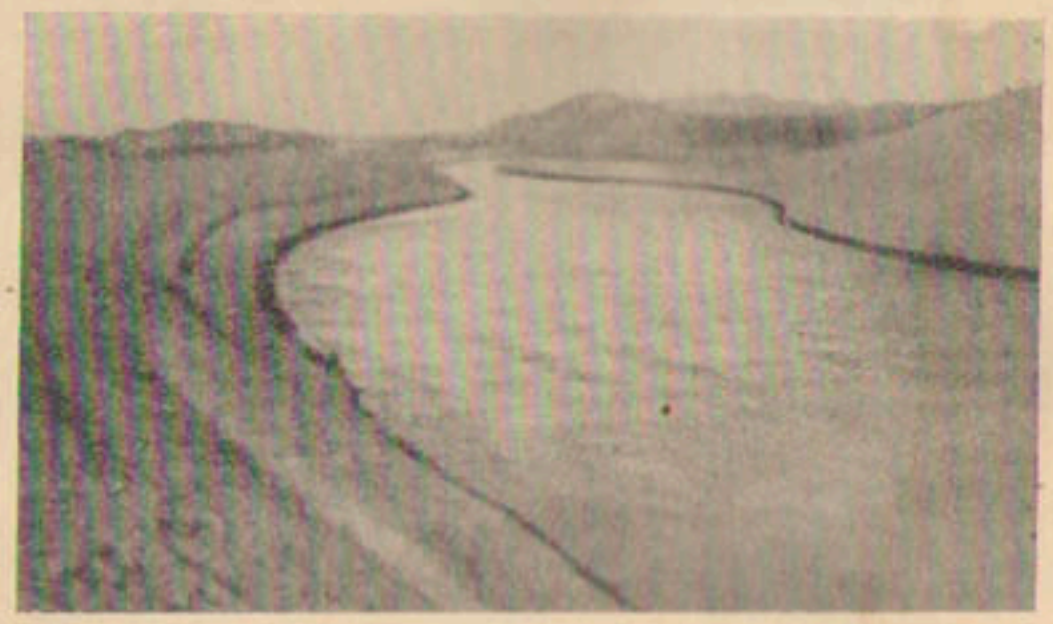


Рис. 35. Поверхность канала облицована глиной. Белый песок, в котором проложен канал, обладает водопроницаемостью, в 1800 раз большей, чем глина, использованная для облицовки.

Следствием чрезмерной фильтрации воды из каналов является заболачивание прилегающих участков, образование солонцов, повышение расходов по поддержанию в порядке дорог и расходов по дренированию участков, просачивание воды в подвальные помещения домов и создание других неудобств для населения. Поэтому уменьшение фильтрации из каналов отвечает интересам населения.

45. Материалы для облицовки каналов. Для облицовки наиболее применимыми материалами являются бетон, камень, кирпич, смеси бетонита и земли, глин с малой водопроницаемостью и различные составы с содержанием резины. Для главного канала оросительной системы Якима в штате Вашингтон использован бетон (рис. 36), предохраняющий канал от размыва и предотвращающий фильтрацию.

Для облицовки оросительных каналов пользуются бетонными плитами, изготовленными на бетонных заводах из обычной смеси. Эти плиты доставляются к месту постройки канала и укладываются по его дну и откосам, как показано на рис. 37. Однако

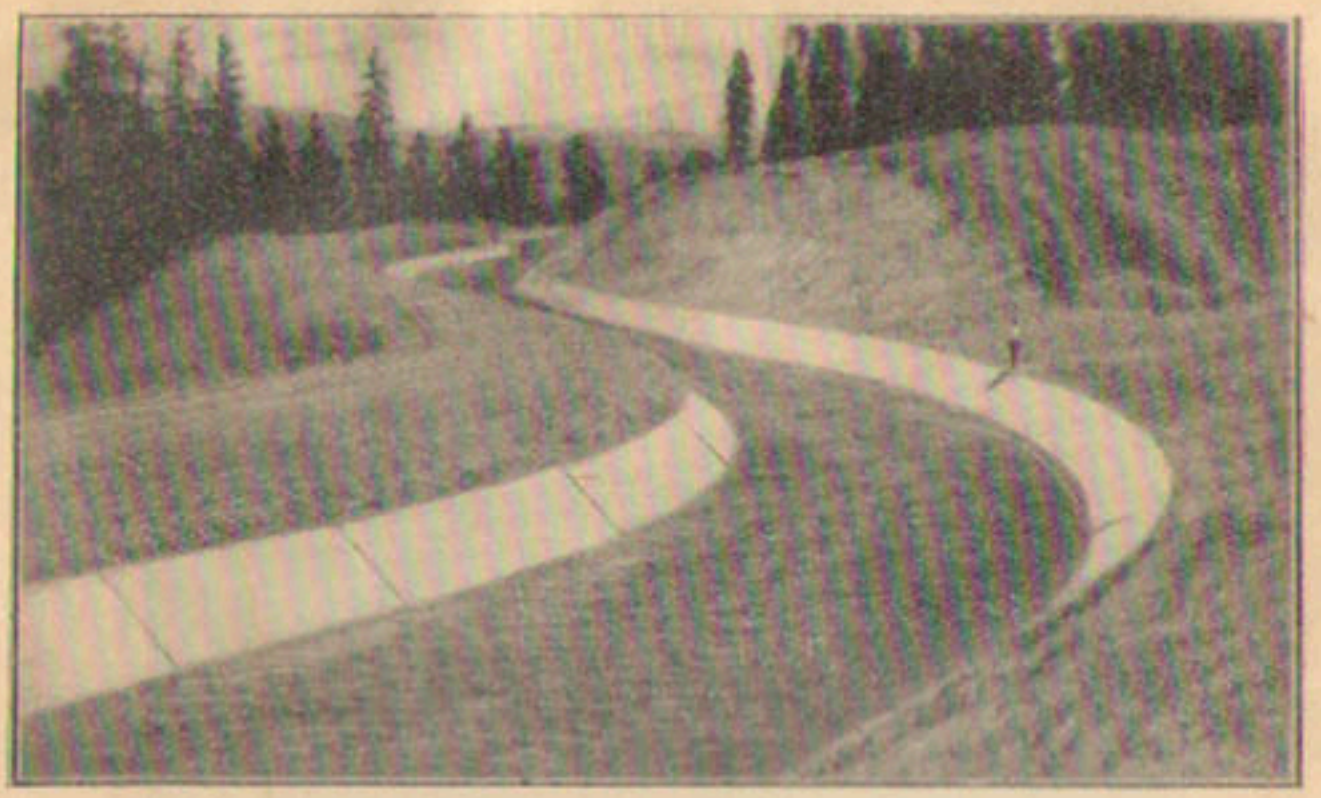


Рис. 36. Канал, облицованный бетоном. Пропускная способность канала 17 *м*³/*сек*.

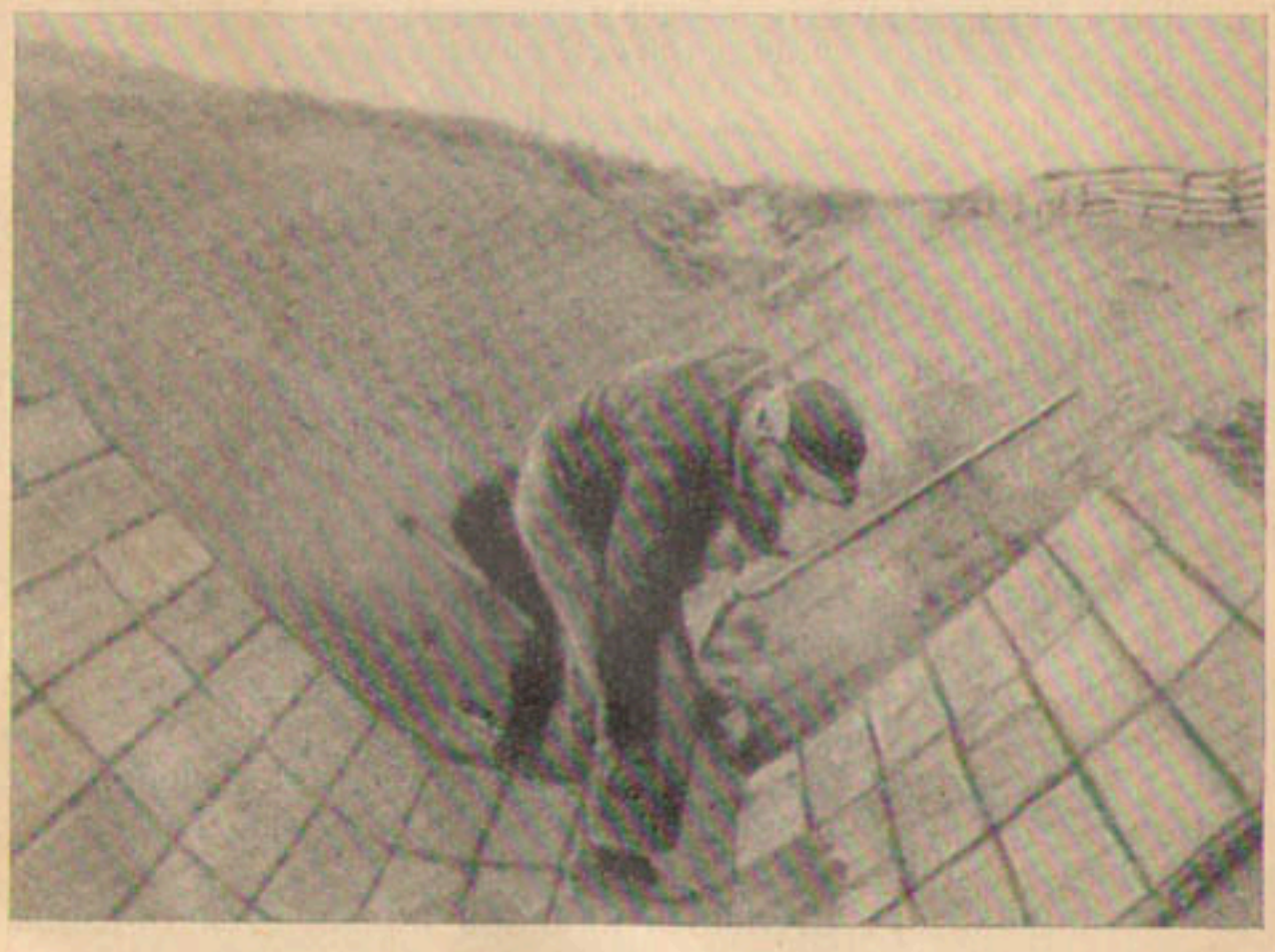


Рис. 37. Облицовка канала бетонными плитами (размер 20 × 60 *см*), соединяемыми в шпунт.

при таком искусственном покрытии следует часто осматривать швы между плитами и поддерживать облицовку в должном состоянии во избежание размыва грунта под плитами, последующего их оседания и общего повреждения облицовки.

46. Конструктивные способы облицовки каналов. В прежнее время при облицовке каналов по необходимости многое делалось вручную. На рис. 38 показан канал вблизи г. Солт Лейк

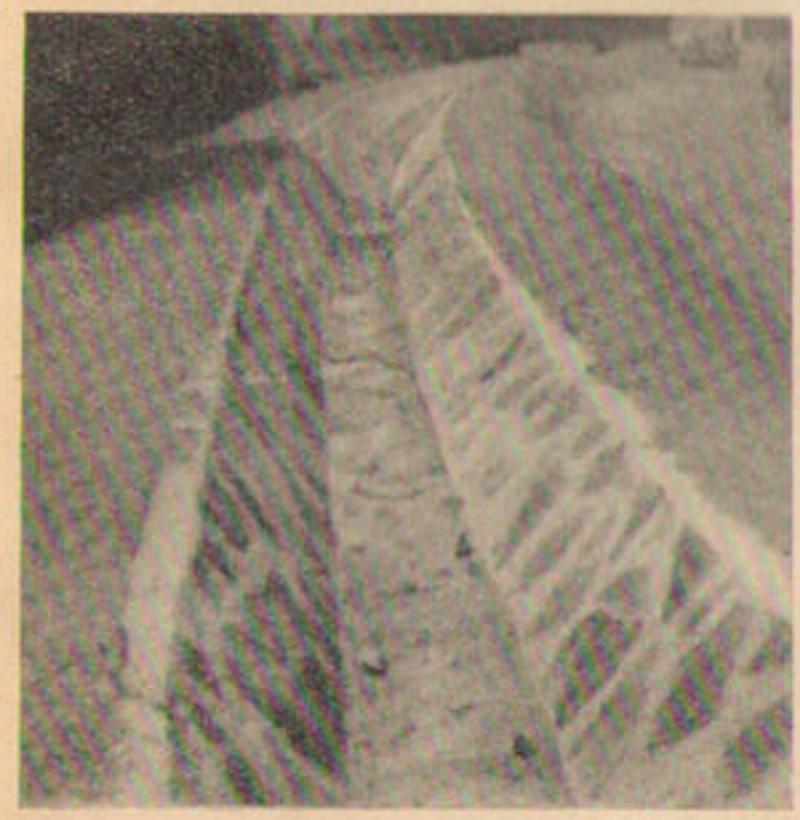


Рис. 38. Небольшой канал, облицованный камнем для предупреждения фильтрации воды и зарастания сорной растительностью.



Рис. 39. Машина для бетонирования с производительностью 240 $м^2$ бетонной облицовки в сутки.

Сити, облицованный камнем; он построен в то время, когда рабочие руки были дешевы. В деле применения механических способов и механической энергии для работ по облицовке каналов наблюдается в последнее время значительный прогресс. На рис. 39 показано использование небольшой машины для укладки бетона при облицовке небольших каналов.

Пример применения современных машин для облицовки оросительных каналов показан на рис. 40.

47. Борьба с зарастанием каналов. Одной из существенных задач, связанных с подачей оросительной воды, является предохранение каналов от зарастания. Сорняки, поросль кустарника на откосах каналов, мхи и разные водоросли сильно уменьшают

скорость течения воды в каналах и понижают их пропускную способность. Пользование бульдозерами, экскаваторами и цепями на тяге тракторов (см. рис. 34) пришло на смену ручному труду. Для нарушения связи водорослей с облицовочным материалом и очистки ила можно пользоваться скрепером, приводимым в движение напором воды (рис. 41).

Густая поросль водорослей мешает наблюдению за состоянием откосов канала, вследствие чего трудно обнаружить трещины и другие дефекты, вызывающие повреждения канала.

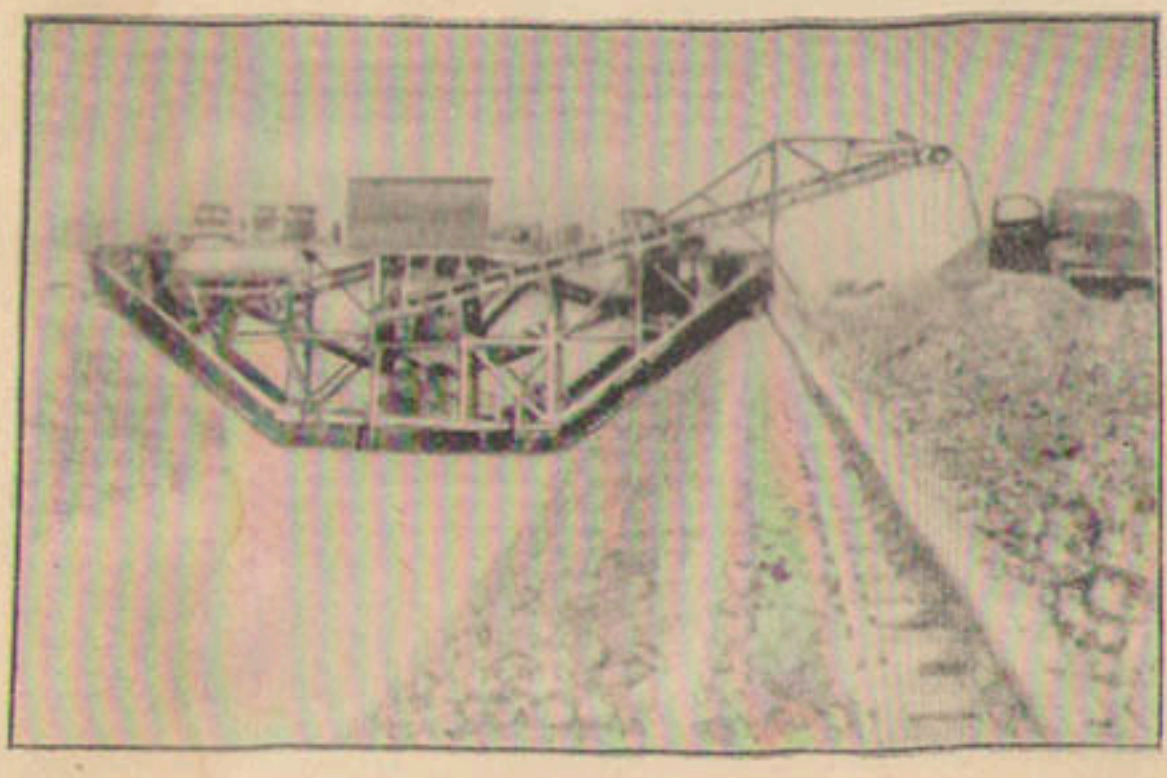


Рис. 40. Машина для облицовки и отделки поверхности канала.

Оторвавшиеся и плавающие в воде водоросли задерживают плывущий мусор, замедляют течение и вызывают повреждения откоса. Крупные многолетние растения, например ивняк, тамариск и тростник, делают почти невозможной очистку канала и удаление водорослей. Следует иметь в виду, что, кроме затруднений с очисткой каналов от растительности, сорняки, размножающиеся по откосам каналов, являются причиной засорения сорной растительностью также и пашен. Такие водоросли, как рдест, рогоз и др., также снижают пропускную способность канала. Эти водоросли, как и растительность на откосах, часто забивают лотки, водосливы и другие части системы орошения, вызывая задержки и дополнительные расходы по очистке каналов. Заросли водорослей способствуют накоплению песка и ила в канале, что замедляет скорость течения и увеличивает потери от фильтрации воды, а иногда бывает причиной переполнения канала. Все это связано с задержками и повреждением канала и ущербом для орошаемых культур.

Обычными способами борьбы с сорняками, разрастающимися по откосам канала, служат: пастьба скота, обкашивание, сжигание сорняков и применение химикатов, уничтожающих растительность. Борьба с водяной растительностью производится четырьмя главными способами: механической очисткой, высушиванием, затенением растительности и использованием химикатов. Способы

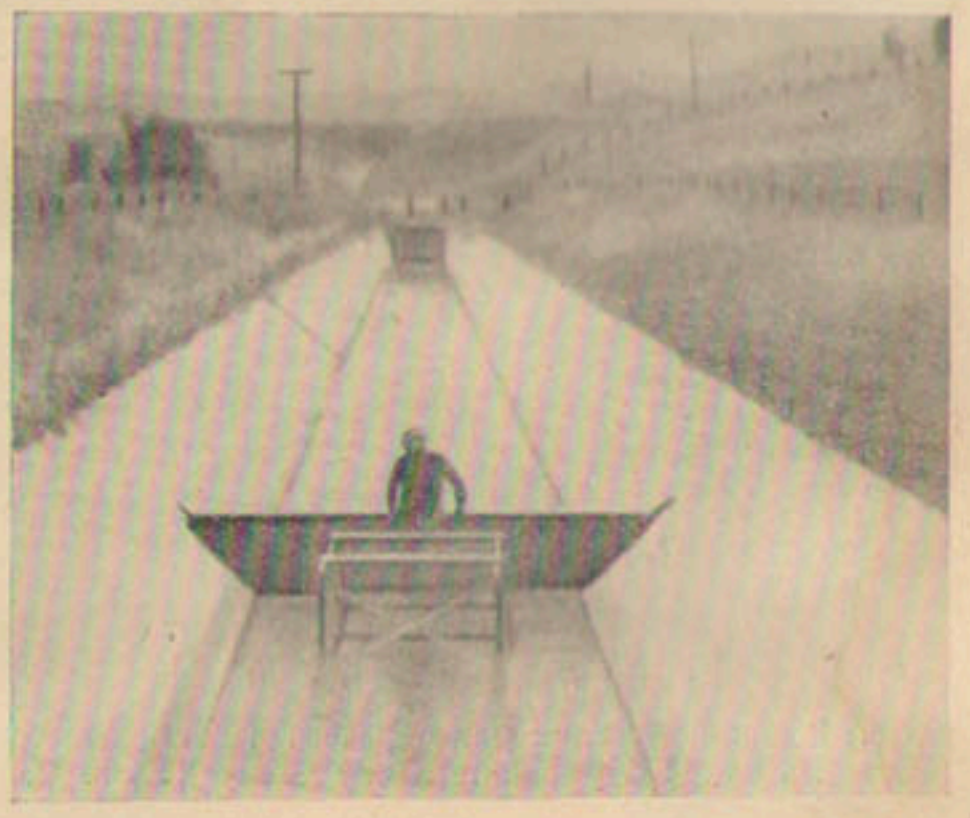


Рис. 41. Скрепер, приводимый в движение водой; применяется для очистки канала, облицованного бетоном, от водорослей и ила.

очистки каналов вручную заменяются в настоящее время менее дорогими способами.

48. Акведуки и лотки. Акведуками и лотками пользуются для пересечения естественных впадин и понижений поверхности или узких ущелий и для транспортирования оросительной воды вдоль очень крутых склонов. Акведуки сооружаются из лесоматериалов или металла или из обоих материалов, как это показано на рис. 42 и 43. Для строительства акведуков применяют также и бетон. В интересах экономии строительных материалов желательно увеличить уклон акведуков и получить скорости течения воды значительно большие, чем в земляных каналах. Это позволяет уменьшить поперечное сечение лотка.

49. Туннели. В настоящее время построено много туннелей, что дало возможность сократить длину отводных каналов и избегнуть трудных и дорогостоящих работ по транзиту оросительной

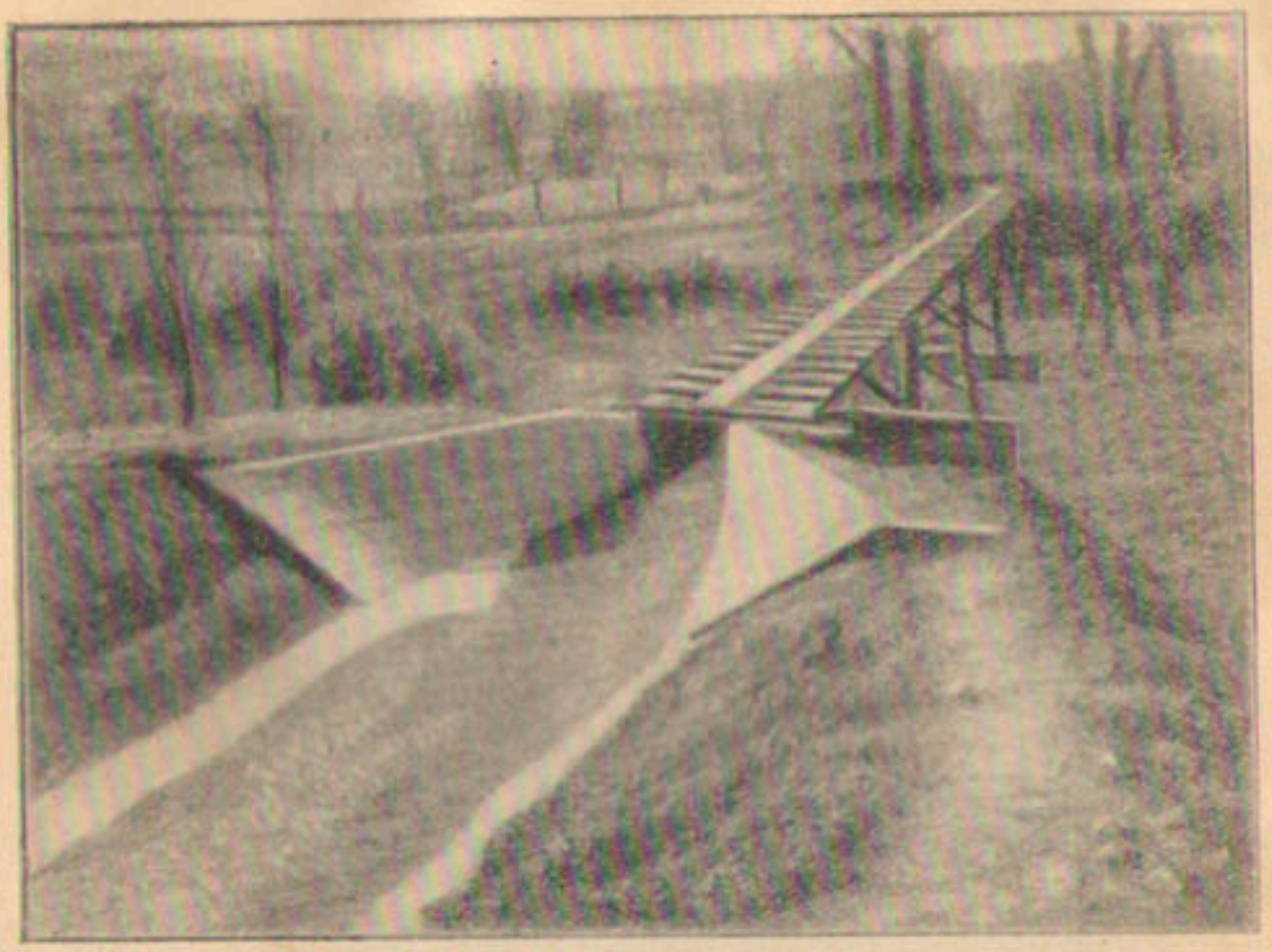


Рис. 42. Небольшой акведук над оврагом, давший возможность спрямить канал и уменьшить его длину на 500 *м*.

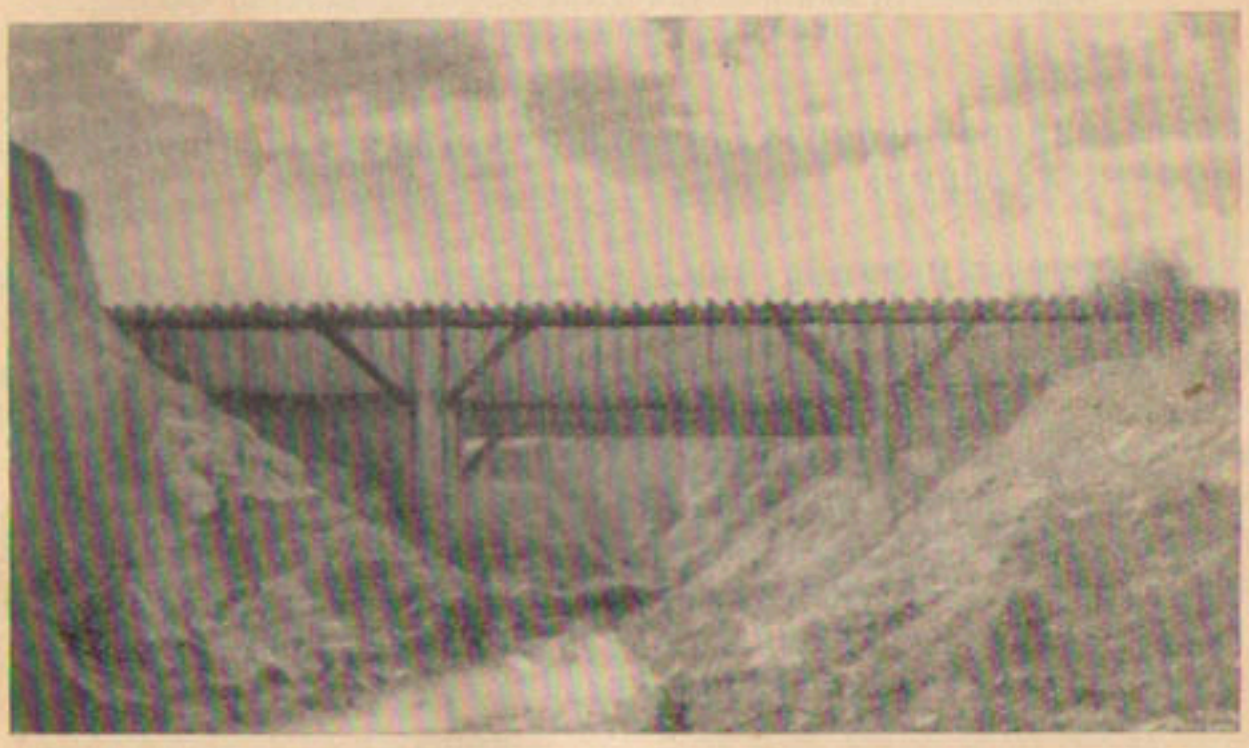


Рис. 43. Большой стальной акведук над оврагом. Акведук имеет бетонные опоры.

воды по крутым и скалистым склонам или через горы от одного водораздела к другому. Обычно экономически выгодным является облицовка дна и откосов камнем, что уменьшает потери воды на фильтрацию и понижает сопротивление трения воды о поверхность туннеля. Оросительные туннели, сооруженные в рыхлом грунте, облицовываются бетоном по мере их проходки.

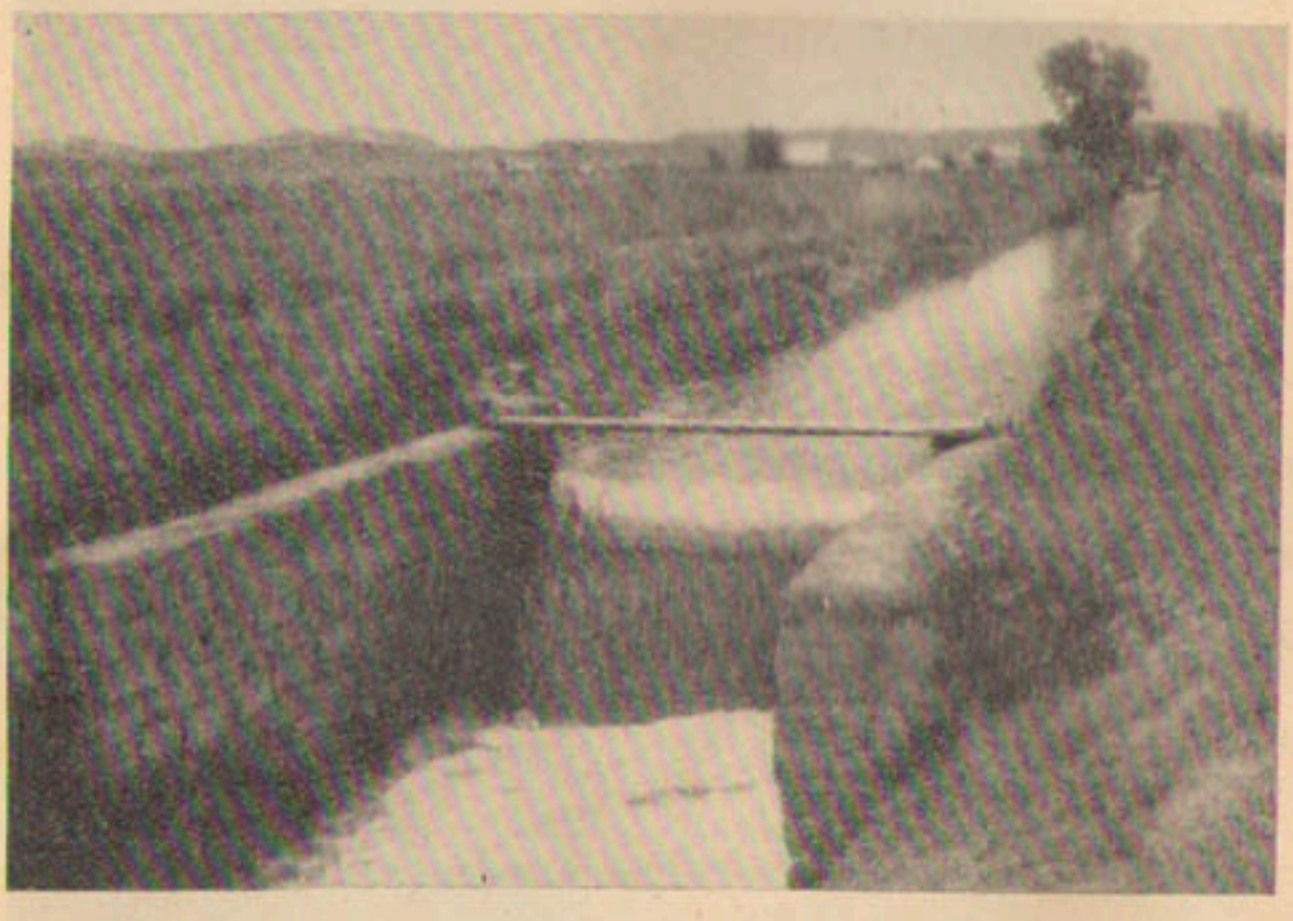


Рис. 44. Каменный перепад с длинным водобоем ниже перепада, уменьшающим размыв. Перепад пригоден для малых каналов и при небольшой высоте падения.

50. Перепады и быстротоки. В районах, где естественные уклоны поверхности, по которой проходит канал, настолько велики, что вода приобретает чрезмерную скорость, вызывающую размывы, строятся перепады из дерева, бетона или камня. На рис. 44 показан перепад высотой в несколько футов. Перепадами ослабляется энергия потока, благодаря чему устраняется опасность размыва. Можно пользоваться рядом последовательно расположенных перепадов, как показано на рис. 45. Быстротоки, построенные из дерева, бетона или стали, показаны на рис. 46. Быстротоки полезны в тех случаях, когда требуется провести воду по относительно крутым склонам. Применяя перепады, пришлось бы соорудить значительное число сооружений, расположив их близко одно от другого. Однако и в этом случае падающая вода при отсутствии должного наблюдения вызовет серьезные размывы. Быстротоки состоят из трех частей: 1) входной — с поперечным сечением, увеличивающим скорость потока; 2) части с

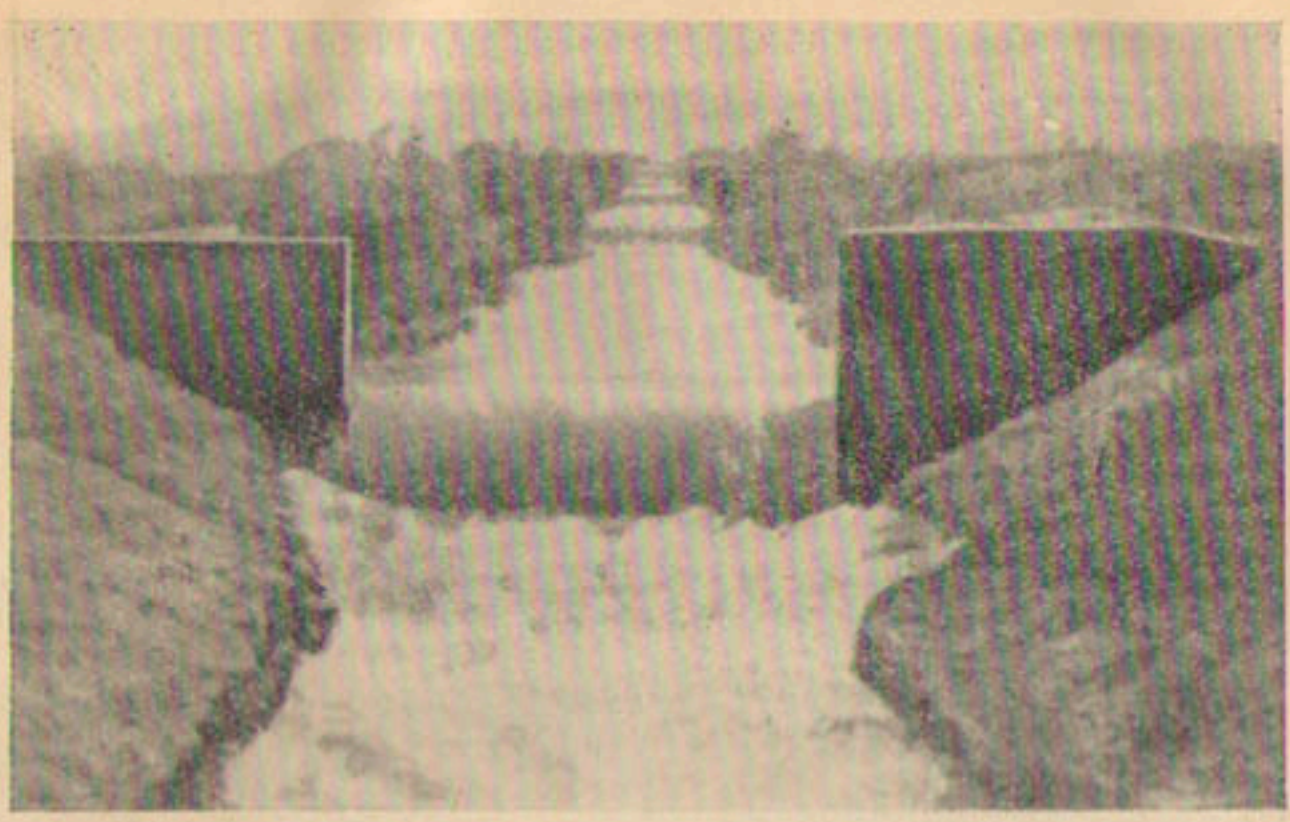


Рис. 45. Ряд последовательно расположенных перепадов для уменьшения скорости течения и предупреждения размыва. Для поднятия уровня воды в канале могут быть установлены узкие щиты, скользящие в пазах. Благодаря этому можно производить полив полей по обеим сторонам канала.

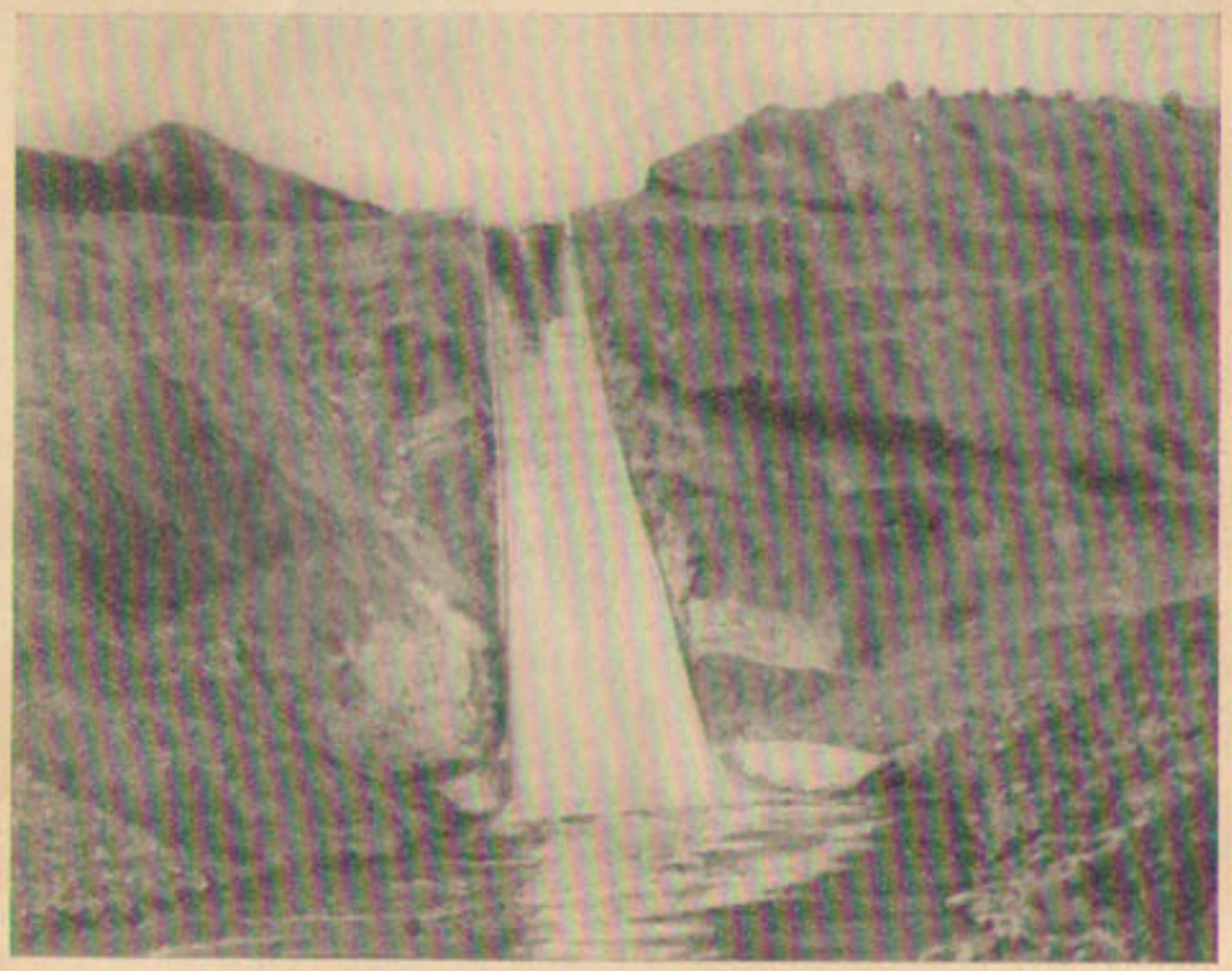


Рис. 46. Бетонный быстроток на канале. Скорость течения воды 8,5 *м/сек*.

сечением, обеспечивающим равномерную большую скорость течения, и 3) успокоительного бассейна (гаситель). В первой части быстротока скорость увеличивается приблизительно от 0,9 до 6 *м* в секунду и более, а поперечное сечение потока пропорционально уменьшается. Во второй части вследствие большой скорости силы сопротивления равны по величине движущим силам и противоположны им по знаку, поэтому скорость потока остается постоянной. Для ослабления энергии падения воды в нижней части быстротока необходимо устройство успокоительного бассейна.

51. Дюкеры. Для транзита воды поперек глубоких лощин, низин и ущелий обычно пользуются трубами дюкера, работающими под напором. Пользование акведуками для пересечения широких низин невыгодно ввиду большой стоимости сооружений в этих случаях.Трубопроводы, по которым вода проводится через ущелья, сооружаются на поверхности земли или вблизи нее; такие трубопроводы известны под названием дюкеров. Дюкеры изготовляются из стали или деревянной клепки, связанной стальными обручами, или из железобетона. Дюкер через реку Бер Ривер в штате Айдахо, построенный из деревянной клепки и проложенный по дну ущелья, выдерживает напор почти в 90 *м*. Напряжениям, вызванным в материале дюкеров давлением воды, противопоставляются прочность и толщина стенок стальных труб. В случае дюкеров из деревянной клепки допустимое напряжение в материале достигается выбором диаметра труб и расчетом расстояния между стальными обручами, скрепляющими клепку труб, а в случае железобетонных сифонов применяют стальную арматуру. Для сооружения сифонов большего диаметра пользуются соответственно более толстой листовой сталью, обручами большего диаметра (в случае дюкеров из клепки) при меньшем расстоянии между ними и бо́льшим количеством арматуры (в случае железобетонных сифонов) по сравнению с тем, что требуется для сифонов малого диаметра при тех же давлениях воды. Величина скорости воды, проходящей по дюкеру данного диаметра, зависит от гидравлического уклона и от степени шероховатости внутренней поверхности трубы. На скорость не влияет общее давление воды внутри трубы. Для определения скорости можно пользоваться формулой Маннинга, приведенной в п. 41. Например, имеем дюкер диаметром 1,8 *м*, построенный из деревянной клепки и находящийся в полной исправности. Длина дюкера 1,6 *км*.; разность отметок в начале и конце дюкера 2,7 *м*. Тогда $r = 0{,}45$ *м*; $s = 0{,}0017$. Коэффициент шероховатости принимаем $n = 0{,}01$. Отсюда по формуле (20) определяем $v = 2{,}45$ *м*. Так как площадь поперечного сечения трубы диаметром 1,8 *м* равна 2,55 $м^2$, то расход воды через такую трубу может быть $q = 2{,}45 \cdot 2{,}55 = \sim 6{,}25$ $м^3$.

Глава 5

ПОДАЧА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НАСОСАМИ

Большие площади пахотной земли, находящиеся в засушливых районах, часто расположены так, что для их орошения невозможно подать воду самотеком. На другие площади вода могла бы быть подана самотеком, но топография этих площадей и их положение относительно источников воды таковы, что стоимость сооружения каналов, в которых вода шла бы самотеком — акведуков, дюкеров, туннелей и других устройств, — велики, и расходы не могут быть оправданы экономически. Во многих таких районах вода из природных источников подается к местам ее потребления посредством некоторых механических устройств. Из таких источников, подземных или находящихся на поверхности, воду поднимают иногда на весьма значительную высоту, чтобы дать возможность ей течь далее уже самотеком на большие расстояния. Подъем воды насосами широко применяется в засушливых районах всего земного шара. Во влажных районах США применение насосов является важным способом, вошедшим в практику подачи воды для дождевания.

Механические устройства для подъема оросительной воды очень разнообразны. Некоторые из них несовершенны и не эффективны, другие же достаточно высокопроизводительны. В этой главе рассмотрены принципы и задачи, связанные с подачей воды насосами в относительно небольших количествах отдельным фермерским хозяйствам, и не рассматриваются вопросы, связанные с проектированием и работой крупных оросительных насосных установок, находящихся во владении отдельных корпораций или являющихся коммунальными предприятиями.

52. Затрачиваемая мощность и производительность насосных установок (коэффициент полезного действия). В механике мощность определяется как работа, затраченная в секунду, а работа — как произведение силы на путь. Единицей мощности, обычно принятой в практике орошения США, являются фунтофут/сек, или лошадиная сила (*л. с.*). Для подъема 2 куб. фут. воды на высоту 1 фут в течение секунды потребуется 125 фунтофут/сек, при условии, что насосная установка обла-

дает производительностью в 100%. Если бы производительность насосной установки была только 50%, то при указанной высоте подъема воды потребовалось бы 250 фунтофут/сек, т. е. была бы потеряна половина общего количества затраченной мощности, что было бы вызвано преодолением трения и превращением механической энергии в теплоту. Единицей мощности, обычно принятой в США, является лошадиная сила, равная 550 фунтофут/сек. Затратив 1 *л. с.*, можно поднять 1 куб. фут воды (28,3 *кг*) на высоту 8,8 фута (2,68 *м*) в течение одной секунды при условии производительности поднимающегося устройства 100%:

$$\text{лошадиная сила} = \frac{1 \cdot 62{,}5 \cdot 8{,}8}{550} = 1.$$

Ввиду невозможности получить производительность в 100%, мощность, требуемая для поднятия 1 куб. фута воды на любую высоту в течение секунды, называется «теоретической мощностью» (в *л. с.*).

Эффективность насосной установки определяется как отношение полезно затраченной мощности к общей затрате мощности. Электроэнергия и энергия, заключенная в газе, жидком топливе, угле, потребляемых мотором или машиной, — все эти виды энергии в соответствующих количествах затрачиваются насосом. Для определения теоретической мощности, потребной для подъема любых количеств воды на данную высоту, следует помножить требуемое количество воды в куб. фут/сек на требуемую высоту в футах и разделить на 550.

Мощность (*л. с.*) электромотора или двигателя на валу называется тормозной мощностью. Отношение величины мощности, отдаваемой насосом (отдача насоса), к величине тормозной мощности двигателя, отдаваемой насосу (отдача двигателя насосу), определяется как коэффициент полезного действия насоса.

Для ясного понимания вопроса о расходе различного топлива насосными установками полезно помнить, что

$$\text{мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}}. \tag{22a}$$

Отсюда

$$\text{работа} = \text{мощность} \times \text{время}. \tag{22b}$$

Термином «лошадиная сила-час» пользуются для обозначения непрерывного потребления или отдачи мощности, равной одной лошадиной силе, в течение одного часа, и потому одна лошадиная сила-час равна $550 \cdot 60 \cdot 60$ фунтофут.работы.

Термин «мощность насоса» (*л. с.*) определяется как мощность, теоретически требуемая для подъема данного количества

воды в течение секунды на некоторую высоту. В практике пользования насосами для орошения эта мощность может быть названа «отдачей». Таким образом,

$$hp_w = \frac{62{,}50Qh}{550} = \frac{Qh}{8{,}8}, \tag{23}$$

где hp_w — мощность насоса;
Q — подача воды в куб. фут/сек;
h — высота подъема в футах.

Если Q измеряется в галлонах в минуту, а не в куб. фут/сек, то:

$$hp_w = \frac{8{,}33Qh}{33{,}000} = \frac{Qh}{3960}. \tag{24}$$

Уравнения (23) и (24) полезны для определения мощности насоса, если известны Q и h. Основываясь на определениях, данных выше, можно написать:

Эффективность насосной установки (к. п. д.)
$$E_p = \frac{Qh}{8{,}8 \cdot \text{мощность, отданная двигателем насосу}}. \tag{25}$$

Проверка по временам величины к. п. д. дает возможность препятствовать снижению производительности установки и удорожанию ее работы.

В штате Калифорния Джонстоном был определен фактический коэффициент полезного действия оросительной насосной установки. Результаты проверки показывают, что к. п. д. (в процентах) центробежных насосов равен в среднем 49,8, для турбинных насосов в глубоких колодцах — 40,5 и для винтовых насосов в глубоких колодцах — 44,5. Наибольший к. п. д. был найден равным 70% и наименьший 15,2%. Для сельских хозяев важно поддержать насосные установки в хорошем состоянии. Низкая производительность установок может быть следствием главным образом невнимания к ним владельцев, не содержащих оборудование в должном порядке.

53. Высота подачи воды насосами. Высота, на которую поднимают оросительную воду, весьма различна. В некоторых странах — в Египте, Индии — воду поднимают всего лишь на несколько футов, в других же местах, например в Калифорнии, — на несколько сот футов. В американской практике орошения высота подъема воды ограничена соображениями стоимости, но не препятствиями технического характера или соображениями, относящимися к затрате энергии. Из п. 52 видно, что для любого данного количества оросительной воды затрата энергии грубо

пропорциональна высоте ее подъема. Высота, на которую должна быть поднята вода из пруда, озера или реки, откуда приходится подавать насосом воду, называется «геодезическим напором». При подъеме насосами грунтовых вод из подземных резервуаров в «статический напор» входит также и напор, требуемый для подачи того же объема воды из подземного ее источника в колодец, откуда выкачивается вода и подается на поверхность орошаемого участка. Желательно избегать подъема грунтовых вод с слишком большой глубины в интересах уменьшения затрачиваемой энергии. В дополнение к статическому напору, который должен преодолевать насос, необходима затрата некоторого количества энергии для того, чтобы заставить поток течь преодолевая сопротивление трения, крутые колена в трубах и другие препятствия, затрудняющие движение воды. Наличием таких сопротивлений объясняется то, что к. п. д. насосных установок находится в пределах от 75% при благоприятных условиях до 20% и даже менее при менее благоприятных.

В обычных условиях фермерских хозяйств в редких случаях бывает выгодно подавать оросительную воду насосом, преодолевая статический напор более 23 *м*. С другой стороны, в местностях с интенсивным сельским хозяйством считают рентабельным подачу воды при статическом напоре в 90 *м* и более. Ввиду большого числа переменных факторов, влияющих на подачу оросительной воды насосами, трудно установить пределы высоты подачи, которые могут быть приемлемы повсеместно и в любое время. Сельским хозяевам, рассчитывающим орошать свои земли при помощи насосов, следует иметь в виду, что стоимость воды, поднятой насосом, приблизительно пропорциональна высоте ее подачи. Прежде чем затрачивать средства на установку насосов для подачи воды на значительную высоту, нужно тщательно продумать рентабельность такого начинания. С другой стороны, при наличии хороших надежных источников снабжения водой не следует пренебрегать применением насосов.

54. Примитивные способы механического подъема воды. Механическими устройствами для подъема оросительной воды пользовались в течение многих столетий в Египте, Индии и в других древних странах, где в сельском хозяйстве орошение было существенно необходимо. На рис. 47 показано устройство, которым с давнего времени пользуются в Египте и Индии, известное под названием «шадуф», основанное на принципе рычага с противовесом. К длинному концу жерди подвешен ковш, сделанный иногда из кожи, укрепленной по краям деревянным обручем. Пользуясь весом своего тела, рабочий тянет жердь, ковш наполняется и противовес поднимает его к каналу, расположенному выше, где ковш опорожняется. Для работы одного «шадуфа»

требуется один человек; воду можно поднимать на высоту только 1,5—1,8 *м*. Такие устройства устанавливаются в некоторых

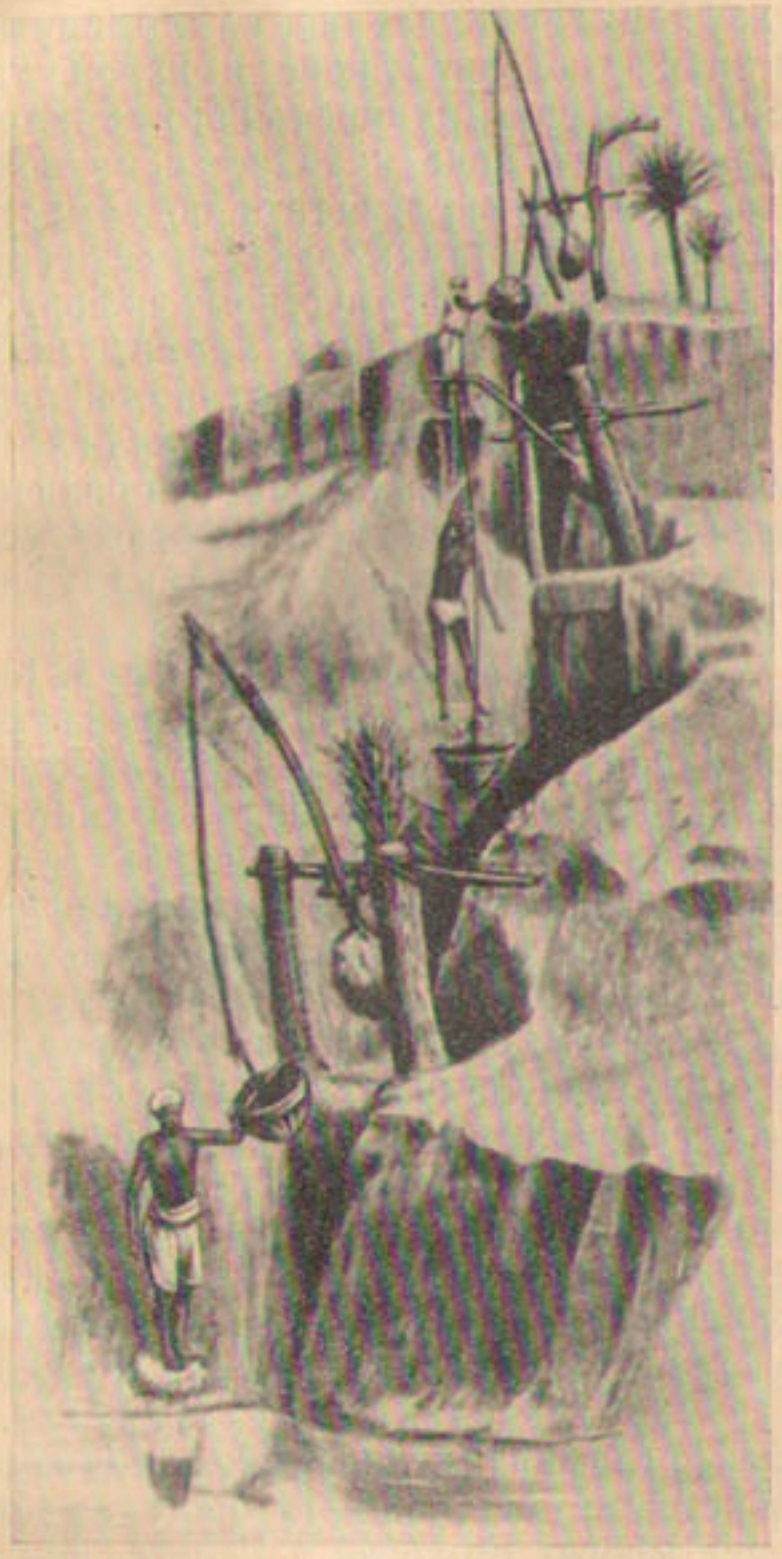
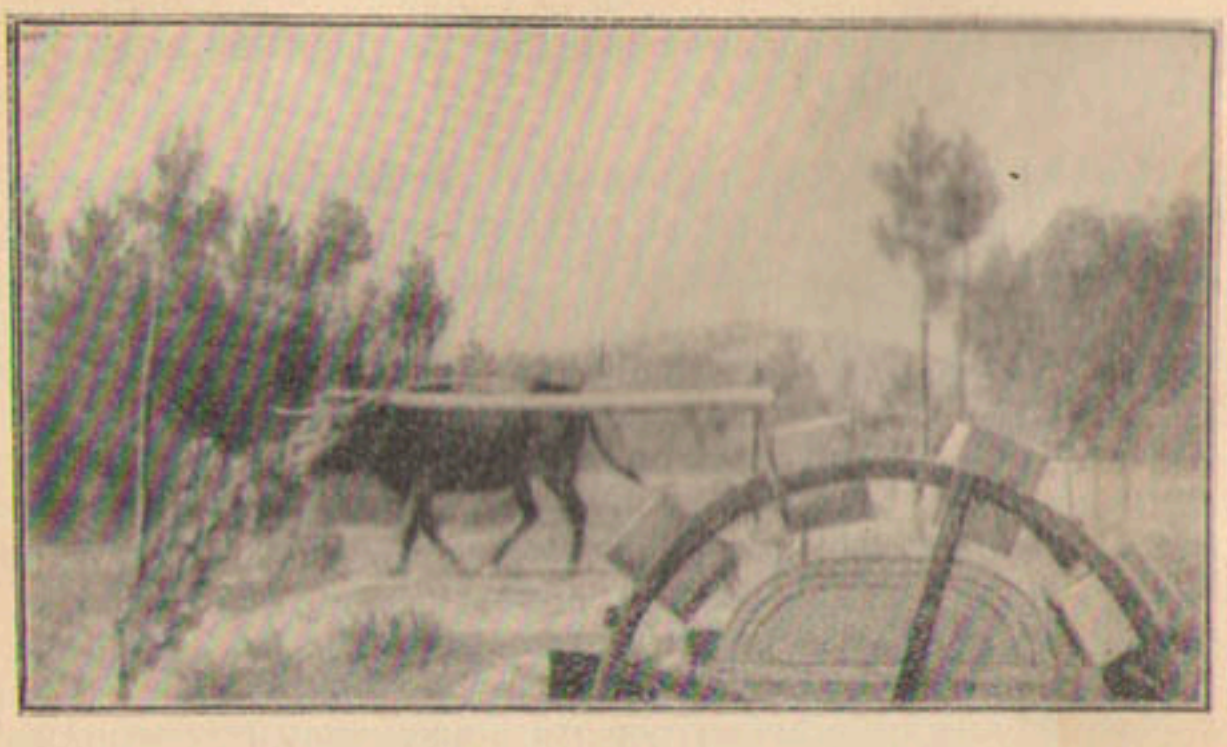


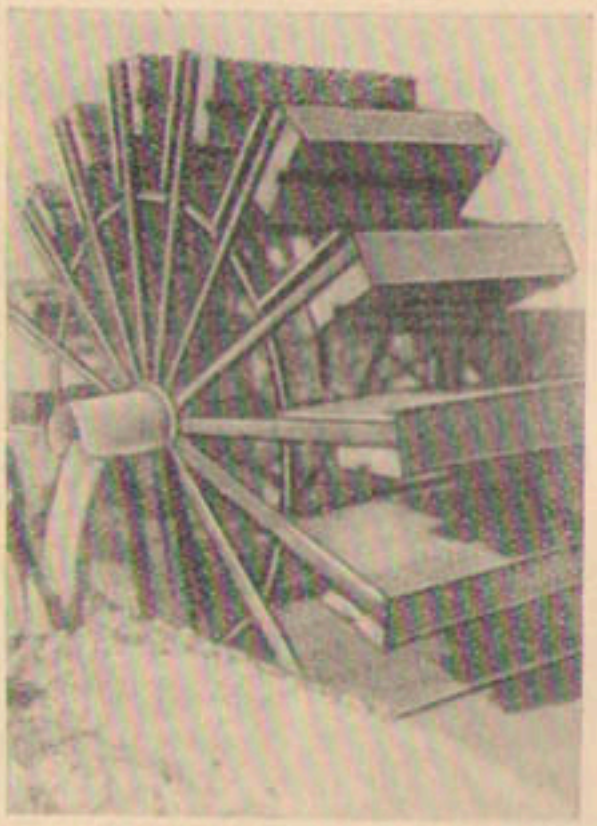
Рис. 47. Шадуф — примитивное устройство для подъема воды.

местах сериями — по три-четыре, что дает возможность поднимать воду на высоту 6 *м* и более. Пользуясь «шадуфом», один рабочий может подать приблизительно 80 *л* в минуту на высоту 1,5—1,8 *м*, что соответствует к. п. д. около 25%.

Другим примитивным устройством является водяное колесо, приводимое в действие человеком или животным (рис. 48).



Р и с. 48. Типичная португальская установка для подъема воды, приводимая в действие быком, который с завязанными глазами ходит по кругу.



Р и с. 49. Стальное водоналивное колесо диаметром 6,6 *м* поднимает воду (42 *л/сек*) в канаву, расположенную на 3,4 *м* выше.

на рис. 49 показано большое колесо с диаметром 6,6 *м*, эффективно работающее, приводимое в действие энергией воды и поднимающее ее на высоту 3,4 *м*.

55. Новейшие способы подачи воды насосами. В противоположность примитивным способам механической подачи оросительной воды во многих орошаемых хозяйствах в настоящее время пользуются насосными установками большой производительности. В западной части США применяются насосы, в конструкцию и работу которых внесены существенные улучшения. Стоимость подъема воды насосами значительно снизилась вследствие возможности получать энергию, сжигая уголь, газолин, сырую нефть или пользуясь электрической энергией вместо непосредственного приложения труда человека или работы животных.

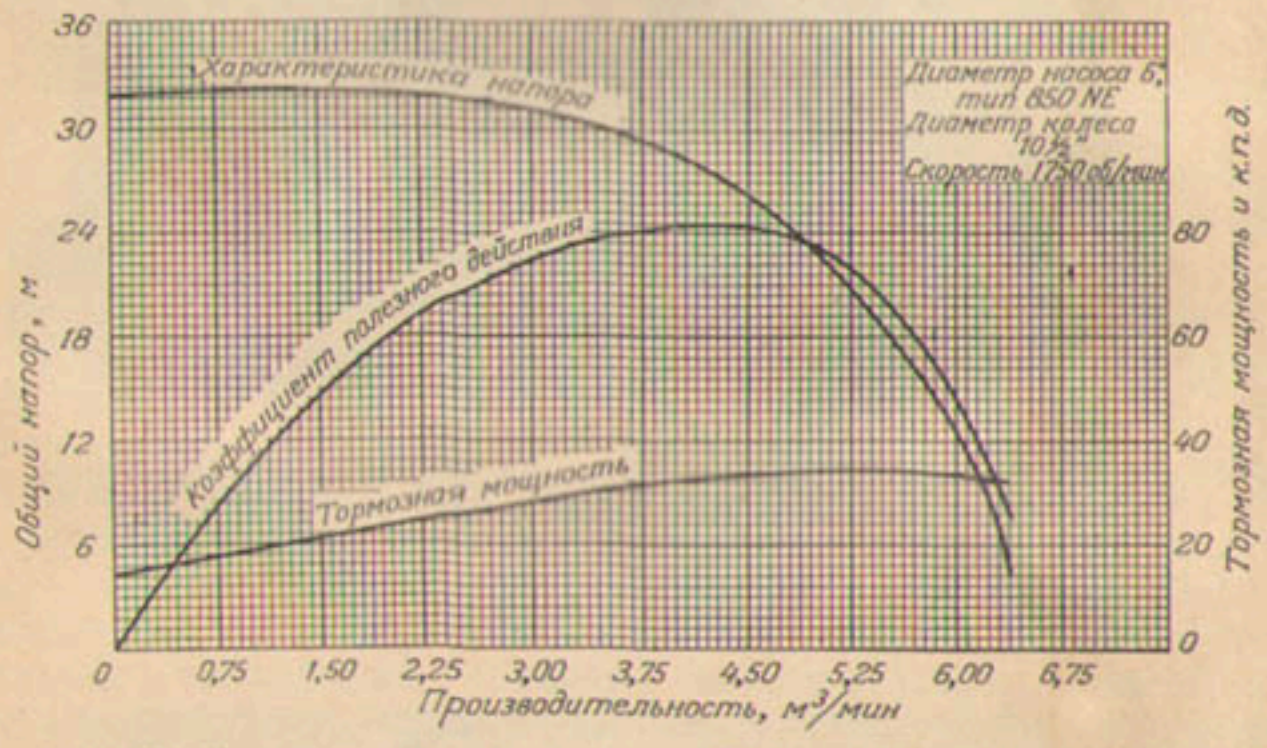
Современные способы орошения с применением насосов основаны на многих годах кропотливой лабораторной работы и внимательного изучения компетентными инженерами соответствующих условий, допускающих пользование насосами. В результате такого изучения вопроса в настоящее время вошли в обиход насосы различных конструкций и типов, соответствующие различным требованиям и условиям оросительных работ. Типичные современные насосы, применяемые для орошения, кратко описаны в пп. 58—61.

56. Характеристика насосов. В целях наиболее рентабельного применения насосов для подачи оросительной воды важно выбрать насос, подходящий к специфическим условиям работы в данном хозяйстве, и обеспечить его наибольшую производительность. Если вода подается насосом значительно меньше того количества, на которое он рассчитан, а высота подъема чрезмерно велика, то насос будет работать с малым к. п. д. С другой стороны, насос может подавать большее количество воды, чем то, на которое он рассчитан, при высоте подъема, меньшей нормальной, вследствие чего к. п. д. будет так же мал. Зависимость между скоростью, высотой подъема, количеством подаваемой воды и потребной мощностью двигателя насоса обычно характеризуется кривыми, которые и называются поэтому кривыми характеристики данного насоса. Знакомство с характеристиками насосов позволяет их изготовителям и потребителям оросительной воды приспособить насос к существующим условиям работы и таким образом достичь высокой его производительности при малой стоимости работы.

На рис. 50 приведены кривые характеристик стандартного центробежного насоса с горизонтальным валом. Эти кривые показывают, например, что при подаче количеств воды в пределах от 2,65 до 5,50 $м^3/мин$, при напоре от 32 до 20 *м* к. п. д. насоса

может достичь 75% и даже выше; наибольший к. п. д. — 82% будет достигнут при подаче от 4,16 до 4,55 $м^3/мин$ при напоре приблизительно 27 *м*.

57. Типы насосов. Насосы, применяемые для целей орошения, могут быть обычно разделены на три типа: центробежные, турбинные для глубоких колодцев и поршневые. Иногда при подготовке колодцев применяют воздушные насосы, но такими насосами редко пользуются для постоянной работы ввиду их малой



Р и с. 50. Кривые характеристики насоса, построенные по опытным данным.

производительности. В последующем изложении приведено краткое описание механических особенностей насосов первых двух типов, а также показаны типы их рабочих колес, после чего описываются плунжерные насосы.

58. Центробежные насосы. Центробежный насос состоит из вращающегсся рабочего колеса, находящегося внутри кожуха, куда вода поступает посредине его боковой стороны, а вытекает наружу по периферии. Насос сообщает воде энергию, затрачиваемую на увеличение скорости воды и давление. Имеются два вида центробежных насосов: спиральный и турбинный. Существенным различием между этими двумя видами насосов является конструкция кожуха, охватывающего колесо. Турбинный центробежный насос снабжен неподвижными направляющими лопатками, способствующими превращению кинетической энергии в энергию давления. Центробежные насосы выпускаются с горизонтальными и вертикальными валами. При пользовании

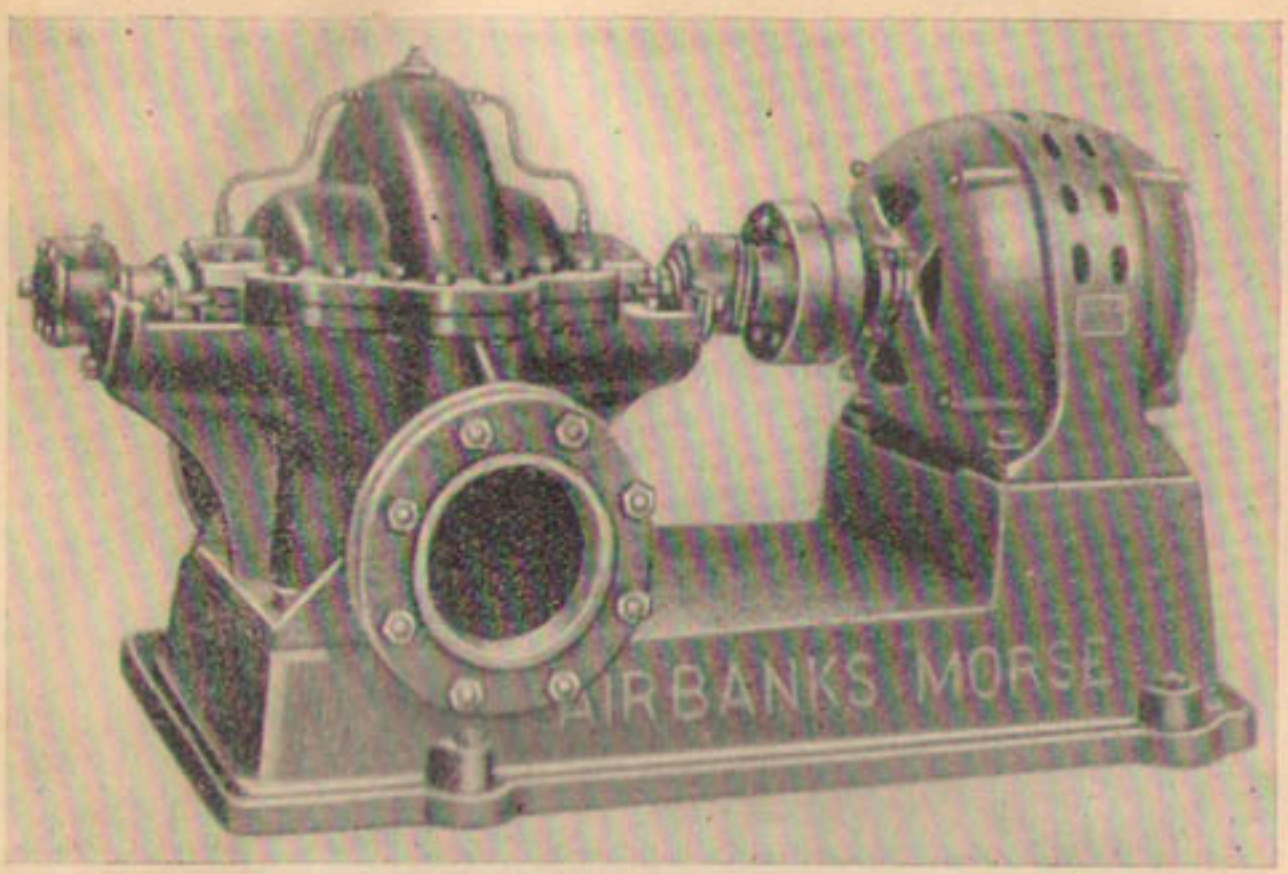


Рис. 51. Центробежный насос с валом на шариковых подшипниках, соединенный непосредственно с электромотором.

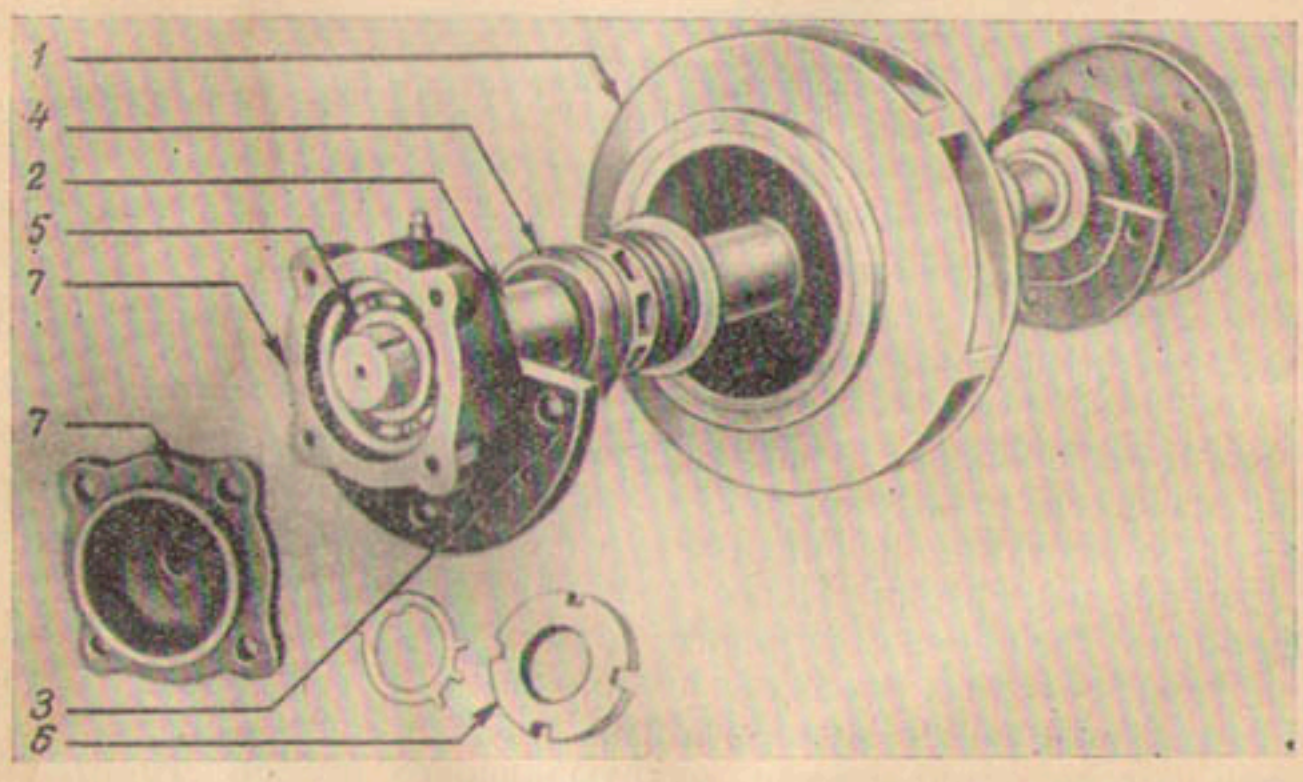


Рис. 52. Рабочее колесо и вал насоса.

1 — закрытое рабочее колесо; *2* — шлифовальный вал из углеродистой стали; *3* — уплотнительное кольцо; *4* — уплотнение; *5* — стандартный шариковый подшипник; *6* — стопорная гайка; *7* — кожух шарикового подшипника и крышка.

электроэнергией валы насосов соединяются непосредственно с валами электромоторов при условии соответствия скорости вращения вала электромотора скорости вращения колеса насоса. Производительность центробежных насосов находится в пределах от нескольких десятков литров в минуту до 8 *м*³/*сек*. Производительность насосов, применяемых в целях орошения, обычно находится в пределах от 6 до 150 *л*/*сек*. На рис. 51 показан одноступенчатый центробежный спиральный насос с разъемным кожухом, непосредственно соединенный с электромотором.

Центробежные насосы на горизонтальном валу устанавливаются над поверхностью воды, и поэтому их работа зависит от атмосферного давления, заставляющего воду входить в насос. При пуске для удаления воздуха из насоса необходимо заполнить водой всасывающую трубу и его кожух. Обычно выгодно устанавливать насосы как можно ближе к поверхности воды, однако, на такой высоте, чтобы при повышении уровня воды насос не был затоплен. Особенно важно избежать случайного погружения в воду насосов, непосредственно соединенных с электромоторами (см. рис. 51). Наибольшая допустимая высота установки центробежного насоса относительно поверхности воды, которую он подает, — около 7,5 *м*. При установке насосов в горных районах эта высота должна быть уменьшена. Центробежные насосы на горизонтальном валу работают с относительно малыми неполадками, обладают высоким к. п. д., выдерживают большую скорость вращения и могут быть удобно соединяемы с электромоторами. Насос, показанный на рис. 51, работает со скоростью 1750 об/мин. Рабочее колесо и другие детали этого насоса показаны на рис. 52.

59. Турбинные насосы, устанавливаемые в глубоких колодцах. Для экономичной подачи воды из глубоких колодцев малого диаметра была разработана и в дальнейшем усовершенствована конструкция турбинных центробежных насосов. Вращающееся рабочее колесо насажено на вертикальный вал внутри компактного кожуха; такой узел называется ступенью. Для подачи воды на большую высоту устанавливаются последовательно (одна над другой) две и более ступени у дна колодца. На рис. 53 показан двухступенчатый насос. Насосы этого типа, устанавливаемые в глубоких колодцах, работают от электромоторов или двигателей, находящихся на поверхности земли и соединенных с насосом длинными вертикальными валами, опирающимися на подшипники. Недостатком насосов описанного типа является недоступность для осмотра его рабочих частей и, следовательно, затруднительность наблюдения за ними. Такие насосы часто работают с меньшим к. п. д., чем насосы на горизонтальных валах. Это объясняется тем обстоятельством, что вертикальные насосы в колодцах

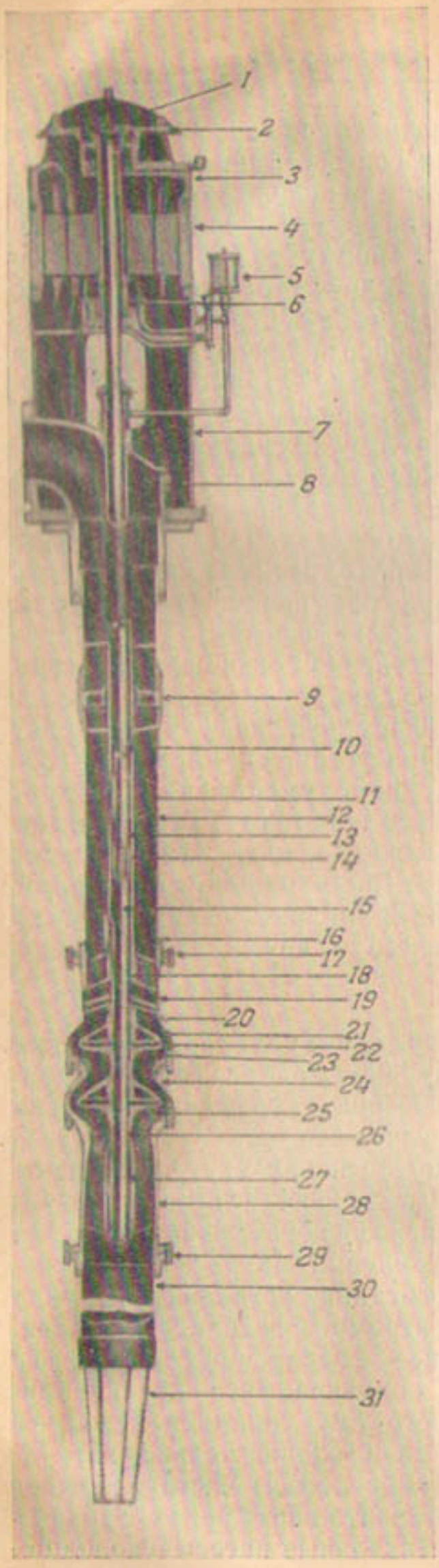


Рис. 53. Продольный разрез двухступенчатого турбинного насоса и электромотора, устанавливаемых в глубоком колодце.

1 — непроницаемый для пыли подшипник на конце вала с масляной ванной, которую можно легко чистить и осматривать; *2* — регулирующая гайка, доступная для обратной кольцевой смазки; *3* — подшипник, охлаждаемый действием электромотора; *4* — вертикальный мотор, установленный в напорной трубе; *5* — капельная масленка для стояка; *6* — нижний опорный подшипник, охлаждаемый действием электромотора; *7* — разгрузочная труба; *8* — внутреннее запасное отверстие; *9* — резиновая втулка; *10* — вертикальный вал; *11* — подшипник; *12* — кожух; *13* — внутренняя труба; *14* — муфта вала; *15* — вал насоса; *16* — верхний подшипник; *17* — станина фланца; *18* — обойма подшипника; *19* — выпускное отверстие; *20* — верхняя камера с автоматическим сальником; *21* — втулка; *22* — пружинная шайба; *23* — верхняя крыльчатка; *24* — корпус; *25* — кожух крыльчатки; *26* — пескоуловитель; *27* — нижняя втулка; *28* — дно втулки; *29* — фланец; *30* — всасывающая труба; *31* — фильтр.

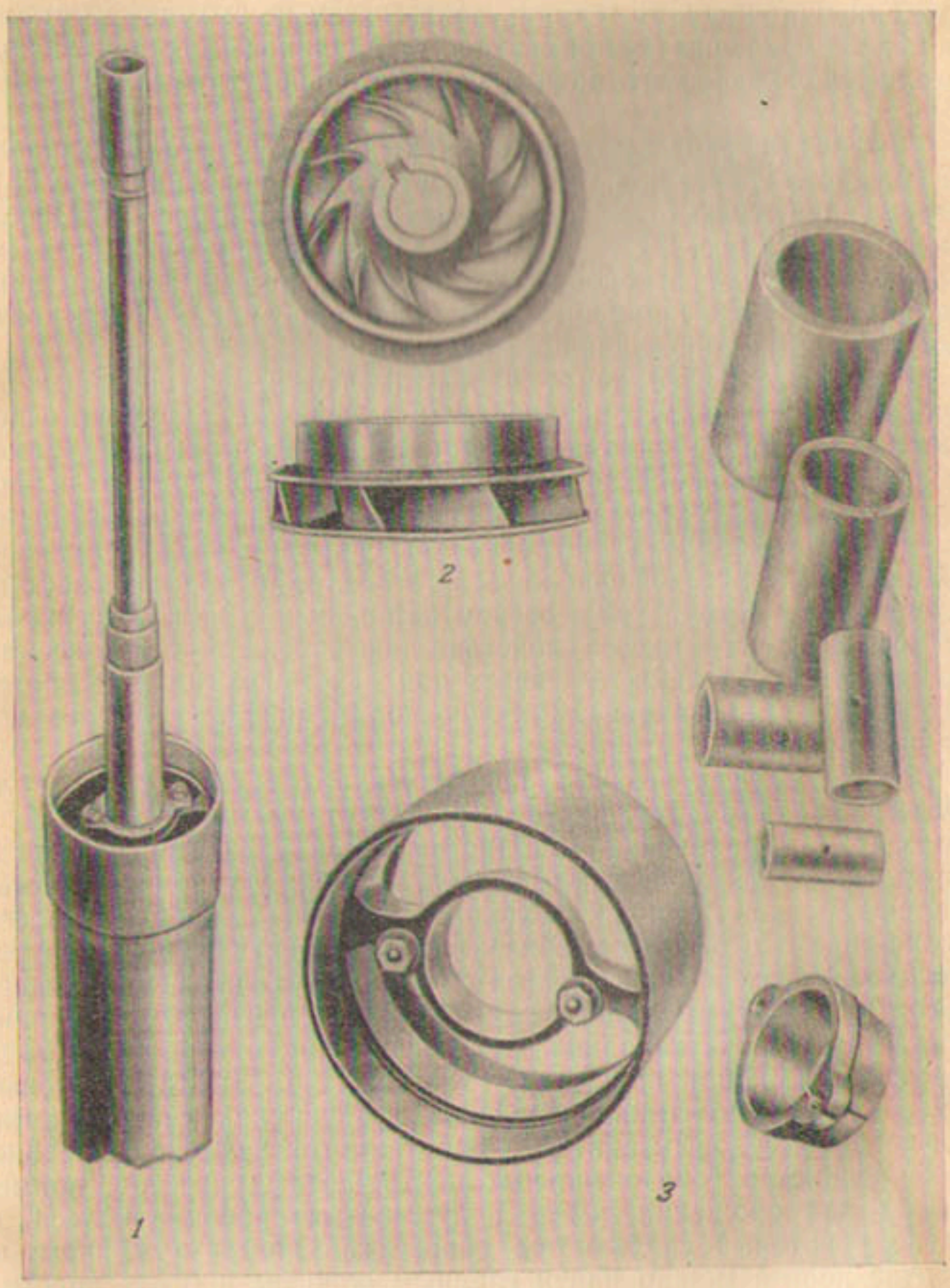


Рис. 54. Отдельные части глубоководного турбинного насоса.

1 — общий вид насоса; *2* — рабочее колесо; *3* — спайдер насоса и соединительные муфты вала.

иногда по недосмотру продолжают работать при значительном износе подшипников до тех пор, пока совсем не выходят из строя. На рис. 54 показаны детали насоса, устанавливаемого в глубоком колодце, положение его вала и нагнетательной трубы.

60. Типы рабочих колес насосов. У насоса другого типа, предназначенного также для установки в глубоких колодцах (рис. 55), колесо значительно отличается от показанного на рис. 54. Насос, показанный на рис. 55, также принадлежит к типу турбинных, но полуоткрытое колесо подобно до некоторой степени колесам винтового типа. Ниже приводится детальное описание рабочих колес насосов разных типов, данное Роуэром:

«Работа горизонтальных и вертикальных центробежных и турбинных насосов, устанавливаемых в глубоких колодцах, основана на принципе действия центробежной силы. Турбина смешанного типа является комбинацией колес центробежного и пропеллерного типа; работа насоса такой конструкции основана на суммарном действии — центробежной силы и силы, направленной по геометрической оси насоса. У насоса с колесом, заставляющим воду стремиться в осевом направлении, или у так называемого винтового насоса действие центробежной силы весьма ограничено. Вода движется здесь под действием лопаток винтового колеса (пропеллера). Рабочие колеса различных типов показаны на рис. 56.

Рабочие колеса насосов центробежного типа бывают полностью закрытыми, полузакрытыми или открытыми. Закрытые и полузакрытые рабочие колеса применяются у горизонтальных и вертикальных центробежных насосов, а также у турбинных, устанавливаемых в глубоких колодцах. Открытые рабочие колеса можно встретить только в горизонтальных и вертикальных центробежных насосах. Рабочие колеса смешанного типа (центробежно-осевого) применимы только для турбинных насосов, устанавливаемых в глубоких колодцах. Колеса последнего типа могут быть или закрытыми или полузакрытыми (рис. 56, *A* и *B*). Винтовые или пропеллерного типа рабочие колеса снабжаются кожухами; они подобны судовым винтам и работают так же, как последние.

Большинство горизонтальных центробежных насосов, применяемых для орошения, имеет полузакрытые рабочие колеса, и только некоторые снабжаются закрытыми колесами. Закрытые рабочие колеса можно найти главным образом в более дорогих насосах двойного действия, подобных применяемым на городских насосных станциях. Закрытые рабочие колеса являются также наиболее обычным типом колес турбинных насосов, устанавливаемых в глубоких колодцах. Так как размер рабочего колеса турбинных насосов для глубоких колодцев ограничен малым диаметром колодцев, то иногда бывает невозможно получить полную

производительность от насоса с колесом центробежного типа при подаче воды из колодца малого диаметра. Повышение производительности достигается применением колеса центробежно-осевого типа. Такое колесо создает более прямой путь воде, и,

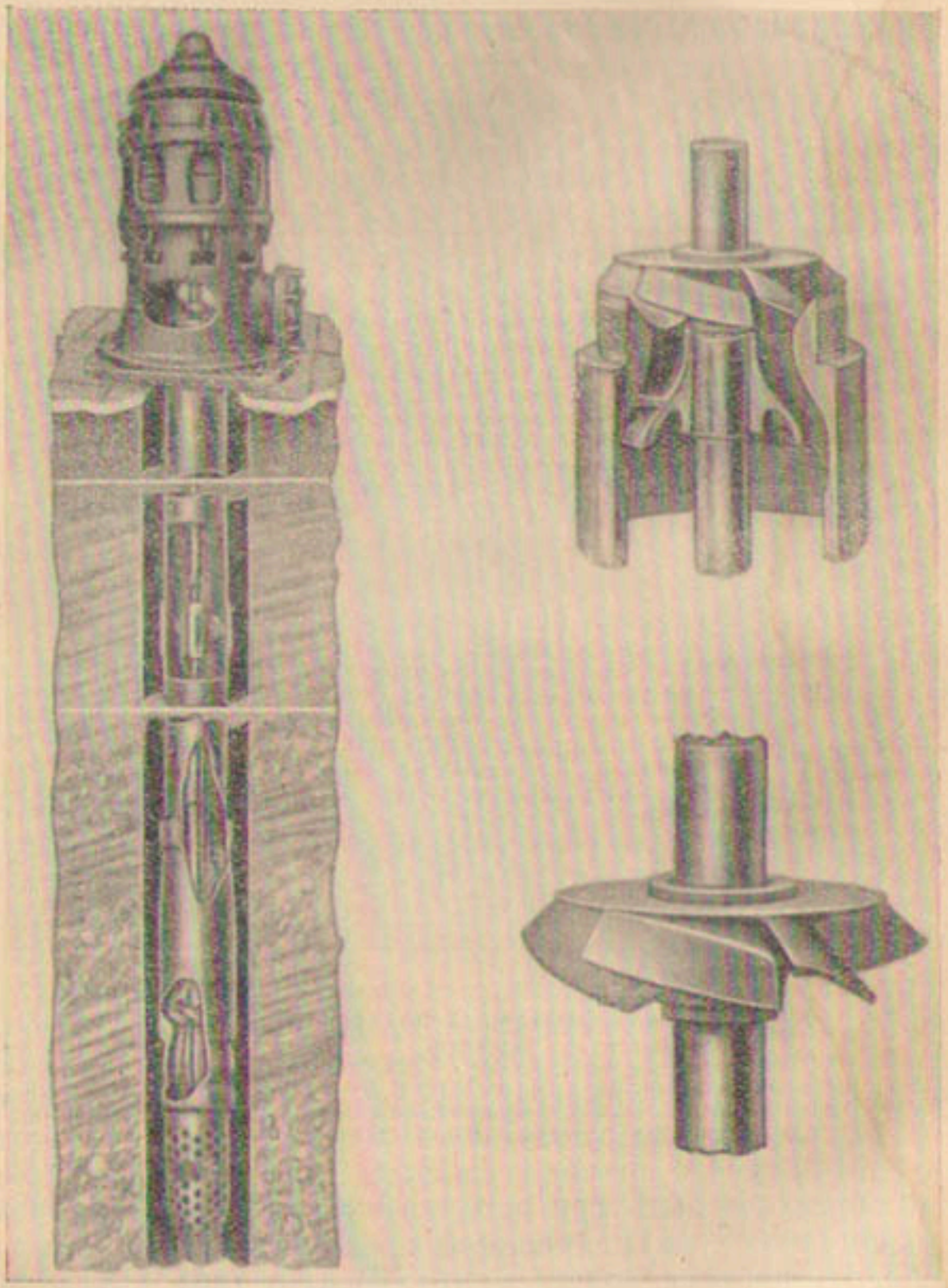


Рис. 55. Продольный разрез турбинного насоса с мотором, детали камеры и рабочее колесо, насаженные на вал.

следовательно, можно подать большее количество воды из колодца данного диаметра.

Рабочие колеса смешанного типа обычно изготовляются с полузакрытыми лопатками (рис. 56, *B*. *C*). Открытая сторона

колеса обтачивается с большой точностью, так как рабочее колесо садится на седло в кожухе насоса: седло также обтачивается чисто и точно. Подача воды насосами с полузакрытыми рабочими колесами может быть уменьшена поднятием колеса в случае снижения дебита колодца. Такая регулировка вызывает уменьшение к. п. д. насоса, но это уменьшение не столь значительно,

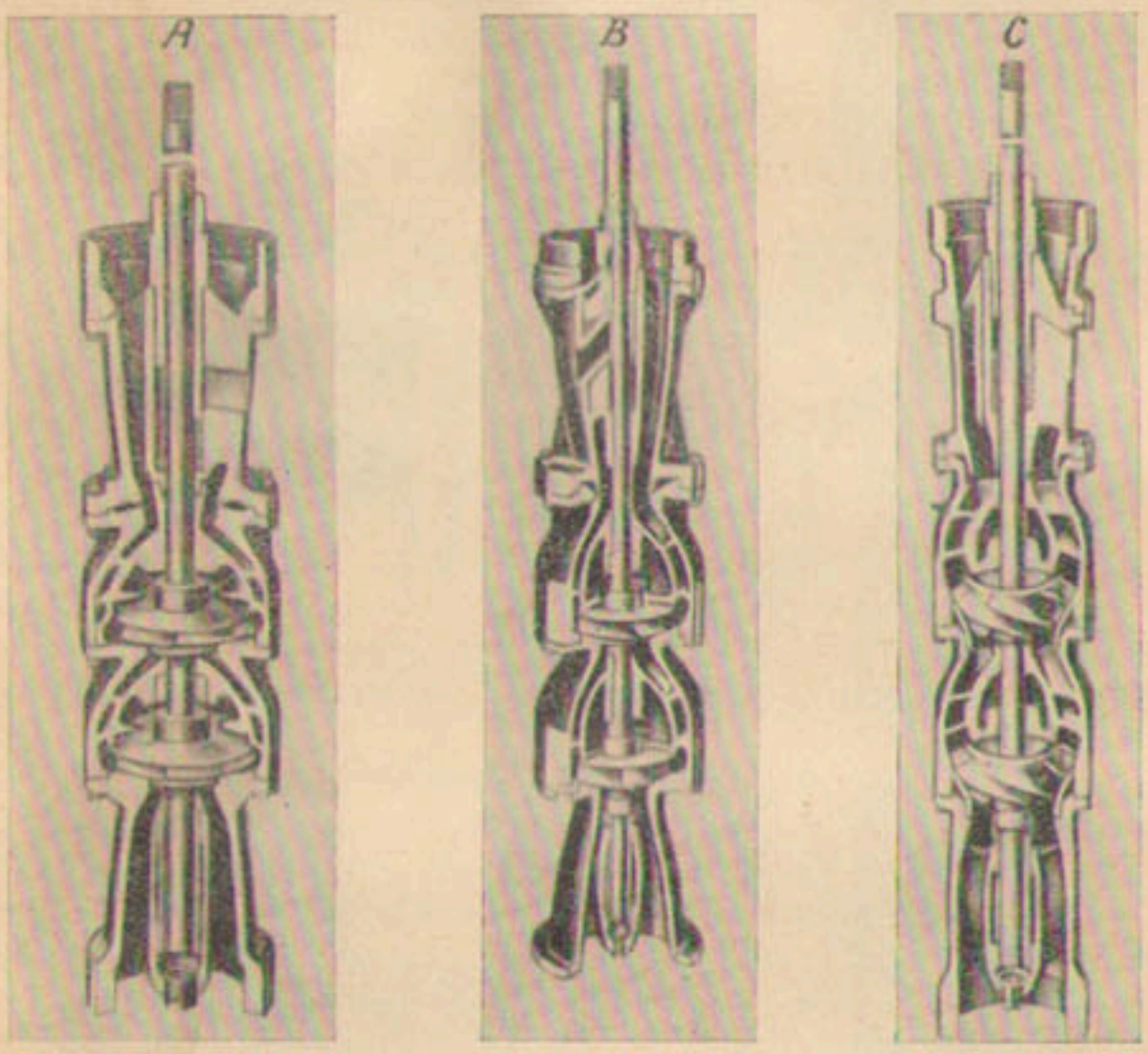


Рис. 56. Разрезы глубоководных двухступенчатых турбинных насосов.

A — с рабочими колесами центробежного типа; *B* — с полузакрытыми колесами центробежного типа; *C* — с комбинированными колесами центробежно-осевого типа (колеса „смешанного тока").

как оно могло бы быть при регулировке задвижкой, уменьшающей количество воды, подаваемой насосом.

Закрытые рабочие колеса центробежного типа имеют по окружности кольцевой выступ, входящий в кольцевой паз, в котором имеется уплотнение (уплотнительное кольцо) (рис. 56, *A*). Поверхность кольцевого выступа и паза точно обрабатывается для достижения плотного соприкосновения при вращении колеса. Уплотнение, производимое кольцом, препятствует просачиванию воды с верхней стороны колеса в полость всасывания.

Так как разница давлений велика, то некоторое просачивание все же имеет место, и если вода несет с собой песок, то наблюдается быстрый износ частей насоса, в результате чего значительная часть воды просачивается вниз через уплотнительное кольцо. Для противодействия износу, причиняемому песком, кольцевой выступ снабжается кольцом (вкладышем) из нержавеющей стали или твердой бронзы. В месте возможного просачивания иногда применяют двойное уплотнение из резинового кольца, вставленного в паз кожуха несколько ниже края выступа колеса. Опуская колесо, можно получить небольшой зазор, даже если песком причинен большой износ. Важно отрегулировать зазор так, чтобы выступ не садился на резиновое уплотнительное кольцо. В противном случае будет наблюдаться большой износ колеса вследствие истирания и повреждения резины.

Колеса центробежного типа создают большой напор, но количество воды, подаваемой таким насосом, — невелико. Колесами этого типа пользуются для установок, работающих с большим напором, когда колодцы настолько большого диаметра, что в них могут войти большие рабочие колеса. Каждая ступень рабочих колес центробежно-осевого типа создает напор средней величины, а рабочие колеса винтовые или пропеллерные обеспечивают наименьший напор на каждую ступень, но большую подачу воды. Рабочее колесо промежуточного типа обладает средней характеристикой между колесами центробежно-осевого и пропеллерного типов».

61. Поршневые (плунжерные) насосы. Поршни, плотно соприкасающиеся со стенками цилиндров и скользящие в них, и автоматические клапаны, управляющие всасыванием и нагнетанием воды, являются главными частями насосов поршневого типа. Производительность одного поршня определяется объемом цилиндра, числом ходов поршня в единицу времени и типом насоса, независимо от того, одностороннего или двойного действия насос. Пользование поршневыми насосами для целей орошения в засушливых районах ограничено применением их в местностях, где требуется только подъем небольшого количества воды на значительную высоту. Во влажных районах насосами поршневого (плунжерного) типа пользуются для дождевания в садах и небольших овощеводческих хозяйствах. Для подачи воды из источников на поверхности применяются горизонтальные насосы. Такие насосы обычно работают от электродвигателя. Хорошее состояние клапанов и поршней обеспечивает высокую производительность плунжерных насосов. Большое содержание в воде ила и песка способствует чрезмерному износу движущихся частей; в этих случаях насосы должны находиться под постоянным наблюдением во избежание снижения их производительности.

66. Грунтовые воды. Грунтовые воды являются весьма важными источниками оросительной воды. Подача воды из колодцев практиковалась в значительной степени в древних странах с орошаемым земледелием — в Индии и Египте. В небольших

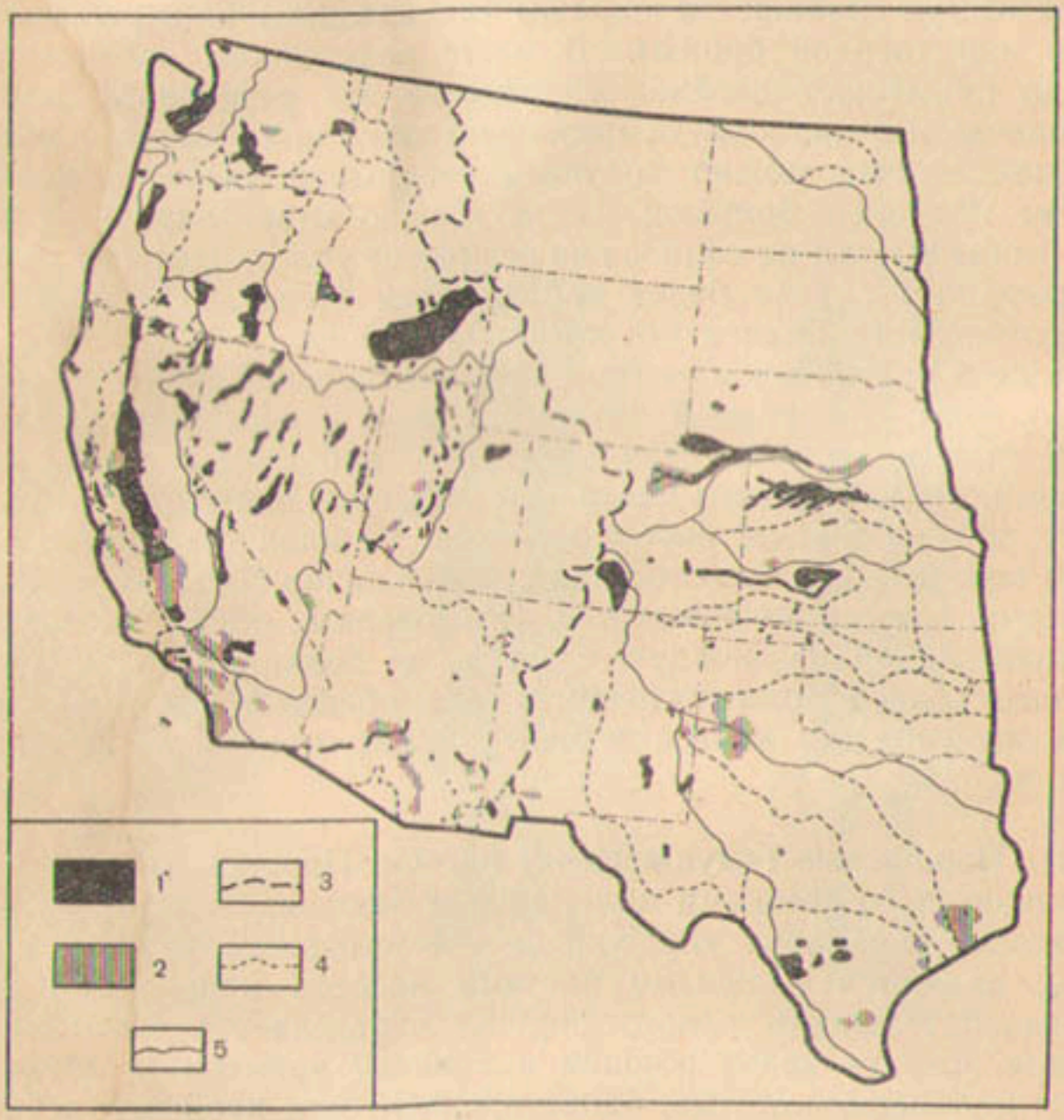


Рис. 57. Бассейны грунтовых вод на территории 17 западных штатов.

1 — современное состояние бассейнов; *2* — территория с относительно небольшим изменением уровня грунтовых вод; *3* — линия континентального водораздела; *4* — главный бассейн дренирования; *5* — ответвления главного бассейна дренирования.

размерах это практикуется и в настоящее время почти во всех засушливых западных штатах США.

На рис. 57 показано положение подземных бассейнов в 17 западных штатах.

По официальным данным Департамента земледелия США, около 10% орошаемых земель пользовались только грунтовыми водами, другие 10% площади земель орошались грунтовыми во-

дами частично. В 1920 г. в стране было около 20 тыс. оросительных колодцев, в 1930 г. — 58 тыс., а в 1940 г. — 79 тыс.

Уровень воды в некоторых бассейнах снизился к 1942 г. в результате ее выкачивания для нужд орошения. В других бассейнах заметных изменений не произошло, а в некоторых уровень воды даже повысился за период наблюдения за ними. Следует остерегаться чрезмерного расширения орошаемых площадей, в результате чего может возникнуть большой недостаток воды в периоды малых атмосферных осадков. Значительное снижение уровня подземных вод вызывает увеличение высоты подачи, что иногда делает стоимость воды неприемлемой для потребителей. Так как работа горизонтальных насосов зависит от глубины всасывания воды, то для применения таких насосов при большом дебите выкачиваемой воды может возникнуть необходимость углубления шахт, в которых насосы установлены, и опускания насосов ниже, чтобы обеспечить подачу достаточного количества воды.

По изложенным соображениям объем использования грунтовых вод для орошения должен определяться на основе длительного и тщательного изучения дебита подземных рек, резервуаров или бассейнов.

67. Колодцы и их кожухи. Для получения небольших количеств воды с целью орошения колодцы копают вручную и стенки шахты облицовывают деревом, бетоном, кирпичом, камнем. Вообще же колодцы бурят механизированными способами, пользуясь переносными двигателями внутреннего сгорания. Роуэр различает следующие способы проходки колодцев:

1) колодцы буровые, выполненные обычным способом;

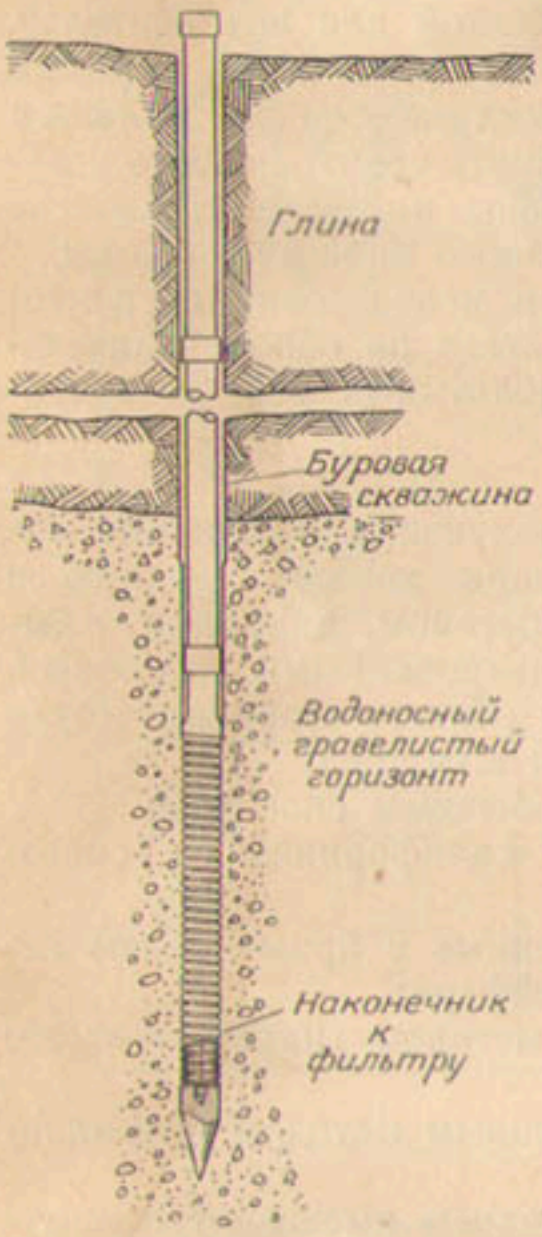
2) копаные колодцы, построенные калифорнийским способом;

3) большие шахты в грунте, пройденные с применением песочного насоса («американки») или грейфера;

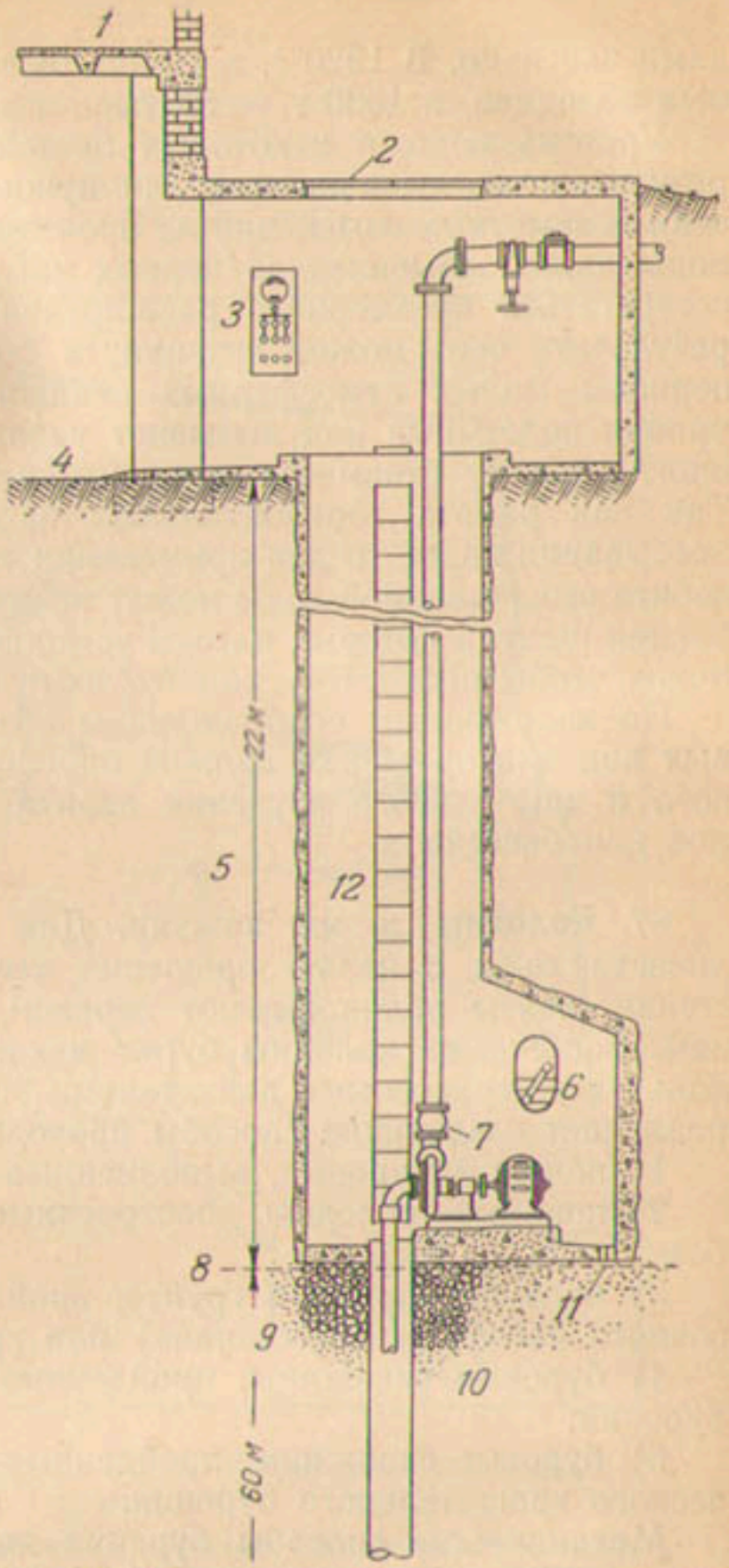
4) буровые скважины, пройденные методом гидравлического бурения;

5) буровые скважины, пройденные новым методом гидравлического вращательного бурения.

Механические способы бурения колодцев имеют то преимущество, что допускают производство работы в воде, в то время как при копке колодцев вручную необходимо специальное оборудование для удаления воды из колодца по мере его углубления. Механические способы бурения особенно выгодны в случаях, когда требуются очень глубокие колодцы с значительным дебитом воды. Типичный буровой колодец, пройденный с помощью современной установки ударного действия, изображен на рис. 58. Для сооружения колодцев этого типа требуются небольшие первоначальные капиталовложения. При благоприятных условиях



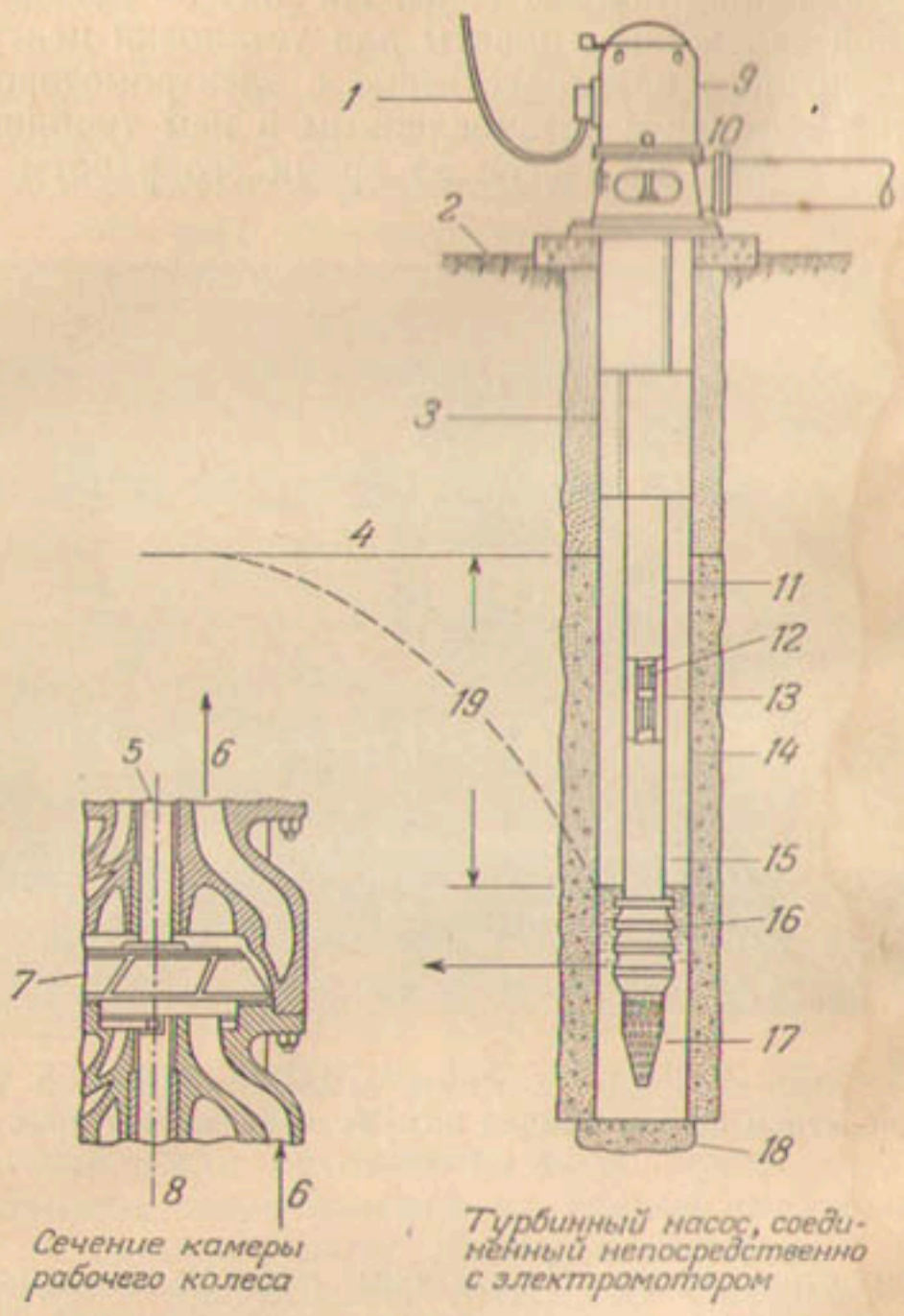
Р и с. 58. Вертикальное сечение колодца, сооруженного с помощью ударного инструмента.



Р и с. 59. Центробежный насос с электромотором. Установка находится в копаном колодце; вода выкачивается из бурового колодца.

1 — пол лаборатории по изучению вопросов орошения; *2* — крышка люка; *3* — выключатели; *4* — пол подвала; *5* — копаный колодец глубиной 22 *м* с внутренним диаметром 1,5 *м*, облицован слоем железобетона толщиной 7,5 *см*; *6* — пусковой реостат; *7* — задвижка; *8* — уровень воды; *9* — галька диаметром до 12,5 *см*, заполняющая пространство вокруг верхней части обсадной трубы скважины диаметром 40 *см*; *10* — буровая скважина диаметром 40 *см* с кожухом из двойной обсадной трубы диаметром 30 *см*; *11* — дрена; *12* — шахта колодца.

залегания песка они пригодны и эффективны как для использования в целях орошения, так и для дренажа. Диаметры буровых



Р и с. 60. Схема установки турбинного насоса в глубоком колодце.

1 — провод к пусковому реостату; *2* — поверхность земли; *3* — клепаный кожух выше уровня грунтовых вод; *4* — уровень грунтовых вод; *5* — вал; *6* — вода; *7* — рабочее колесо; *8* — камера рабочего колеса; *9* — электромотор; *10* — нагнетательный трубопровод; *11* — наружная труба; *12* — вал насоса; *13* — внутренняя труба; *14* — перфорированный чугунный кожух; *15* — гравийное уплотнение; *16* — камеры колес; *17* — фильтр; *18* — бетонная подушка; *19* — величина понижения уровня грунтовых вод.

колодцев, предназначенных для орошения, находятся, как правило, в пределах от 15 *см* до 1 *м*; большинство таких колодцев имеют диаметры от 40 до 50 *см*. Пробуренные скважины облицовываются листовым железом, толщина которого возрастает при увеличении диаметра и глубины колодца.

Для применения горизонтального насоса необходимо вырыть шахту глубиной, достаточной для установки в ней насоса на высоте, обеспечивающей подъем воды. На рис. 59 показана комбинация буровой скважины и шахты для установки центробежного насоса, соединенного непосредственно с электромотором. Типичный глубокий колодец с установленным в нем турбинным насосом показан на рис. 60. Насос во время его работы находится



Рис. 61. Прожигание ацетиленовым пламенем отверстий в кожухе колодца диаметром 36 *см*. Секции кожуха свариваются при установке их в колодце.

под поверхностью воды. С насосом непосредственно соединен вертикальным валом электромотор, установленный на поверхности земли над колодцем. При работе этого насоса вода проникает через отверстия в обсадной трубе колодца, просверливаемые обычно уже после того, как скважина пробурена и труба установлена на место. Отверстия в трубе должны быть такого диаметра, чтобы они не создавали угрозы для прочности трубы. Среди инженеров нет единого мнения по вопросу о величине отношения между общей площадью отверстий в трубе колодца и площадью его поперечного сечения. Однако все согласны с тем, что размеры отверстий не должны вызывать излишней затраты механической энергии при протекании через них воды в колодец. На рис. 61 в качестве примера показан способ выжигания отверстий ацетиленовым пламенем в трубе до того, как она установлена на месте.

68. Подготовка колодцев к эксплуатации. Водопроницаемость почв, песка и гравия быстро возрастает с увеличением диаметра частиц. Поэтому важно, чтобы мелкие частицы, находящиеся снаружи стенок колодца, были всосаны в колодец и выброшены на поверхность или при откачке, или черпанием. Процесс удаления ила, песка и очень мелкого гравия для облегчения притока воды в колодец является подготовкой колодца к эксплуатации. Большинство опытных специалистов понимают важность этой работы и изобрели остроумные способы для ее выполнения путем размыва напором водяной струи и применения сжатого воздуха. Один из способов очистки колодца от ила и песка состоит в поднимании и опускании в обсадную трубу колодца песочного черпака, всасывающего воду через отверстия при скольжении вдоль стенок колодца. Другой способ заключается в изменении расхода воды, забираемой насосом, что вызывает пульсацию тока воды. Достигается это или изменением скорости работы насоса, или регулированием подачи воды с помощью клапанов. Для обеспечения экономичности подачи оросительной воды «подготовка колодцев» весьма важна, и ею ни в каком случае не следует пренебрегать. Иногда в результате правильной подготовки колодцев их дебит может быть удвоен и даже утроен.

69. Дебит колодцев. Забор оросительной воды, подаваемый насосной установкой из колодца, определяется одним из двух главных факторов или обоими одновременно: а) производительностью насоса и мощностью электромотора или двигателя и б) дебитом колодца. Дебит зависит от уклона кривой депрессии грунтовых вод или от давления, глубины и диаметра колодца и от водопроницаемости водоносного слоя. Производительность и расход мощности, затрачиваемой на подъем требуемого количества воды на данную высоту, доступны расчетам и могут быть предусмотрены с достаточной точностью. Значительно труднее определить заранее мощность, потребную для высасывания необходимого количества воды из водоносного песчаного или гравелистого слоя в колодец. Эта трудность вызывается неопределенностью в оценке водопроницаемости песка или гравия, через которые проходит вода.

70. Приток воды в колодец. На рис. 62 показан типичный разрез скважины на воду вертикальной плоскостью, проходящей через ее ось. Скважина пройдена в водоносном грунте, в котором передвижение грунтовой воды (не артезианская вода) происходит как свободная фильтрация. При постоянном непрерывном притоке воды в колодец расход $q = av$. Возьмем для примера вертикальный цилиндр с радиусом r' и высотою h'. Боковая поверхность такого цилиндра равна $2\pi r'h'$. По закону Дарси,

скорость течения в направлении к колодцу при коэффициенте водопроницаемости k выражается:

$$v = k\frac{dh}{dr}.$$

Поэтому приток воды к колодцу по радиальным направлениям равен

$$q = av = 2\pi r' h' k\frac{dh}{dr}.$$

Разделяя переменные и интегрируя это дифференциальное уравнение в пределах от r до R в горизонтальной плоскости и от h до H в вертикальной, получим

$$q = \frac{\pi k (H+h)(H-h)}{2{,}3 \log \frac{R}{r}}. \qquad (26)$$

Если понижение $H-h$, создаваемое работой насоса, невелико по сравнению с глубиной колодца H под горизонтом воды,

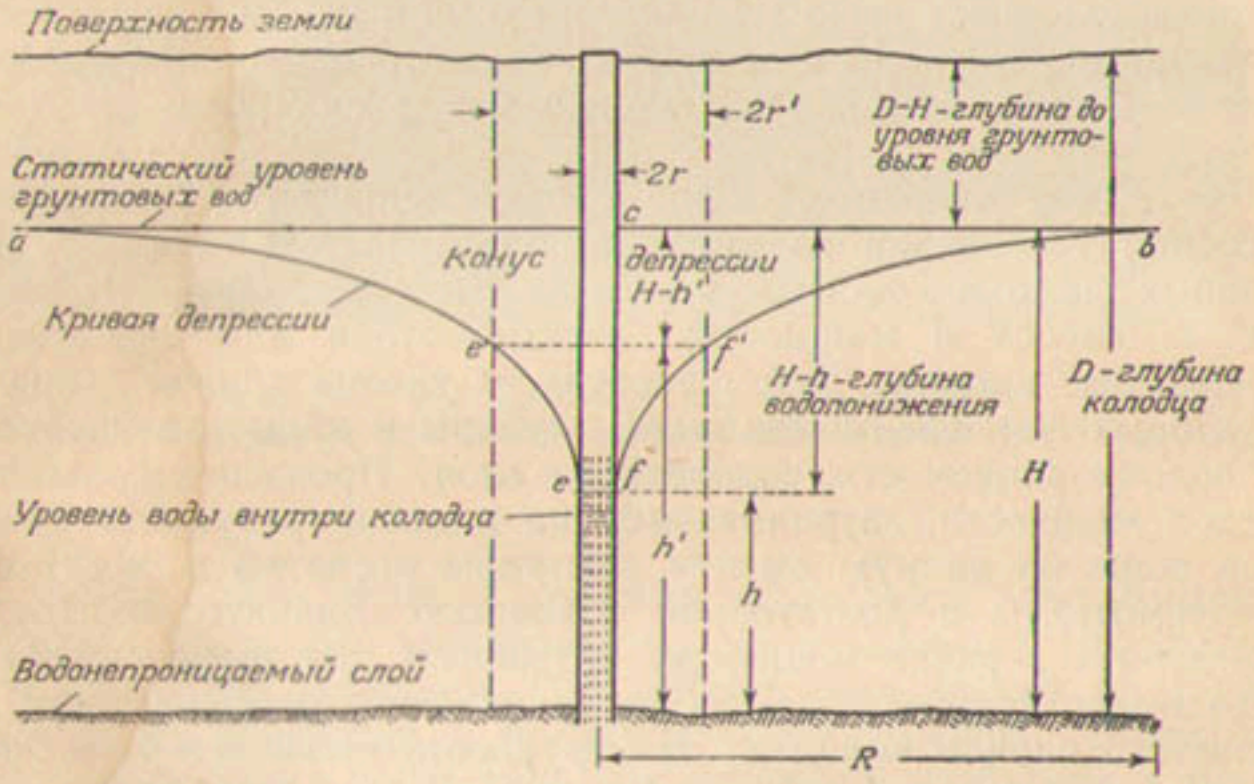


Рис. 62. Вертикальный разрез типового оросительного колодца в безнапорных грунтовых водах (масштаб не соблюден).

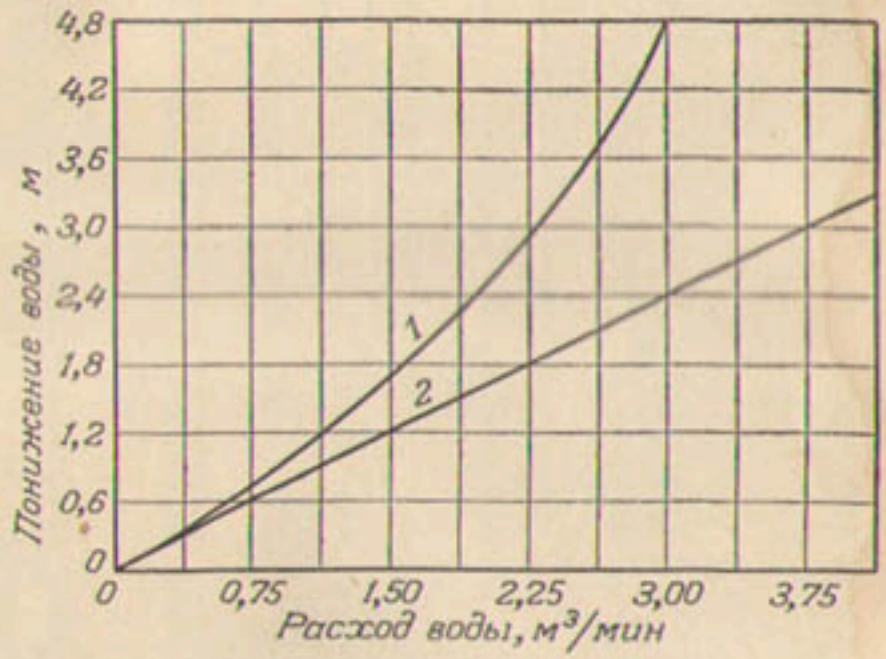
то $H+h$ равно приблизительно $2H$. Для этих условий уравнением (26) выражены два следующих важных основных положения:

1. Для любых величин понижения горизонта грунтовых вод в колодце и коэффициента водопроницаемости приток воды по существу прямо пропорционален эффективной глубине колодца, т. е. глубине H — ниже устойчивого (постоянного) уровня грунтовых вод.

2. Увеличение диаметра колодца оказывает малое влияние на дебит колодца, так как приток воды меняется пропорционально логарифму диаметра.

Чтобы указать на значение этих двух важных выводов, следует заметить, что при увеличении вдвое эффективной глубины 6-дюймового колодца дебит его увеличится вдвое (если только этому не помешает близость других колодцев). При удвоении же диаметра колодца дебит увеличивается только на 10%, а увеличение диаметра в четыре раза повысит дебит менее чем на 25%.

71. Зависимость между потреблением воды и уровнем воды в колодце. При подаче насосами воды из плотных «бесконечных»



Р и с. 63. Кривые зависимости дебита колодца от водопонижения для условий легких и тяжелых водоносных грунтов и в артезианских грунтовых водах.

1 — легкий водоносный грунт; *2* — тяжелый водоносный грунт или артезианские грунтовые воды.

по залеганию водоносных грунтов или из ограниченных по залеганию грунтовых вод артезианского происхождения расход воды прямо пропорционален величине снижения уровня воды в колодцы (как показано на рис. 63), если только это условие не нарушается выкачиванием воды из других соседних колодцев. В случае неглубоких «бесконечных» водоносных грунтов наблюдается уменьшение подачи воды по мере того, как снижается ее «уровень» в колодце. Это соотношение показано верхней кривой на рис. 63. При условии достаточно однородных водоносных грунтов — песка или гравия — вода обычно протекает к колодцу по радиальным путям через ряд концентрических цилиндрических

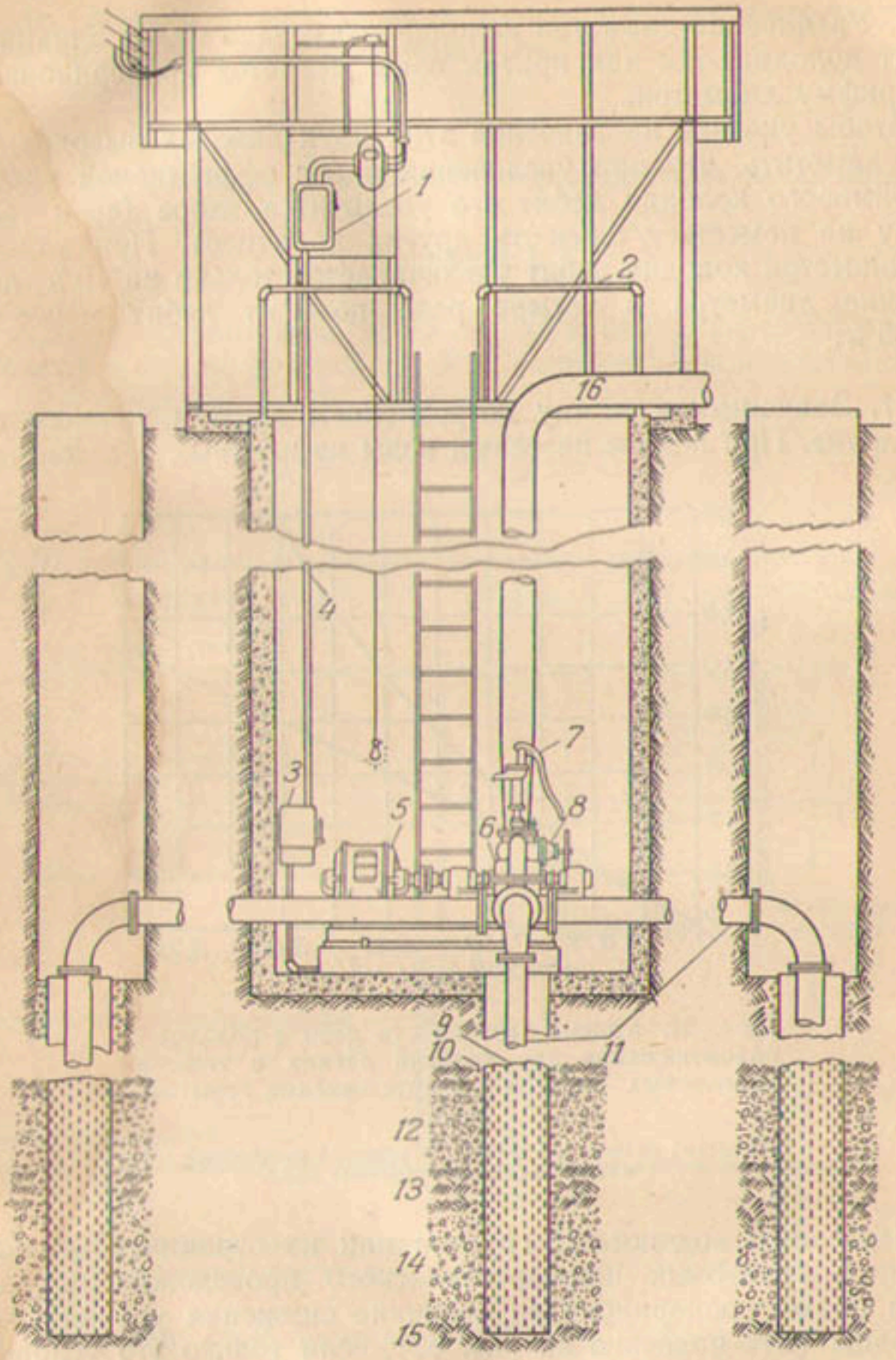


Рис. 64. Горизонтальный центробежный насос, установленный в шахте и непосредственно соединенный с электромотором; насос выкачивает воду одновременно из трех колодцев.

1 — предохранительный выключатель; *2* — перила; *3* — пусковой реостат электромотора; *4* — электропровода; *5* — электромотор; *6* — центробежный насос; *7* — помпа для зарядки насоса; *8* — задвижка; *9* — перфорированная обсадная труба; *10* — гравийная обсыпка; *11* — всасывающие трубы; *12* — песок, гравий и глина; *13* — глина; *14* — песок и гравий; *15* — кожух; *16* — нагнетательный трубопровод.

поверхностей, для которых колодец является вертикальной осью. Поэтому, чтобы иметь дебит колодца постоянным, скорость воды по мере приближения к колодцу должна возрастать, так как площадь поперечного сечения грунта, через которую проходит вода, непрерывно уменьшается. Следовательно, гидравлический уклон, т. е. движущая сила, действующая на единицу веса воды,

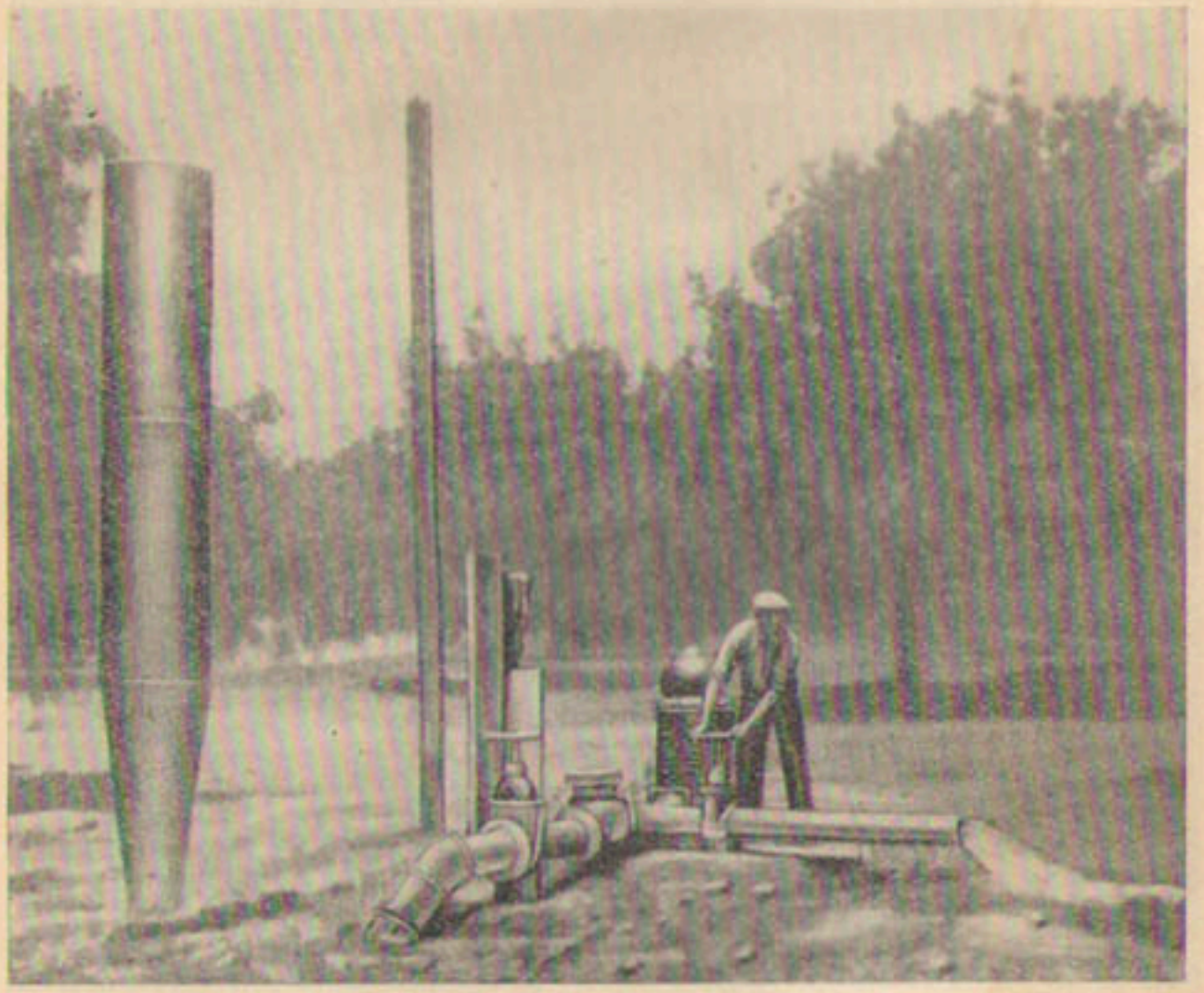


Рис. 65. Насосная установка в саду. Глубина колодца 170 *м*.

должна увеличиваться по мере приближения частиц воды к колодцу, а кривая понижения становиться круче. В случаях, когда производительность насоса превосходит дебит колодца, понижение $H - h$ становится чрезмерно большим в непосредственной близости к колодцу. Поэтому желательно, если окажется целесообразным, иметь колодцы большого, эффективного диаметра во избежание чрезмерного понижения уровня воды в них и чрезмерной затраты мощности, потребной для пополнения воды в колодце.

72. Группы колодцев. В тех местностях, где водопроницаемость слоев грунта невелика, иногда бывает выгодно подавать

воду насосом из двух или большего числа колодцев. Схема такой установки показана на рис. 64, где изображен горизонтальный насос, подающий воду одновременно из трех колодцев. Определение наиболее экономически выгодных расстояний между

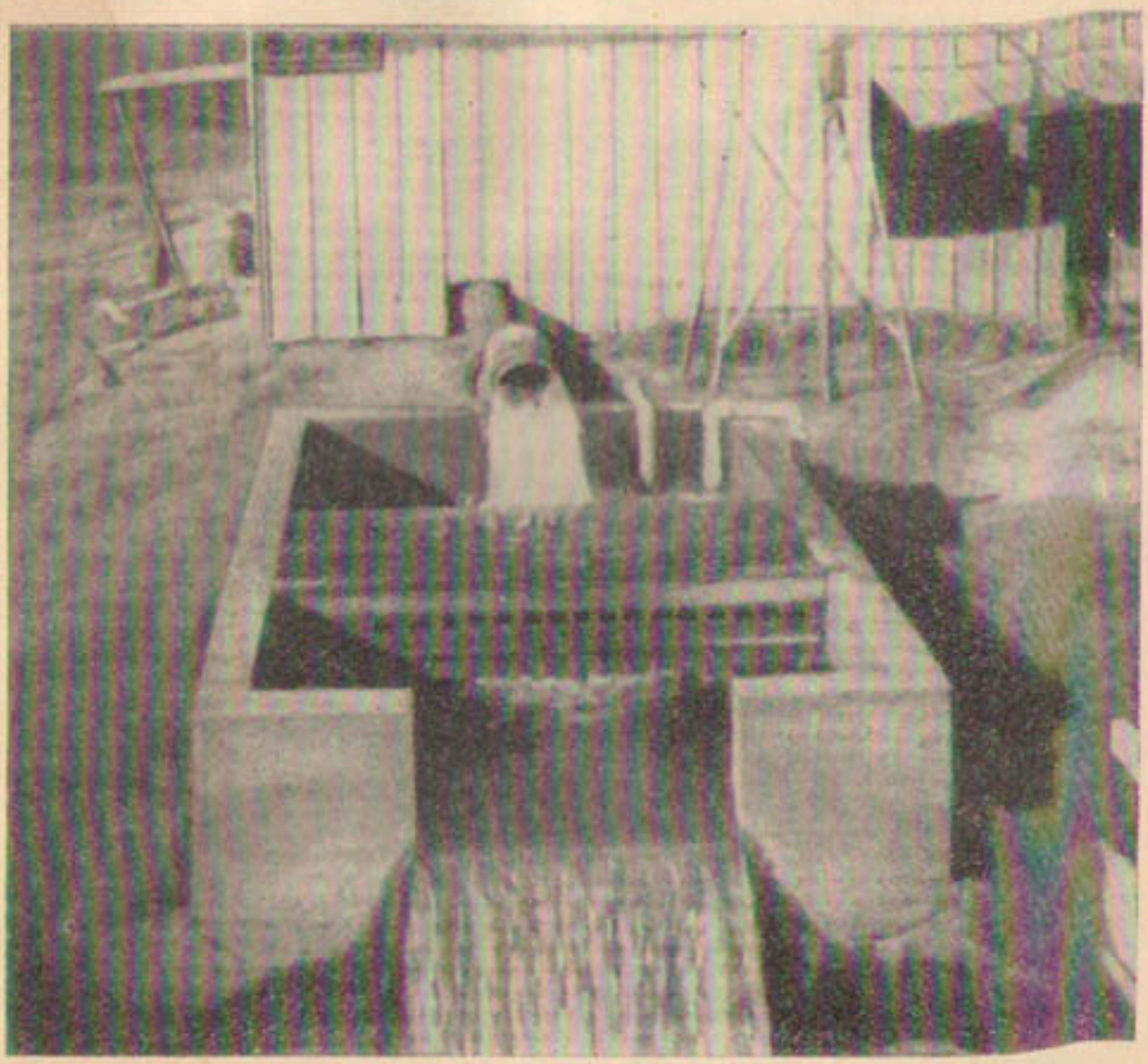


Рис. 66. Насосная установка. Вода поднимается насосом на *60 см* выше, чем нужно. Успокоительный бассейн с тремя перегородками, действующий весьма эффективно.

несколькими колодцами, вода из которых поднимается одним насосом, является задачей, подлежащей тщательному научному исследованию. Колодцы должны быть расположены на таком расстоянии один от другого, чтобы исключалось вредное влияние их взаимной близости.

73. Типичные оросительные колодцы. Рис. 65 дает представление о современном насосе, работающем от электромотора. Воду из колодца можно подавать насосом при открытой задвижке в канал вблизи колодца. По закрытии задвижки вода от насоса

поступает в бетонную трубу длиною 1300 *м* к верхнему краю сада.

Типичная насосная установка показана на рис. 66; вода здесь накачивается на 0,6 *м*, бóльшую высоту, чем требуется. В целях экономии средств воду следует подавать на уровне поверхности земли, но не выше. На рис. 66 можно также видеть типичные перемычки, служащие для уменьшения скорости воды, выбрасываемой насосом, перед тем, как вода поступит в необлицованный распределительный канал хозяйства.

Глава 6

СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ

Земельные участки могут орошаться следующими основными способами: а) поливом с затоплением всей поверхности участка; б) поливом по бороздам; в) подпочвенным орошением, при котором поверхность участка увлажняется мало или совсем не увлажняется; г) дождеванием с увлажнением всей поверхности, подобно тому, как это бывает при дожде.

Эти способы орошения имеют следующие способы полива:

а) Полив затоплением (напуском):
1) из полевых каналов;
2) по полосам, ограниченным по бокам валиками;
3) по площадкам или чекам;
4) по лункам.

б) Полив по бороздам:
1) по глубоким и широким бороздам, применяемым для полива пропашных культур, — картофеля, кукурузы, спаржи и в садоводстве;
2) по мелким бороздам, применяемым для зерновых культур, люцерны и сахарной свеклы.

в) Подпочвенное орошение:
1) регулируемое боковыми каналами, подводящими воду;
2) не регулируемое, с избыточным количеством воды, орошающей возвышенные места участка.

г) Дождевание:
1) системы с распределением воды по трубам;
2) системы с разбрызгиванием воды по кругу.

Способы орошения разные в различных районах США и в различных хозяйствах данной местности, что объясняется различием почв, рельефа, запасов воды, возделывания тех или иных культур, а также и обычаев. Фуражные культуры — люцерна, клевер, однолетние травы, убираемые на сено, а также пастбища — орошаются в некоторых местностях посредством мелких борозд. Способы орошения затоплением применимы для кормовых культур, напуском воды по полосам с валиками, в контурные канавы и для наполнения лунок. Пропашные культуры орошаются поливом по бороздам, а также поливом по полосам с валиками.

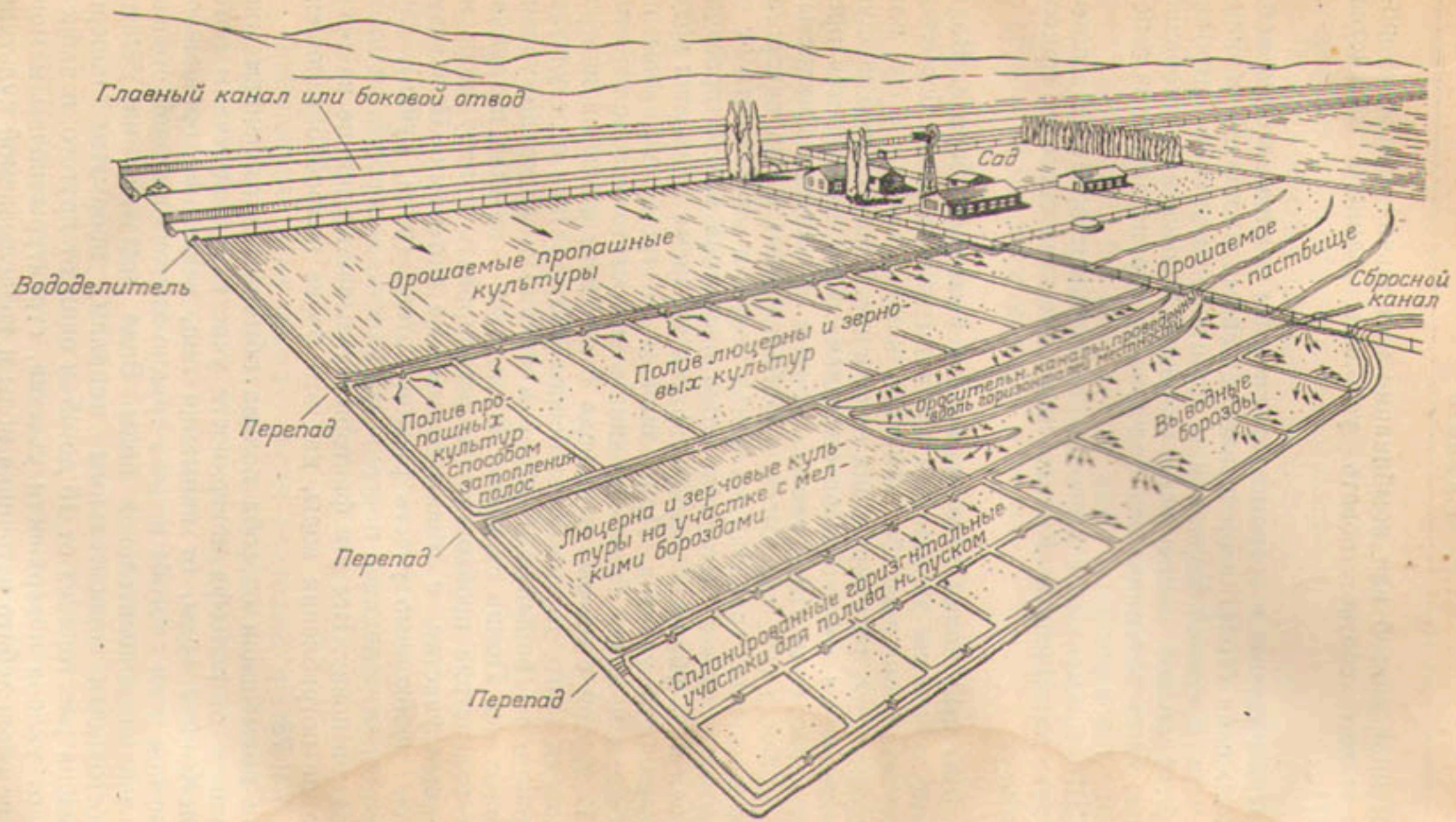


Рис. 67. Различные способы подачи оросительной воды на участки с возделываемыми культурами

Тот или иной способ или комбинация нескольких способов орошения может соответствовать условиям данного хозяйства (рис. 67).

74. Примитивные и современные способы полива затоплением. На протяжении столетий орошение обширных площадей равнинных земель в южной Европе и в Азии производилось затоплением. Этот способ нашел себе широкое применение, особенно в Египте; здесь затапливались большие пространства земли в периоды разливов рек.

В США применяются несколько усовершенствованных способов полива затоплением. Краткое описание этих способов приводится ниже.

75. Обычный полив затоплением из выводных борозд. Вода может поступать на орошаемые площади из выводных борозд и при отсутствии каких-либо валиков, направляющих воду, или других устройств, регулирующих ее течение. Такой способ подачи воды называется «обычным затоплением». Оно применяется преимущественно в штатах, расположенных в области Скалистых гор, и особенно там, где имеется изобилие воды и она недорога.

При некоторых способах орошения почва, в зависимости от ее влагоемкости, может быть полностью насыщена водой, просачивающейся на глубину нескольких футов за время движения воды по поверхности участка. При слишком быстром токе воды по поверхности в почву будет проникать недостаточное количество воды. С другой стороны, если вода будет держаться на поверхности очень долго, то она будет бесполезно теряться в результате фильтрации на большую глубину в гравий и даже до уровня грунтовых вод. Полив способом затопления — важная и трудная задача вследствие необходимости регулировать подачу воды на орошаемые участки, с минимальными ее потерями. Преследуя эту цель, необходимо учесть расход потока (реки, ручья), глубину воды, затопляющей поверхность участка, скорость фильтрации воды в почву. Все эти факторы оказывают влияние на регулирование потребления воды, как это более подробно изложено в пп. 77 и 78.

При применении способа полива обычным затоплением многое зависит от рельефа поверхности участка, от величины потока — источника воды, от внимания лиц, ведающих орошением. Все же при этом способе полива трудно достичь высокой степени использования оросительной воды. Вода поступает на участок по постоянным оросительным каналам, прорытым поперек участка на расстояниях от 15 до 45 *м* один от другого, в зависимости от уклона поверхности участка, структуры почвы и мощности ее слоя, дебита источника воды и возделываемой культуры.

Подобными же соображениями определяется расстояние между бороздами, ответвленными от постоянных оросительных каналов, прорытыми по наиболее крутым уклонам.

Полив способом обычного затопления с успехом применяется в случаях участков с настолько неровной поверхностью, что пользование другими способами невозможно. Тем не менее даже и при других способах полива обычное затопление применяется часто ввиду незначительной стоимости подготовки поля к поливу. Повышенные расходы на рабочую силу, связанные с поливом этим способом, и большие потери воды вследствие ее стока с поверхности и фильтрации на большую глубину, обычно компенсируются несомненно меньшими первоначальными затратами по подготовке поверхности земли к поливу.

76. Полив напуском по полосам. Обрабатываемая земля данного хозяйства делится на полосы, преимущественно шириной от 9 до 18 *м* и длиной от 100 до 400 *м;* такие полосы отделяются одна от другой валиками. Из подводящих каналов воду направляют на длинные участки (полосы), ограниченные валиками. По мере продвижения воды от верхнего края полосы к нижнему происходит увлажнение почвы.

На рис. 68А показан участок земли одного государственного хозяйства в Калифорнии до подготовки его к орошению. По горизонталям плана видно, что наиболее возвышенные части поверхности находятся у северной границы западной части хозяйства. Подготавливая землю для орошения способом полива по полосам, сельскохозяйственные инженеры разделили всю поверхность на три части. Как показано на рис. 68В ширина каждого длинного участка (полосы) — 12 *м;* длина (в пределах двух западных частей) — 145 *м*. В восточной части участка длина полос различна по причине неравномерного расположения водосборных каналов; здесь длина полос в пределах от 45 до 150 *м*. При орошении обеих западных частей вода течет с севера к югу, а в восточной части — в двух направлениях, как это видно по положению валиков и как указано малыми стрелками.

Поверхность полос между двумя валиками настолько ровна, что текущая вода покрывает всю ширину полосы. Однако в продольном направлении полос уклон их поверхности меняется в соответствии с естественным уклоном всего участка. Желательно, хотя и не обязательно, чтобы продольный уклон поверхности между валиками был однообразен в пределах каждой полосы. Уклон полосы 0,002—0,004 считается наилучшим. Однако можно допустить и столь малые уклоны, как 0,001, и столь большие, как 0,075, если окажется невыгодным создание более приемлемых уклонов. При больших уклонах необходимы специальные

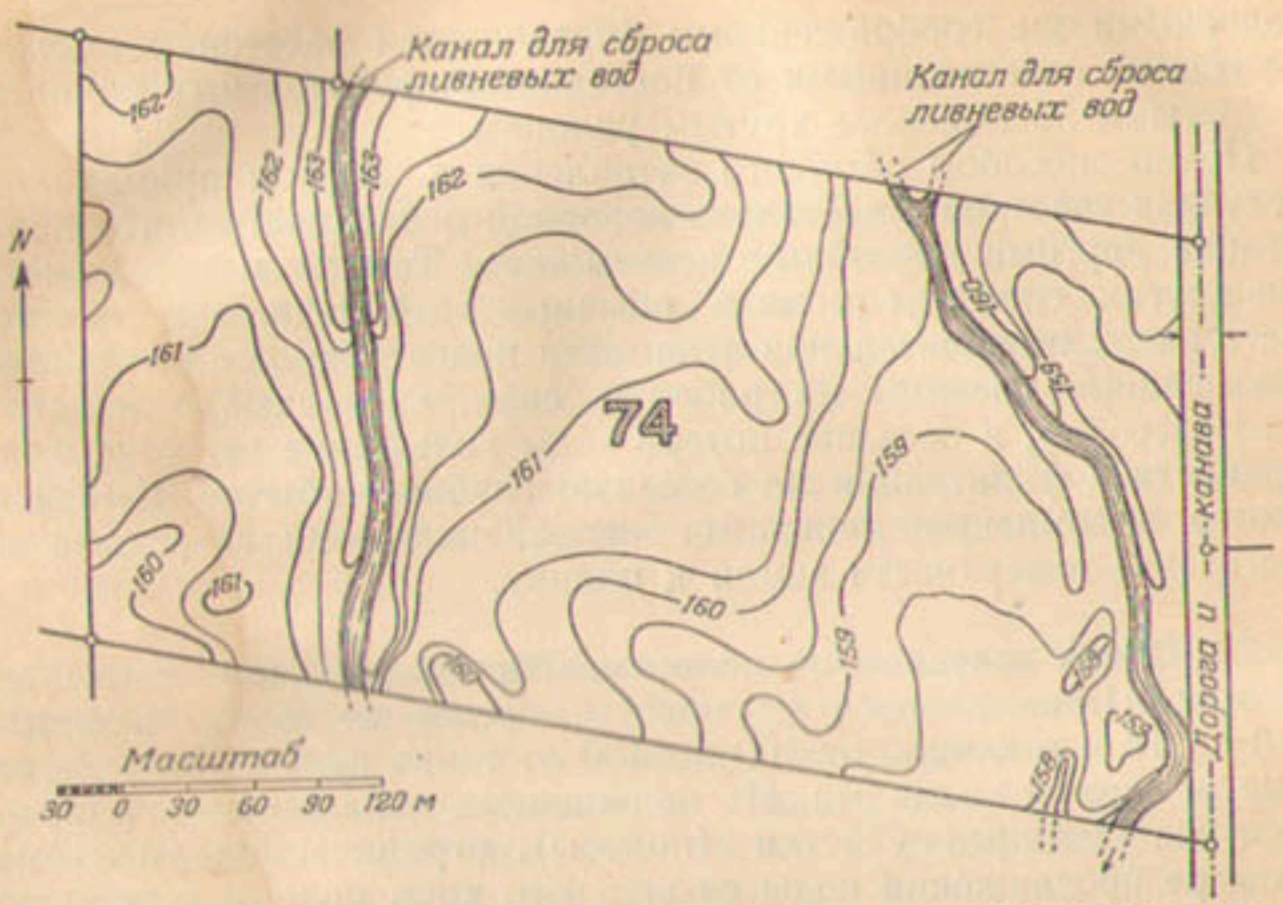


Рис. 68А. План фермерского участка с показанием рельефа горизонталями.

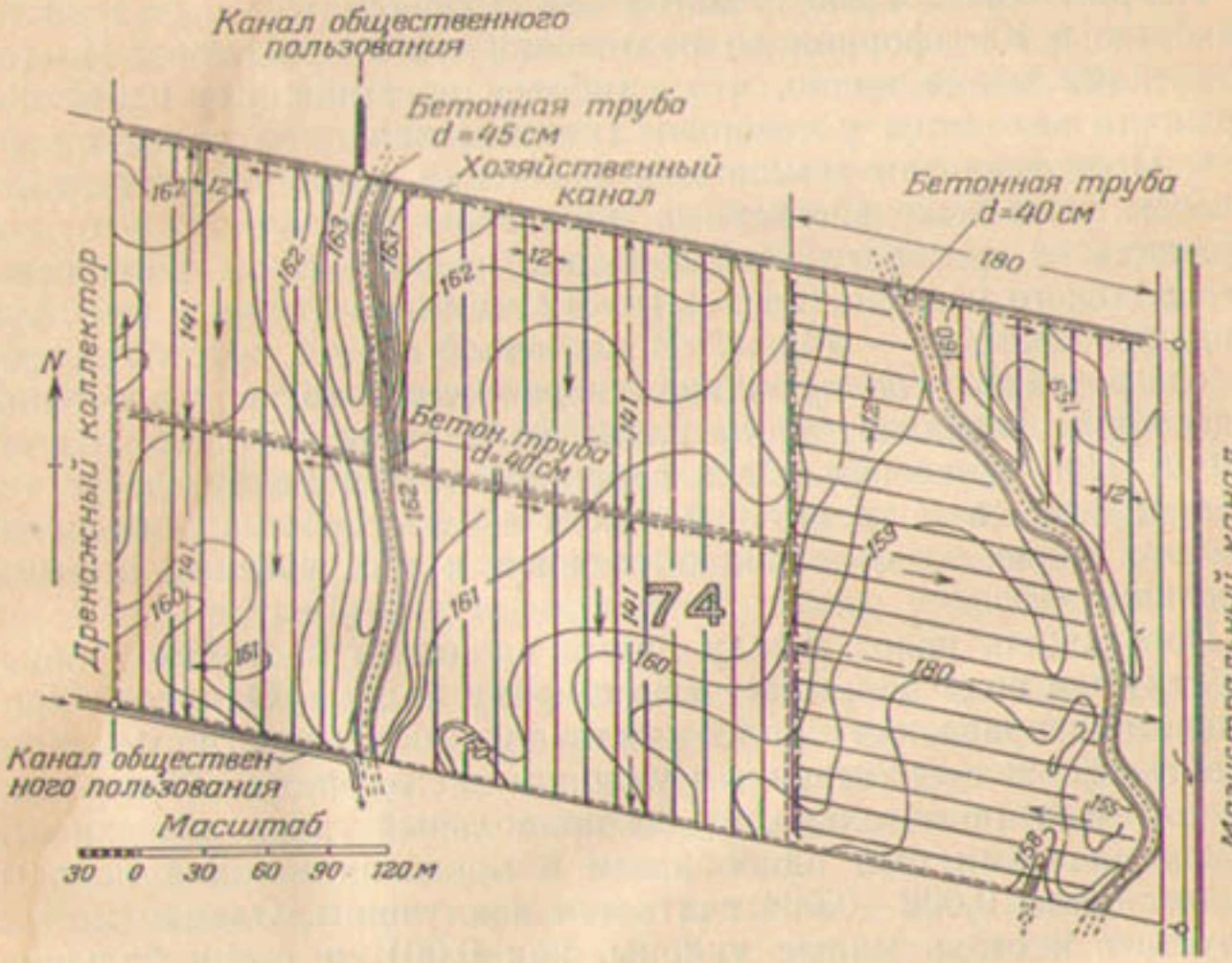
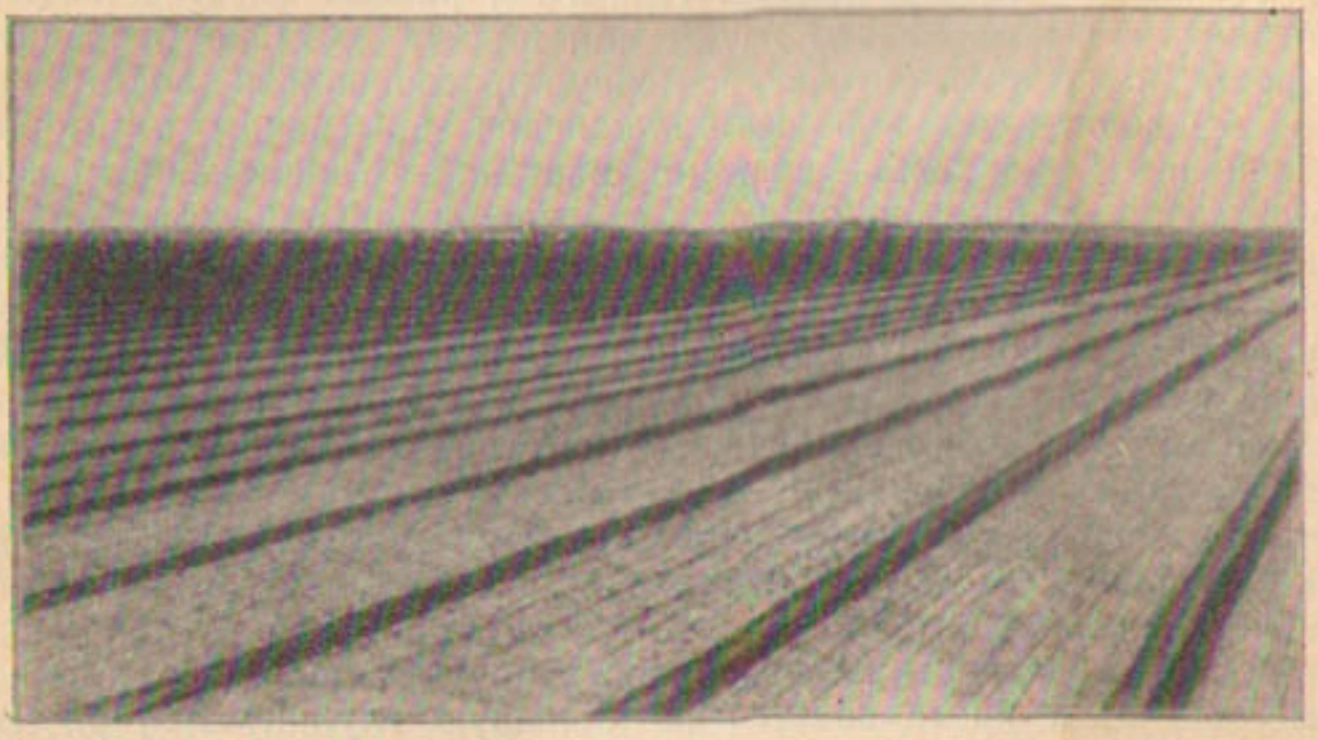


Рис. 68В. План расположения полос, ограниченных по сторонам валиками, и каналы для подачи воды.

мероприятия для предупреждения размыва почвы быстро текущей водой.

Количество воды, подводимой на одну полосу, колеблется в пределах от 14 до 280 *л* в зависимости от рода почвы, величины ограничивающих валиков и от характера возделываемой культуры.

Ввиду относительно высокой стоимости подготовки участков к поливу описанным способом, желательно запланировать положение валиков и полос так, чтобы можно было орошать различные фуражные и зерновые культуры при помощи одних и тех же



Р и с. 69. Валики, ограничивающие поливные полосы (сняты вскоре после поделки).

валиков. Культуры, поливаемые посредством борозд — сахарная свекла, картофель, кукуруза, можно возделывать на земле, где ранее производился полив фуражных культур напуском воды по полосам, ограниченным по бокам валиками. Если почвенные условия благоприятны для передвижения воды в почве в стороны под низкие широкие валики, то можно допустить возделывание культур и на самих валиках. Однако трудно прокладывать достаточно хорошо борозды на валиках и удерживать в них воду.

Способ полива напуском воды по полосам, ограниченным валиками, применяется на участках с почвами, значительно отличающихся между собой по механическому составу. Но все же важно предварительное изучение физических свойств данной почвы еще до начала подготовки поля к орошению описанным способом. Подпочвы маловодопроницаемые, выше которых находятся плотные суглинки, допускают орошение длинных полос,

в то же время легкие почвы с пористой гравийной подпочвой вызывают необходимость применения коротких полос. У верхнего края каждой поливной полосы устанавливается щит в канале, подающем воду, что позволяет удобно направлять на поверхность полосы или отводить воду от полосы. В гл. 7 на рисунках показаны машины и инвентарь, работающие от двигателей и предназначенные для устройства валиков, необходимых для полива по полосам. На рис. 69 показаны только что поделанные валики в хозяйстве Гувера (штат Калифорния).

77. Интенсивность полива. Применяя разные способы полива затоплением поверхности почвы или подачу воды по бороздам, стремятся к тому, чтобы в почву просачивалось достаточно воды и достигалось хорошее увлажнение зоны почвы, в которой развивается корневая система растений. Увлажнение почвы должно происходить в процессе движения воды по поверхности почвы. Застой воды на поверхности в виде гарантии достаточного просачивания воды в почву, как правило, недопустим ни при пользовании способами затопления, ни при поливе по бороздам. Поэтому желательно, чтобы поливной ток, отнесенный к единице площади участка, изменялся в соответствии со скоростью проникновения воды в почву.

При большом размере тока (струи), приходящегося на единицу площади почв с малой водопроницаемостью, имеет место значительный сток с поверхности. С другой стороны, при недостаточном токе воды на поверхность почвы с высокой проницаемостью вода просачивается на большую глубину и теряется. Соотношение между величиной тока воды, поступающей на данный участок, площадью поливаемого участка и временем, в течение которого производится полив, легко выражается простым уравнением.

Примем

A_r — площадь в гектарах, увлажненная в течение одного прохода воды при поливе по полосам или чекам;

q — поливной ток воды в *л/сек*, направленный на одну полосу или один чек;

R — интенсивность полива током, выраженным в *л/сек* на гектар и отнесенным к площади A_r, которая увлажняется в один проход воды.

Тогда интенсивность полива R определится как отношение q к A_r, т. е.

$$R = \frac{q}{A_r}. \qquad (27)$$

Из нижеприведенных цифр видна связь между интенсивностью полива R и средней толщиной слоя воды d, необходимой

для покрытия поверхности полосы площадью 1 акр (по длине полосы) с уклоном 0,003 в долине реки Сакраменто (Калифорния): с увеличением интенсивности полива R уменьшается необходимая толщина слоя воды d.

Интенсивность полива R	Требуемая толщина слоя воды d, *см*
4,6	84
10,1	57
13,5	35
15,3	26
17,8	21

78. Анализ времени, потребного для покрытия водой данной площади. Представим себе полосу, ограниченную по сторонам валиками, или какой-либо другой участок, орошаемые напуском воды на поверхность тонким слоем. Вода движется с наибольшей скоростью в начале ее поступления на орошаемый участок, но уже скоро часть воды начинает затрачиваться на фильтрацию вглубь почвы. Таким образом, количество воды, текущей по сухой поверхности участка, будет все время уменьшаться. Если известны количество воды, поступающей на участок (величина тока), глубина ее слоя и скорость проникновения в почву и если эти величины достаточно постоянны, то можно приблизительно вычислить время, необходимое для покрытия водой данной площади.

Читателю, знакомому с расчетами, будет понятен нижеприведенный анализ. Другие читатели найдут интересным выведенное в результате анализа уравнение (28), не вникая в суть рассуждений, приводящих к этому уравнению.

Примем

A — площадь в гектарах, покрытая водой в течение любого времени после пуска воды на участок, как это показано на рис. 70;
I — скорость просачивания воды в почву на увлажняемой площади, в дюймах в час;
q — количество воды, поданной на участок, в куб. фут/сек;
t — время в часах, прошедшее от момента пуска воды на участок;
y — средняя глубина слоя воды, покрывающей участок во время его полива, в дюймах.

Объем воды, поступающей на полосу, ограниченную по сторонам валиками, или на любой другой участок в течение данного короткого промежутка времени, например 1 минуты, используется двумя путями: часть воды течет вдоль участка, покрывая поверхность впереди, и другая часть ее просачивается в почву.

Объем воды, поступающей на полосу в течение dt секунд равен qdt. Объем воды, протекающей к поверхности участка и увлажняющей ее, равен ydA. Объем воды, просачивающейся в

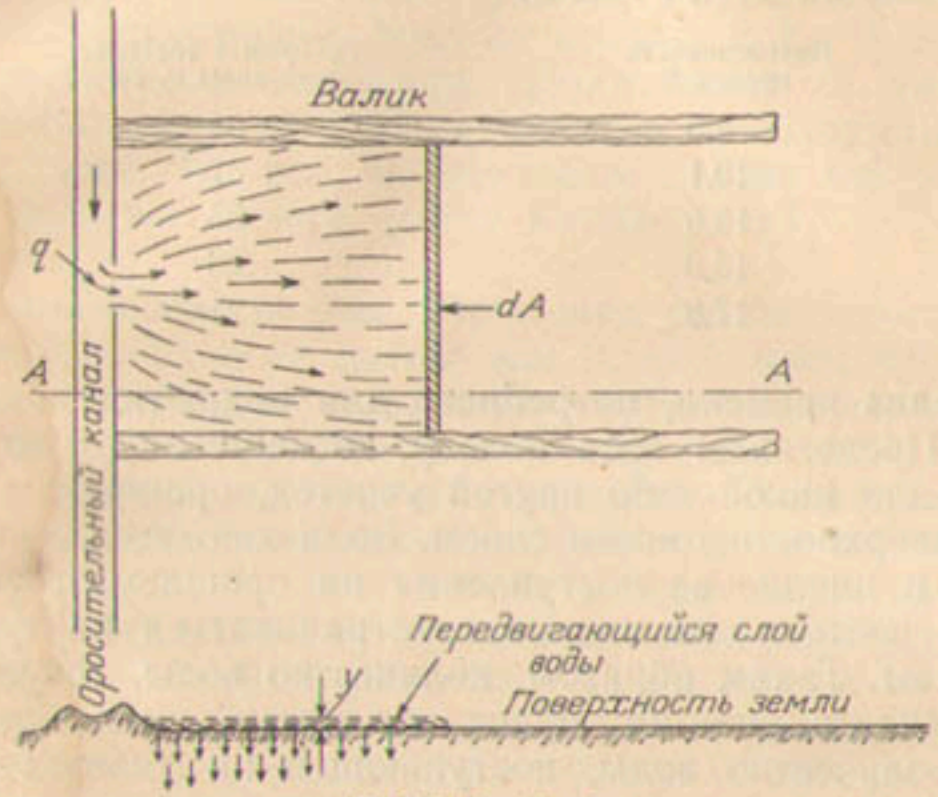


Рис. 70. Схема подачи оросительной воды на полосу. Показано продвижение воды на бесконечно малую площадку dA в бесконечно малое время dt, а также фильтрация воды в почву в верхней части полосы.

почву за время dt, равен $IAdt$. Так как вода в течение бесконечно малого времени dt продвигается по площадке dA и проникает в почву на площади A со скоростью I, то, следовательно,

$$q\,dt = y\,dA + IA\,dt$$

и

$$dt = \frac{y\,dA}{q - IA}.$$

Интегрируя и переходя от натуральных логарифмов к обычной системе логарифмов, считая y и I постоянными, получаем в результате решения уравнения

$$t = 2{,}303\,\frac{y}{I}\log\frac{q}{q - IA}. \qquad (28)$$

Скорость просачивания воды I не строго постоянна. Она постепенно несколько изменяется в данном месте участка, а для данного промежутка времени она меняется в зависимости от места, выбранного на участке. Скорость I также может несколько

меняться в связи с изменением глубины y, однако величина I изменяется незначительно. Чтобы показать применение уравнения (28), допустим, что I и y постоянны. Пусть $A = 0{,}5$ акра; $I = 2{,}0$ дюйм/час; $q = 1{,}5$ куб. фут/сек; $y = 2{,}5$ дюйма. Тогда

$$t = 2{,}303 \cdot \frac{2{,}5}{2{,}0} \cdot \log \frac{1{,}5}{(1{,}5 - 2{,}0 \cdot 0{,}5)} = 1{,}37 \text{ часа}.$$

Если увеличить площадь до 0,7 акра, а все остальные факторы оставить без изменения, то потребуется почти 3,4 часа для покрытия водой полосы. В течение этого времени средняя глубина слоя воды, покрывшей полосу, будет равна 7,2 дюйма. При площади, большей 0,7 акра, время и глубина слоев воды увеличиваются быстро, а наибольшая площадь, которая может быть покрыта водой при наличии указанных выше условий, была бы равна 0,75 акра.

Некоторые авторитеты в области орошения предпочитают непосредственное определение площади, которая может быть увлажнена данным поливным током в течение любого периода времени. Для более длительных периодов времени непосредственное определение величины площади поливаемого участка имеет свои преимущества. Ниже приведено такое вычисление.

Решая уравнение (28) относительно площади A, можно упростить пользование этим уравнением. Например, пусть

$$x = \frac{It}{2{,}303y}.$$

Тогда

$$A = \frac{(10^x - 1)\, q}{10^x I}. \qquad (29)$$

Примем

$q = 2{,}28$ куб. фут/сек, $t = 2$ часа,
$I = 4{,}0$ дюйм/час, $y = 2$ дюйма.

Тогда

$$x = \frac{4{,}0 \cdot 2}{2{,}3 \cdot 2} = 1{,}739$$

и

$$A = \left(\frac{10^{1.739} - 1}{10^{1.739}}\right) \cdot \frac{2{,}28}{4{,}00} = \frac{54{,}8 - 1}{54{,}8} \cdot \frac{2{,}28}{4{,}00} = 0{,}55 \text{ акра},$$

Если пренебречь единицей в числителе, то

$$A = \frac{q}{I} = \frac{2{,}28}{4{,}00} = 0{,}57 \text{ акра},$$

что больше предыдущей величины A только на 0,02 акра, т. е. менее чем на 4%. Глубина воды, текущей по участку, — наиболее постоянная величина из всех, влияющих на значение показателя x. Поэтому с увеличением произведения $I \cdot t$ увеличивается

и показатель степени x, что соответствует поглощению почвой всего количества воды, поступающей на орошаемую площадь. Написав уравнение (29) в последнем упрощенном виде

$$A = \frac{q}{I}, \tag{29а}$$

допускают только небольшую ошибку.

Пока еще нет достаточных опытных данных, позволяющих определить скорость и пределы изменений для I и y по времени. Эти переменные были тщательно изучены Луисом и Мильном.



Рис. 71. Зависимость пути, пройденного водой при переменной и постоянной скоростях фильтрации, от времени.

Их доклад — анализ способа полива затоплением полос, ограниченных валиками, опубликованный в 1938 г., — содержит большое число уравнений и графического материала, которые представляют ценность для читателей, глубоко интересующихся вопросом. Кривые на рис. 71, заимствованные из их доклада, показывают соотношения, полученные в результате вычислений между продолжительностью полива и расстоянием при различных глубинах и скорости фильтрации воды, а также при постоянных глубине и коэффициенте фильтрации.

Пока не будут получены дополнительные данные, подобные данным Луиса и Мильна, уравнения (28), (29) и (29а) будут представлять ценность, показывая, как изменяется время, требуемое для покрытия водой площадей разной величины. Для точных результатов величины I и y, рассматриваемые в дифференциальном уравнении как постоянные, должны считаться переменными и быть тщательно измерены.

79. Опыты определения времени, потребного для покрытия водой различных площадей. Полевые опыты, преследовавшие указанную цель, были проведены в долине реки Снейк Ривер

в штате Айдахо (США). Для первого опыта была выбрана полоса под клевером, ограниченная по сторонам валиками, шириною 15 *м* и длиной 720 *м*. Полоса была разделена на семь частей, по 103 *м* длиною каждая и площадью по 0,155 *га*. К верхнему краю этой полосы был направлен ток воды 64,5 *л/сек*. Полоса площадью 1,08 *га* была покрыта водой в течение 23,7 часа. Скорость покрытия водой уменьшилась с 15 до 2 *см/час* при увеличении площади от 0,155 до 1,08 *га*. Уменьшение скорости вызывало увеличение средней глубины слоя воды от 20 *см* до 50 *см*. Опыты показали, что скорость продвижения воды, превышая 15 *см/час*, соответствует в большей степени существующим условиям, так как глубина 20 *см*, пожалуй, велика для одного полива. Несомненно, что было потеряно три четверти и даже большее количество воды, поступившей на полосу в виде потока глубиной 50 *см* в результате фильтрации воды на значительную глубину.

По сообщению Барка, второй опыт был проведен на полосе под люцерной вблизи Ригби штата Айдахо. Ширина полосы была 28 *м*, длина 780 *м*. Эта полоса была разделена на семь частей длиною 100 *м* каждая, а также имелась одна более короткая часть длиною около 85 *м* у нижнего конца полосы, на которую был направлен постоянный ток в 200 *л/сек* до тех пор, пока почва полосы полностью не была полита.

Если бы указанная выше столь длинная полоса была разделена на три части, длиною каждая по 260 *м*, путем прорытия двух дополнительных поперечных каналов, то всю полосу можно было бы полить значительно скорее. Поток глубиною в 18,5 *см*, направленный на верхнюю часть полосы, несомненно, оказался бы совершенно достаточным для полива полосы по всей ее длине.

На основании результатов опытов построена кривая (рис. 72), показывающая соотношение между длиной увлажненной полосы и площадью, покрытой током в 64,5 *л/сек*, с одной стороны, и потребным для этого временем — с другой. Кривая является типичной. Рассматривая ее, можно видеть, что наибольшая скорость движения воды наблюдается в начале напуска, а наименьшая — в конце полосы. Например, в течение первых двух часов вода продвинулась на расстояние около 150 *м*, а в последние два часа — приблизительно только на 23 *м*.

Однако если допустить постоянство скорости просачивания в почву I и постоянство глубины слоя воды y, то характер кривых, построенных по уравнению (28) и показывающих соотношение между увлажненной площадью и затраченным временем, несколько разнится от характера кривой на рис. 72 (первые кривые здесь не показаны).

Экспериментальные данные, полученные для полос, засеянных клевером, были проанализированы с целью определения скорости

просачивания воды в почву. Пользуясь уравнением (29а) при $q = 64{,}5$ *л/сек* и значениях A и t, определенных по кривой рис. 72,

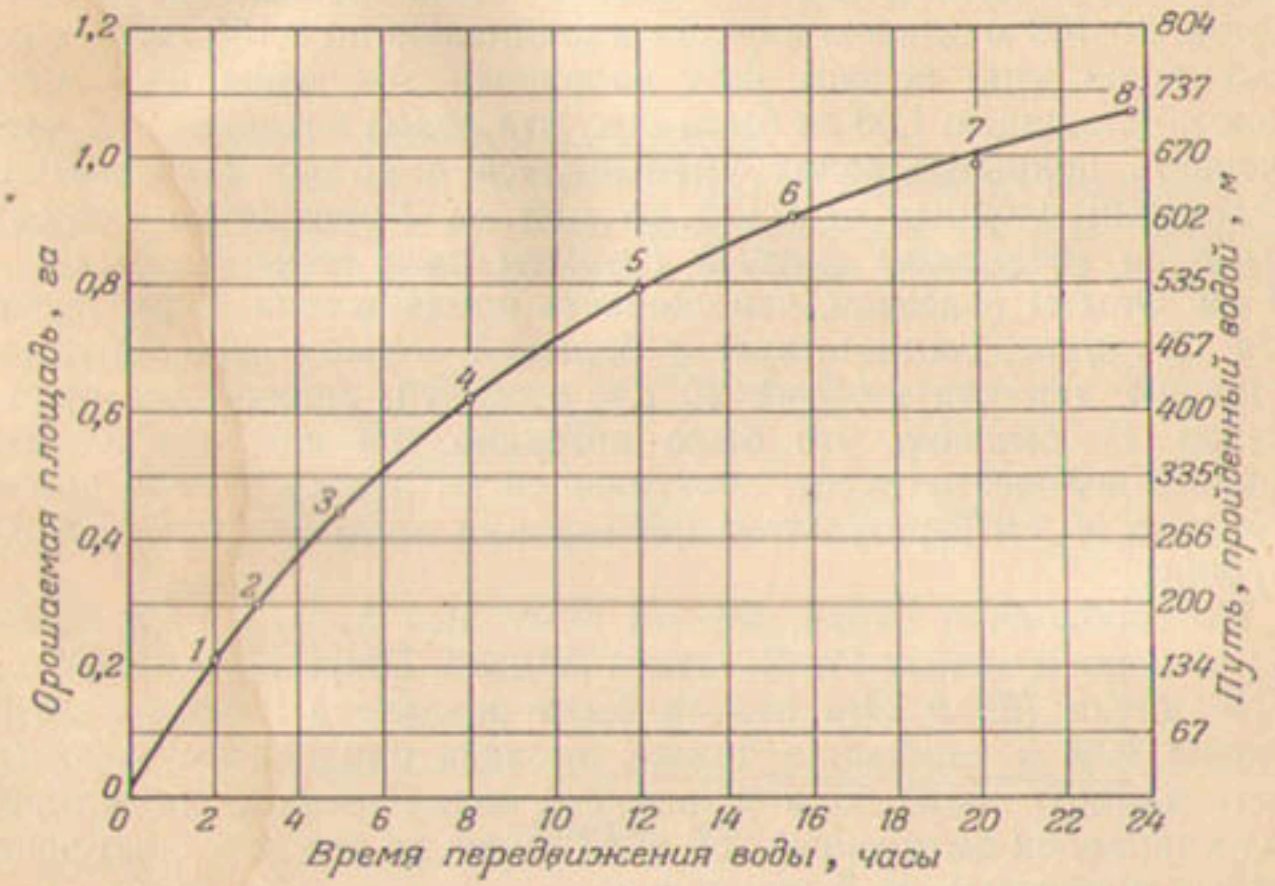


Рис. 72. Зависимость пути, пройденного водой, от времени ее передвижения по полосе шириной 15 *м* при постоянном расходе 64,5 *л/сек*.

можно вычислить величину I и найти, что для $t = 2$ час. I равно 10 *см/час*, а для $t = 23{,}7$ часа I снижается до 2,2 *см/час*.

Таблица 5

Зависимость между длиной увлажненной полосы, площадью, покрытой водой, длительностью полива и скоростью инфильтрации на участке, засеянном клевером

Длина увлажненной полосы, *м*	Увлажненная площадь, *га*	Длительность поливов, часы	Скорость инфильтрации, *см/час*	Количество воды, просачивающейся в почву, *л/сек*
135	0,22	2	10,0	62,3
205	0,30	3	7,5	63,7
308	0,45	5	5,0	63,9
360	0,54	8	4,3	64,5
536	0,80	12	2,8	64,5
600	0,91	15,5	2,5	63,9
670	1,01	20	2,3	64,3
720	1,08	23,7	2,0	64,5

В табл. 5 показаны величины увлажняемых площадей, скорость фильтрации и количество воды, просочившейся в грунт в различное время. Из цифр последней графы таблицы видно, что через два часа после того, как вода током 64,5 *л/сек* была пущена на полосу, после прохода водой площади 0,22 *га* на полосе текло только 2,26 *л/сек*. Из этого следует, что при средней глубине потока в 21 *см* уже 96,5% расхода потока просочилось в землю, и только 3,5% расхода воды продолжало течь по сухой земле. Более того, после первых трех часов полива, когда были

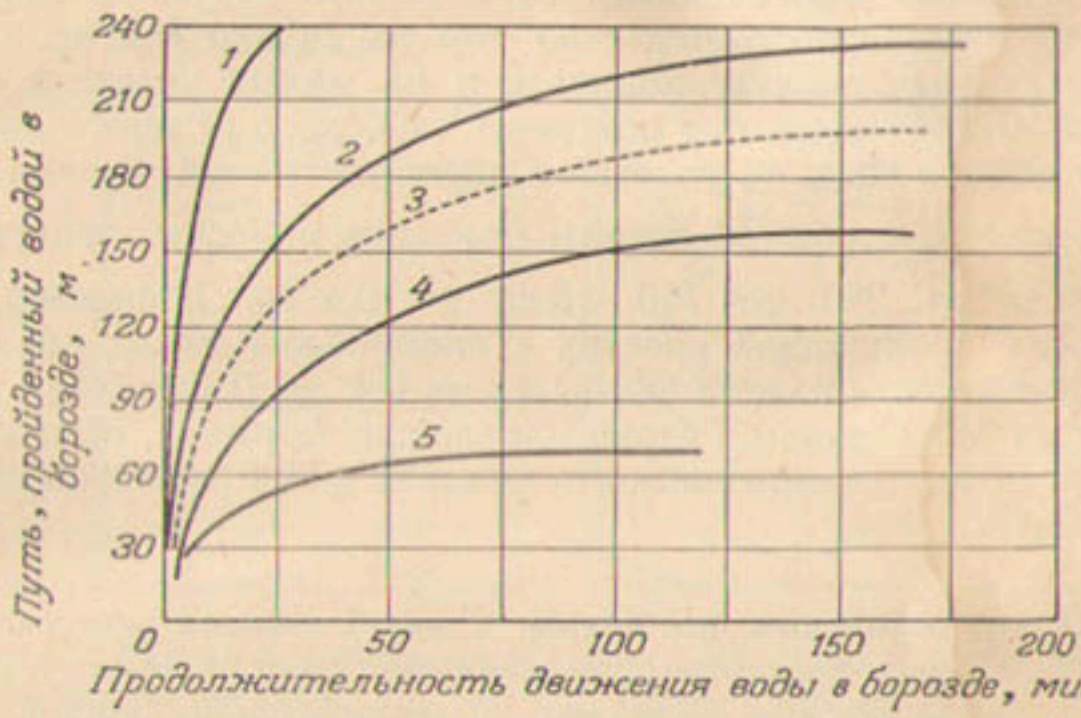


Рис. 73. Скорость передвижения воды при различных ее расходах на некоторой типичной почве при постоянном уклоне борозды.

увлажнены только 36% площади полосы, ничтожное количество воды в 0,08 *л/сек* продолжало бы течь по неувлажненной почве при условии, что скорость фильтрации оставалась бы постоянной. Таким образом, в течение более 20 час. продвижение воды по поверхности полосы зависело от уменьшения с течением времени скорости фильтрации.

Вопрос о скорости движения потоков воды, различных по величине, изучался Криддлем. Кривые на рис. 73 показывают скорости потока для типовых почв при постоянном уклоне борозд, в которых во время опытов текла вода.

Так, например, показано, что ток с расходом 7,5 *л/мин* в одной борозде после первых 25 мин. стал продвигаться очень медленно. За 100 мин. такой ток продвинулся приблизительно на 68 *м*, после чего был полностью поглощен почвой в борозде длиной 68 *м* футов. Криддль совершенно основательно подчеркивает важность борьбы с размывом почвы. Потери воды из-за

чрезмерного просачивания, как следствие малых скоростей продвижения воды, менее серьезны для многих хозяйств, чем размыв почвы большими токами вследствие значительных уклонов. Максимально допустимой величиной тока в борозде являлось 19 *л/мин*, что эквивалентно току воды по 90 бороздам с расходом 28,3 *л/сек*, прошедшей путь в 190 *м* в течение 2 час. Для почв, на которых экспериментировал Кридль, недопустимы борозды длиной более 68 *м* при токах воды 7,5 *л/мин* и менее, так как в противном случае будут иметь место чрезмерно большие потери воды вследствие глубокого просачивания ее в почву. Другими опытами подтверждается то обстоятельство, что на сильно водопроницаемых почвах воду следует подавать и на малых участках большими токами во избежание потерь от глубокого ее просачивания. Система подачи воды на участки с пористой почвой должна быть рассчитана так, чтобы обеспечить высокую скорость полива $\left(\frac{q}{A}\right)$ в пределах от 280 до 700 *л/сек* на 0,4 *га*. Например, ток в 112 *л/сек*, орошающий участок с площадью 0,08 *га*, обеспечивает интенсивность полива 560 *л/сек* на 0,4 *га*. Для полива полос с валиками по сторонам Гудрич предложил формулу, основанную на результатах математического анализа и на экспериментальных данных.

80. Полив напуском по чекам. Способ полива напуском по чекам состоит в подведении сравнительно больших токов воды на площади, ограниченные валиками, с относительно ровной горизонтальной поверхностью. На рис. 74А показана схема этого способа полива, особенно пригодного для орошения сильно водопроницаемых почв. Поля с такими почвами следует затопять быстро во избежание чрезмерных потерь уже вблизи каналов, подводящих воду.

Но тот же способ пригоден и для тяжелых почв, когда вода просачивается настолько медленно, что почва не в состоянии достаточно увлажниться за время движения воды по ее поверхности. Это и вызывает необходимость задержания воды на поверхности участка в течение времени, в которое она могла бы просочиться на достаточную глубину в почву.

Площадки подготовляются иногда путем устройства валиков по горизонталям, причем разница по высоте положения площадок составляет от 6 до 12 *см*. Валики, ограничивающие смежные площадки, соединяются в соответствующих местах поперечными валиками. Такие площадки называются контурными. Они образуются путем сооружения продольных валиков, прямолинейные части которых приблизительно параллельны соответствующим горизонталям. Продольные валики соединяются в необходимых местах поперечными валиками, как это показано на рис. 74В.

Способ полива напуском в его применении для полива зерновых и фуражных культур выгоден в тех районах, где могут быть использованы для орошения большие токи, а также в случае оросительных предприятий, забирающих воду непосредственно из рек с резко колеблющимся расходом воды. В штатах Аризона, Нью Мексико, Невада вследствие летних проливных дождей реки и ручьи внезапно вздуваются. Избыток воды в этих случаях следует быстро направлять на поля во избежание ее потери. На полях с очень малыми уклонами размеры каждой площадки

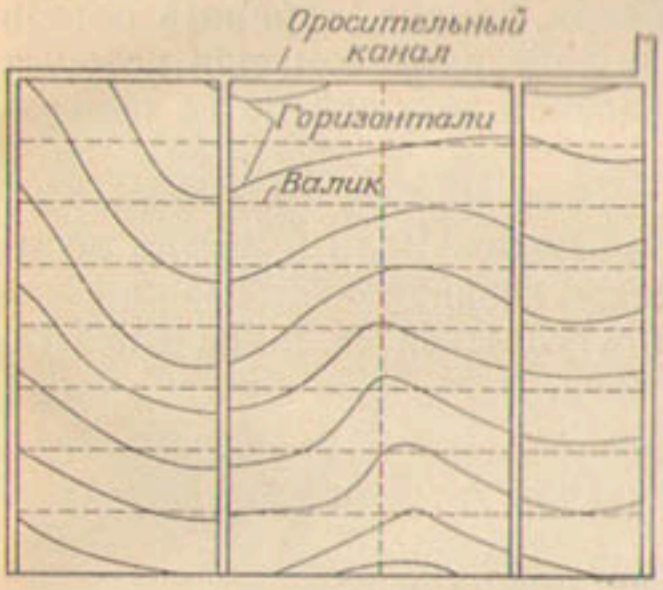


Рис. 74А. Разбивка орошаемого участка на чеки.

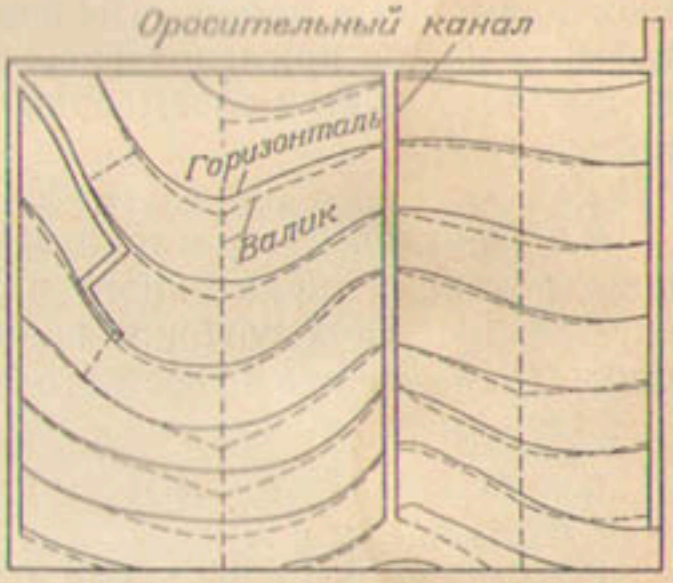


Рис. 74В. Чеки, расположенные по горизонталям на том же участке.

могут достигать больше 1 *га*. Вообще же площадки больше 1,0—1,2 *га* считаются менее желательными, чем площадки в 0,2—0,8 *га*.

Ограничивающие валики должны иметь ширину от 1,8 до 2,4 *м* в основании и не более 25—30 *см* высотой для того, чтобы не служить препятствием для движения сельскохозяйственных машин и обеспечить удовлетворительное развитие сельскохозяйственных культур на их поверхности.

81. Полив по лункам. Способ полива по лункам, являющийся по существу способом полива напуском, применим для орошения садов. В некоторых хозяйствах лунки устраивают у каждого дерева в отдельности; однако при благоприятных почвенных условиях и при небольшом уклоне поверхности одна лунка может обслужить от 2 до 5 деревьев. Из канала, подающего воду, вода подводится к первой лунке, из нее перетекает во вторую и т. д. Предпочтительнее же устройство небольших канавок, подводящих воду непосредственно в каждую лунку отдельно. Более подробно этот способ рассмотрен в гл. 16.

82. Распределение воды. Для эффективности полива существенно важно равномерное распределение воды без образования отдельных, сильно затопленных мест и без потерь вследствие глубокого просачивания воды в почву в одних местах поля и недостаточного увлажнения почвы в других местах. Целью всякой системы орошения является полное увлажнение почвы при отсутствии потерь воды из зоны корневой ситемы вследствие фильтрации. Могут также возникнуть значительные потери воды из-за стока ее с поверхности участка в нижней его части, но такие потери легко обнаруживаются и предупреждаются при небольшом внимании к поливу. Вообще говоря, трудно устранить потери воды, особенно применяя способы полива напуском, при которых почва увлажняется слоем воды, медленно текущей по ее поверхности.

83. Определение расхода воды на полив. Если известна величина потока, направленного в данное хозяйство, то можно вычислить среднюю глубину воды, поступившей на определенную площадь в течение известного времени.

Примем

q — величина тока воды в *л/сек* (или *м*^{3}*/час*);
a — площадь в *м*^{2};
t — время, потребное для полива площади a;
d — глубина в *м* объема поливной воды при быстром покрытии ею равномерным слоем поверхности орошаемого участка.

Расход воды в *л/сек* или в *м*^{3}*/час*, умноженный на продолжительность полива в соответствующих единицах времени, составляет общий объем воды, поступившей на участок. Эта вода распределится на площади участка слоем определенной глубины. Отсюда

$$da = qt. \tag{30}$$

При знании любых трех величин из вышеуказанных можно определить четвертую.

В гл. 9 сказано, что обычные почвы в редких случаях обладают способностью удерживать воду в среднем более 8,5% (по отношению к объему почвы) в зоне корневой системы растений за один напуск воды. Возьмем, например, слой почвы террасы, простирающейся на глубину 1,2 *м*, подстилаемый крупным песком и гравием. Если будет найдено, что при применении выбранного способа полива потребуется четыре часа для производства полива 1 акра током в 80 *л/сек*, то, пользуясь уравнением (30), можно найти, что на поле поступило количество воды, достаточное для покрытия поверхности слоем 28 *см*. Так как почва кор-

невой зоны может удержать только слой воды в 10 *см*, то в результате будет иметь место потеря 18 *см* воды вследствие просачивания ее на большую глубину. Следовательно, в целях экономии воды придется применить другой способ полива.

84. Способ полива по бороздам. При применении способов полива, описанных выше, увлажняется почти вся поверхность



Рис. 75. Поливные борозды в долине реки Снейк (Айдахо).

участка за время каждого полива. На рис. 75 показаны оросительные борозды, пользуясь которыми можно увлажнять только часть поверхности (от $^1/_2$ до $^1/_5$), благодаря чему сокращаются потери воды на испарение, уменьшается заиление тяжелых почв, а обработка почвы становится возможной вскоре после полива.

Полив почти всех пропашных культур производится по бороздам. В штате Вашингтон, в некоторых районах штата Айдахо и в южной части штата Юта зерновые культуры орошаются по мелким бороздам гофрированной поверхности (corrugations). Применение таких мелких борозд выгодно в случаях, когда источники воды для полива скудны, а также при неровной поверхности поливаемых участков. Полив по бороздам применим и

при значительном разнообразии уклонов поверхности. Обычно борозды проходят по поверхности с наибольшим уклоном, благодаря чему избегается опасность перетекания воды через их края. Однако последний способ не рекомендуется для полива участков с очень большими уклонами.

85. Длина борозд. На некоторых почвах с успехом пользуются бороздами с уклонами 0,10—0,15, причем в борозды впускают только очень малые токи воды и ведется тщательное наблюдение для предупреждения эрозии почвы. Предпочтительны уклоны борозд от 0,01 до 0,03. Однако некоторые почвы удовлетворительно орошаются при применении борозд с уклоном от 0,03 до 0,06. Длину борозд принимают в пределах от 30 *м* и менее при орошении садов и до 400 *м* — при орошении полевых культур. В штате Юта в редких случаях пользуются бороздами длиною более 200 *м*, длина же борозд от 90 до 150 *м* наиболее обычна. При пользовании длинными бороздами возникает опасность чрезмерных потерь воды вследствие ее просачивания на большую глубину, а также опасность размыва почвы у верхнего края поля.

86. Расстояние между бороздами и их глубина. Расстояние между бороздами для орошения кукурузы, картофеля, сахарной свеклы и других пропашных культур определяется в зависимости от величины междурядий. Для каждого рядка, однако, должна быть предусмотрена своя борозда. При орошении садов расстояние между бороздами может быть от 90 *см* до 1,8 *м*. На почвах с высокой капиллярностью или при малой водопроницаемости подпочв для орошения садов можно пользоваться бороздами с расстояниями между ними от 3,0 до 3,6 *м*. При больших расстояниях между бороздами следует проверять распределение воды в почве после каждого полива, пользуясь для этого почвенным буром или трубой, чтобы определить, достаточно ли растекается вода в почве в стороны от борозд.

При глубине борозд от 20 до 30 *см* облегчается контроль над продвижением воды и над проникновением ее в почву с низкой водопроницаемостью. Борозды такой глубины наиболее применимы для орошения садов и некоторых пропашных культур. Другие пропашные культуры, как, например, сахарную свеклу, лучше всего поливать по бороздам глубиною от 7,5 до 12,5 *см*. При орошении сахарной свеклы и других корнеплодов весьма желательны достаточно глубокие борозды, ток же воды в них должен быть настолько мал, чтобы растения не находились в непосредственном соприкосновении с водой.

87. Распределение воды по бороздам. Вода распределяется по бороздам, поступая в них из оросительных каналов или из

деревянных или бетонных лотков или из бетонных подземных труб. В штатах Юта и Айдахо наиболее обычен способ подведения воды в борозды из оросительных земляных каналов. На рис. 76 показаны четыре небольшие борозды, питаемые водой из одного оросительного канала. Применение такого способа подачи воды в борозды вызывает необходимость наблюдения за состоянием земляного канала во избежание его размыва, что



Рис. 76. Четыре мелкие борозды, получающие воду из одного водовыпуска.

влечет за собой подачу чрезмерно больших токов воды в одни борозды и недостаточную подачу воды в другие. С другой стороны, такой способ распределения воды удобен в том отношении, что, как только в оросительный канал поступит вода, в каждую борозду может быть пущен большой ток. Вода быстро пройдет по всей длине борозды и просочится в землю. Затем ток воды в борозды можно уменьшать, впуская в каждую из них столько воды, чтобы борозда оставалась все время увлажненной, но в то же время сток воды в нижнем конце борозд свелся к минимуму или совершенно отсутствовал.

Применение изогнутых труб малого диаметра, изготовленных из легких пластмасс, алюминия, оцинкованной стали, резины, дает возможность подавать воду сифоном из оросительного канала в борозды (рис. 77) и предохранять этим откосы канавы от размыва. Пользование сифонными трубками — универсальный способ, дающий возможность легко и часто подавать воду в ту или иную борозду.

Имеется возможность увеличить равномерность полива культур, орошаемых по бороздам, частой регулировкой величины



Рис. 77. Сифонные трубки, изготовленные из пластмассы и применяемые для полива по бороздам.

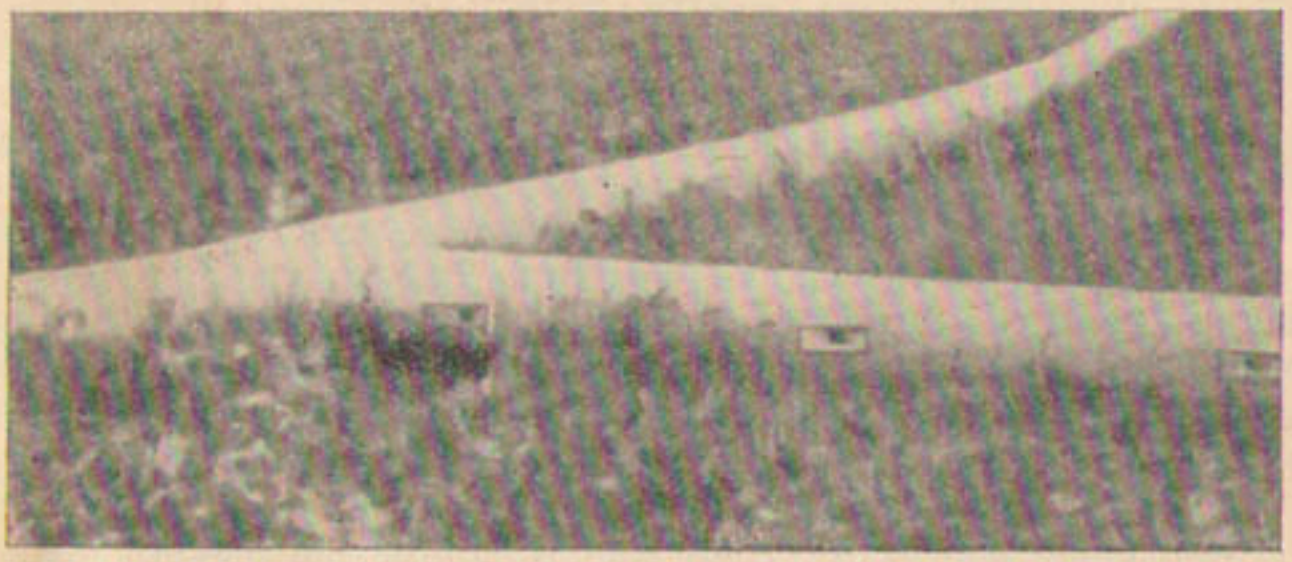


Рис. 78. Переносный алюминиевый поливной трубопровод с задвижками.

токов, поступающих в борозды. Для этой цели особенно полезны трубы, снабженные задвижками (рис. 78). Применение таких труб значительно возрастает.

Небольшие, легко регулируемые задвижки в трубах облегчают изменение величины токов воды, направляемых в борозды. Пользуясь такими задвижками, можно подводить к борозде ток воды от 3,75 до 37,5 *л/мин.* Легковесные трубы из алюминия или оцинкованной стали, снабженные задвижками, легко устанавливаются, легко соединяются и легко убираются по прекращению полива.

88. **Естественное подпочвенное орошение.** В некоторых местностях почвенные и топографические условия благоприятны для подачи воды в почву непосредственно под ее поверхностью; этот вид орошения известен под названием подпочвенного. Благоприятными условиями для возможности такого орошения являются водонепроницаемая подпочва, весьма проницаемые суглинистые или песчано-глинистые почвы, однообразные условия рельефа и незначительные уклоны поверхности поля. При таких условиях правильный контроль над водой предотвращает засоление почвы или ее заболачивание, что дает в результате экономичное использование воды, высокие урожаи и снижает потребность в рабочей силе.

В штате Калифорния имеются большие площади земель, с успехом орошаемых описываемым способом. До мелиорации некоторые из таких участков ежегодно затоплялись во время половодья. Использование этих площадей в несколько тысяч гектаров стало возможным лишь после сооружения дамб вокруг них и после создания дренажных систем и сброса выкачиваемой воды в реки по трубам, уложенным поверх дамб. Почва участков состоит преимущественно из разложившихся органических веществ — торфа, перегноя.

В течение нескольких месяцев в году уровень воды в руслах рек, в настоящее время уже огражденных дамбами, стоит на 0,6—3,0 *м* и выше поверхности полей. Для подачи оросительной воды на участки над дамбами установлены сифоны. Подаваемая ими вода распределяется по нескольким группам каналов глубиной от 0,6 до 0,9 *м* и шириной 0,3 *м;* боковые стенки каналов вертикальны. Посредством этих каналов, находящихся на расстояниях 45—90 *м* один от другого, достигается удовлетворительное распределение оросительной воды для полива зерновых культур и корнеплодов. Однако некоторые площади земель в штате Калифорния, орошавшиеся описанным способом, стали менее плодородны в результате засоления, что явилось следствием капиллярного передвижения влаги вверх от горизонта грунтовых вод, расположенного близко к поверхности. Такое снижение плодородия почвы заставило отказаться от подпочвенного орошения и перейти к дождеванию. В штатах, находящихся в горных местностях, имеются три известных района, где

с успехом применяется подземное орошение; сюда относятся земли по верхнему течению реки Снейк Ривер в районе Эджин Бенч в штате Айдахо и районах Каш Валли в штате Юта и Сен Луи Валли в штате Колорадо. Существующие условия и способы подачи воды на поля в районе Эджин Бенч типичны, и поэтому они описаны ниже.

89. Подпочвенное орошение в районе Эджин Бенч в штате Айдахо. Уклон поверхности участков здесь равномерен — около 0,002. Почва — суглинки и хрящеватые суглинки глубиной от 0,45 до 1,8 *м* — лежит на более проницаемой подпочве, подстилаемой водонепроницаемой лавой на глубине до 27 *м*.

Клинтоном описаны некоторые интересные стороны подпочвенного орошения 11 200 *га* земель в Эджин Бенч.

Течение воды в главных каналах находится под наблюдением особого работника, деятельность которого значительно отличается от работы его товарищей, наблюдающих за обычными оросительными системами. По существу, в его ведении находится огромный водоем грунтовых вод, положение горизонта которого зависит от соотношения количеств воды, поступающей в этот подземный водоем и уходящей из него. Вода поступает в этот водоем из регулируемых источников, а также пополняется осадками. Расходуется вода вследствие интенсивного потребления ее растениями, испарения из почвы и в результате глубокого просачивания в почву. При излишнем притоке воды заболачивается почва, затопляются поля, фермы, дороги. С другой стороны, в результате недостаточного притока воды увядают возделываемые культуры.

Подземным орошением в хозяйстве Эджин Бенч не прерываются работы по культивации растений. Сельскохозяйственные машины могут работать на поле в любое время, даже в случае, когда уровень горизонта грунтовых вод находится вблизи поверхности поля.

Главными культурами, возделываемыми в названном хозяйстве, являются (в порядке размера занятых ими площадей): картофель, люцерна, клевер, зерновые культуры, сахарная свекла, горох. В начале организации хозяйства была сделана попытка производить поливы обычным способом затопления поверхности. Постепенное повышение горизонта грунтовых вод привело к мысли о том, что для орошения будет достаточно и меньшего количества воды при условии применения более совершенных способов полива. Воду пускают в мелкие каналы шириной около 0,9 *м* с расстояниями между ними от 30 до 90 *м*. Как правило, длина этих каналов не более 400 *м*. В каждый канал поступает ток воды от 7 до 14 *л/сек*; вода, просачиваясь из каналов в грунт, достигает горизонта грунтовых вод, заставляя последний повы-

шаться настолько, чтобы увлажнять почву в зоне корневой системы. Применением такого способа полностью обеспечивается потребность возделываемых культур в воде.

90. Подпочвенное орошение и дренаж. В некоторых местностях естественный дренаж оказывается недостаточным для отвода излишка воды, подаваемой растениям путем подпочвенного орошения. В районе Люистон (штат Юта) было найдено необходимым соорудить большие открытые дренажные канавы для предупреждения чрезмерного заболачивания и засоления почвы. При благоприятных условиях в отдельных местностях штата оказалось возможным с успехом применять подпочвенное орошение. Причиной, побудившей обратиться к этому способу, явилось то обстоятельство, что при поливах способами затопления и при глубокой фильтрации воды в почве наблюдалось такое повышение горизонта грунтовых вод, что пришлось для сохранения продуктивности почвы обратиться к дренажу с откачиванием воды.

91. Искусственное подпочвенное орошение. При почвенных условиях, благоприятных для возделывания высокоценных культур на небольших площадях, в землю закладывают на значительной глубине систему распределительных труб.

Подача воды в почву под ее поверхностью по трубам или с помощью других водопроводящих устройств называется искусственным подпочвенным орошением. Для успеха такого орошения существенно важны: благоприятные почвенные условия, допускающие свободное растекание воды в почве в стороны от труб, относительно быстрое капиллярное движение воды в зоне корневой системы и очень медленное просачивание в подпочву. Лица, недостаточно компетентные в области различных способов орошения, иногда склонны переоценивать достоинства искусственного подпочвенного орошения и затрачивать на его устройство большие средства, чем это выгодно. Стоимость орошения этим способом обычно настолько высока, что часто оказывается неприемлемой.

92. Дождевание. Способ подачи воды на поверхность орошаемого поля в виде капель искусственного дождя называется дождеванием.

Дождеванию, как способу орошения, начало было положено примерно в 1900 г. Первая дождевальная система, использованная для сельскохозяйственных целей, явилась развитием устройств, применявшихся для дождевания городских скверов. До 1920 г. область применения дождевания ограничивалась использованием этого способа для полива растений в огородах, оранжереях и для орошения садов.

В районах с влажным климатом дождевание применяют как вспомогательный способ орошения. Большинство дождевальных систем принадлежало к типу стационарных устройств с трубами, снабженными отверстиями; трубы устанавливались на некоторой высоте над поверхностью орошаемого участка. Имелись также стационарные системы с вращающимися разбрызгивающими насадками, установленные на некоторой высоте. Установка дождевальных систем обходилась дорого, но расходы по их эксплуатации во многих случаях были невысоки. Переносные дождевальные системы получили должное распространение лишь с началом использования в их конструкциях (в начале 30-х годов) легковесных стальных труб и муфт, допускающих быстрое соединение труб. Этими нововведениями была уменьшена стоимость дождевальных систем, что и способствовало увеличению их числа в США. Большинство первых установок появилось в долине Сакраменто в Калифорнии. В связи с развитием конструкций более совершенных дождевальных аппаратов, с использованием легковесных алюминиевых труб и появлением более производительных насосов число дождевальных установок в стране к периоду второй мировой войны быстро возросло.

Дождевание применяют для полива многих сельскохозяйственных культур, возделываемых на любых почвах, на землях, различных по их рельефу и уклонам. Дождевальные установки особенно желательны для орошения почв с высокой водопроницаемостью, для почв с неглубоким залеганием, на землях, топографические особенности которых не позволяют производить их планировку, которая была бы необходима при поливах другими способами. Дождевание применяется на площадях со значительными уклонами и для почв, подверженных эрозии. При наличии указанных условий дождеванием экономятся вода, рабочая сила, сохраняется почва и обычно повышается ее продуктивность в большей степени, чем при применении иных способов орошения.

93. Назначение дождевальных систем. Дождевальные системы могут быть разделены на три группы в соответствии с их назначением: 1) главные системы, 2) вспомогательные (дополнительные) системы и 3) защитные системы.

В засушливых районах, где урожаи любой возделываемой культуры зависят от орошения, дождевальные системы обеспечивают растения всей необходимой для них влагой. Конструкция таких дождевальных систем должна быть основана на соображениях о влагоемкости почвы и наибольшей скорости потребления воды данной культурой. Поэтому в засушливых районах необходимо иметь дождевальную систему, способную произвести полив данной площади в течение промежутка времени, определенного на основе вышеуказанных двух условий.

В некоторых местностях, где обычно выпадает дождей достаточно для обеспечения водой возделываемых культур, все же бывают короткие периоды засухи, когда дополнительная подача воды необходима для получения нормальных урожаев. Возможно, что потребуется всего один полив. Дождевание, применяемое в таких случаях, называется вспомогательным (дополнительным).

Примерами защитных систем дождевания являются устройства, применяемые на болотистых почвах в северо-западной части страны, где растет клюква. Дождеванием здесь предохраняют урожаи от повреждения морозом.

94. Типы дождевальных аппаратов и насадок. В настоящее время в дождевальных оросительных системах применяются четыре типа аппаратов и насадок:

а) перфорированные трубы;
б) неподвижные насадки, прикрепленные к трубам;
в) вращающиеся аппараты;
г) неподвижные аппараты.

Ранними системами дождевания являлись устройства с перфорированными трубами и с неподвижными насадками на трубах. Такими системами пользуются и в настоящее время в восточной части США. Эти системы состоят из параллельных трубопроводов, установленных с промежутками около 15 *м* между ними; трубы поддерживаются рядом столбов. Вода выбрасывается струями в направлениях, перпендикулярных к линиям труб. Полоса между двумя линиями трубопроводов (ширина 15 *м*) может быть полита при постепенном поворачивании труб на угол 135° (рис. 79).

На рис. 80 показана дождевальная система с вращающимися насадками или система кругового полива. Такие системы начали распространяться со времени введения в обиход легковесных переносных трубопроводов, снабженных муфтами для быстрого соединения труб. Преимуществом дождевальных систем этого типа над другими системами является их способность выбрасывать струи воды с малой скоростью из насадок с относительно большим диаметром отверстий. Это обстоятельство особенно ценно при пользовании водой с содержанием ила и различных мелких частиц, вызывающих обычно закупорку насадок. Для вращающихся насадок минимальная норма подачи 5 *мм/час*, минимальная же норма подачи для перфорированных труб 25 *мм/час*. Столь малый расход воды при дождевании вращающимися насадками желателен на почвах с низкой водопроницаемостью и выгоден в малых хозяйствах, где дождевание производится одновременно с разными другими полезными работами. При малой подаче воды необходимо перемещать дождевальную систему только два раза в день на почвах с малой влагоемкостью.



Рис. 79. Распространенная система дождевания.



Рис. 80. Полив дождеванием поля площадью 160 *га*, занятого томатами (штат Калифорния).

Показный на рис. 81 передвижной трубопровод с неподвижными насадками широко применяется в садах, в питомниках и для полива лужаек для игры в гольф. Струи, выбрасываемые из насадок с большей скоростью, не покрывают особенно больших площадей, но такой системой обеспечивается большая интенсивность дождя. Рассматриваемая система особенно ценна для полива рассады, которая могла бы повреждаться струями, разбивающимися на крупные капли.

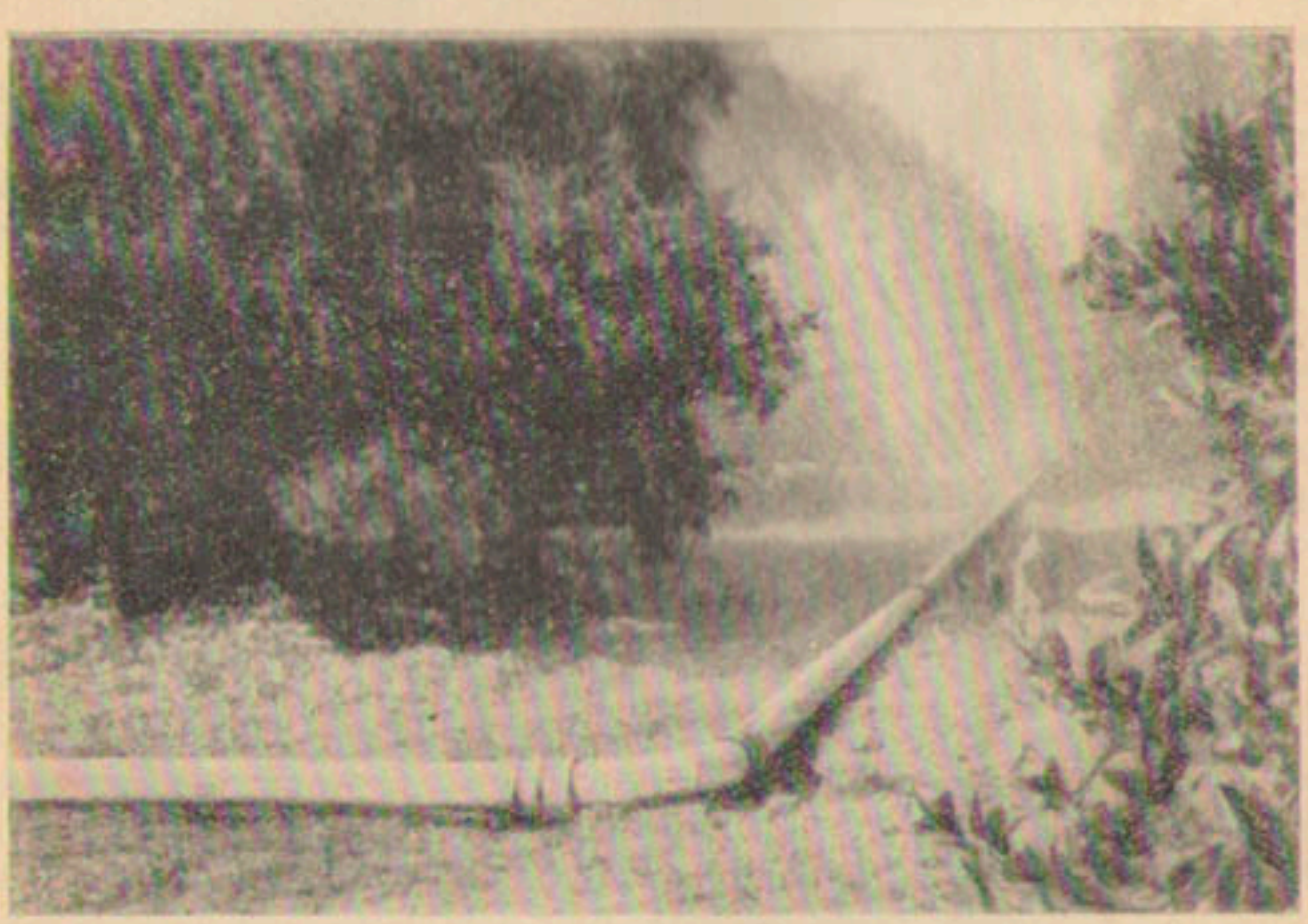


Рис. 81. Передвижная система дождевания с неподвижными насадками на поливе цитрусовых деревьев.

В некоторых местностях пользуются брезентовыми шлангами, изготовленными из такого материала, что вода просачивается из шланга наружу по всей его длине и проникает в почву. Устройства этого типа не получили распространения вследствие малой площади, орошаемой ими, и высокой начальной стоимости установки.

95. Напоры. Дождевальные системы работают при напорах в широких пределах: от 3,5 до 70 *м*. Применяемый напор зависит от стоимости энергии, величины площади, подлежащей поливу, типа дождевальных аппаратов и рода поливаемых культур. В системах с малым напором пользуются напорами от 3,5 до 14 *м*, со средним напором — от 14 до 35 *м* и с высоким напором — от 35 до 70 *м*. Применяют также и бóльшие напоры, обозначаемые как

«гидравлические». Дождевальными малонапорными системами пользуются для полива небольших площадей при сравнительно высокой общей подаче воды насадками при данных промежутках между ними. Их применение обычно ограничено орошением почв с водопроницаемостью более 12,5 *мм/час* во время полива.

Дождевальными средненапорными системами производится полив больших площадей и с большей интенсивностью дождя; струи, выбрасываемые насадками таких систем, легко разбиваются на капли.

Дождевальными высоконапорными системами поливают большие площади; интенсивность дождя у таких систем бóльшая, чем у дождевальных систем с малым и средним напорами. Распределение капель по поверхности обычно хорошее, но оно легко нарушается ветром.

В системах дождевания с сверхвысоким напором (более 70 *м*) обычно применяются аппараты реактивного типа с вращающимися насадками, которые обеспечивают интенсивность дождя 19 *мм/час*. Диаметр увлажняемого круга — от 60 до 120 *м*. Характер распределения капель по поверхности очень хорош, но легко нарушается ветром.

В общем существующие системы дождевания пригодны практически для любых условий работы в сельском хозяйстве.

96. Типы дождевальных систем. В дождевальную систему входят: дождевальные аппараты, гидранты, боковая распределительная труба, главный (магистральный) трубопровод и часто насосная установка. Существующие дождевальные системы делятся на стационарные, полустационарные и передвижные. Эта классификация зависит от конструкции частей, входящих в систему. Существуют стационарные установки с неподвижными насадками, с главными подземными и боковыми трубопроводами и со стационарными насосными установками. Начальная стоимость оборудования таких стационарных систем большая, но эксплуатационные расходы невысоки. Стационарными системами пользуются для орошения садов, включая цитрусовые, и питомников. Модифицированная система этого типа снабжена аппаратами на гидрантах, быстро соединяемых с трубами, благодаря чему такие аппараты можно легко перемещать по боковым линиям трубопроводов. Применением такой конструкции уменьшается число необходимых дождевальных аппаратов, но увеличивается потребность в рабочей силе.

Полустационарные дождевальные системы состоят из подземного главного трубопровода, переносных боковых трубопроводов, переносных дождевальных аппаратов и стационарной насосной установки. Системы этого типа пригодны для полива садов, по-

стоянных пастбищ и разных культур при условии дождевания всей площади хозяйства и при определенных границах участка.

На рис. 82 показана передвижная дождевальная система, состоящая из главного передвижного трубопровода, передвижных



Рис. 82. Дождевальная установка, выбрасывающая струи под малым углом к поверхности с интенсивностью дождевания 8,5 *мм/час*.

боковых трубопроводов и насадок и стационарной насосной установки. Такой системой пользуются для полива полевых культур в хозяйствах, применяющих севооборот, с изменяемыми границами участков.

В передвижную систему входят переносные боковые трубопроводы с насадками и переносная насосная установка. Такие

системы применяются для поливов одной из культур, входящей в севооборот; поливы же других культур, возделываемых в хозяйстве, производятся иными способами.

97. Источники воды и способы создания напора в дождевальных системах. Для применения дождевальных систем необходимы источники воды, не содержащей в себе твердых частиц и сора, которые могут закупоривать отверстия насадок. Обычными источниками воды являются колодцы, оросительные каналы, реки и озера. Колодцы и озера — наилучшие источники чистой воды. При пользовании водой из оросительных каналов или из рек необходима установка соответствующих фильтров, задерживающих твердые частицы.

Напор, необходимый для работы дождевальных систем, может быть создан действием силы тяжести или работой насосов. Последним пользуются в том случае, когда источник снабжения водой расположен настолько низко, что сила тяжести недостаточна для создания напора, необходимого для работы дождевальных аппаратов. У некоторых систем для создания напора комбинируют обе возможности — силу тяжести и работу насоса. При подаче воды насосами из озер, рек и оросительных каналов применяются центробежные насосы, а при накачивании воды из колодцев пользуются центробежными или турбинными насосами. Турбинный насос лучше приспособлен для подачи воды из колодцев, находящихся на участках с изменяющимся в течение сезона поливов горизонтом грунтовых вод.

98. Требования, предъявляемые к конструкции дождевальных систем. Важными условиями успешного полива дождеванием является прежде всего правильность конструкции и эффективная работа сконструированной дождевальной системы. Основные данные, необходимые для создания конструкции сельскохозяйственной дождевальной системы, складываются из четырех элементов: сведений о почве, об источниках воды, о культуре, подлежащей орошению, и о климате.

Сведения, относящиеся к почве, содержат данные о типе почвы, глубине ее слоя, механическом составе почвы, об ее водопроницаемости и о возможной влагоемкости в зоне корневой системы. В отношении источника снабжения водой необходимы данные о его положении относительно орошаемых участков, о расходе воды, которым можно располагать, о глубине зоны корневой системы и об особенностях орошения, которые должны быть приняты во внимание при проектировании системы дождевания и которые являются следствием знакомства с условиями возделывания данной культуры. К сведениям о климате относятся данные о количествах естественных осадков, о скоростях ветра

и о его направлениях. Все такие данные должны быть сведены воедино до начала проектирования системы дождевания.

В число требований, относящихся к действию дождевальной системы, входят следующие:

1. Конструкция системы и ее действие должны быть такими, чтобы количество воды, подаваемой на данную площадь, не было чрезмерным и не вызывало стока излишков воды с увлажняемой площади.

2. Вода должна подаваться на участок со скоростью, обеспечивающей эффективное ее использование. Наименьшая скорость подачи воды определяется испарением и задержанием листвой некоторого количества воды. Величина подачи воды меняется в зависимости от характера того или иного орошаемого участка.

Производительность дождевальной системы должна соответствовать пикам потребления воды каждой из возделываемых культур в течение сезона поливов.

При расчете производительности системы необходимо сделать допуск на неизбежные потери воды вследствие испарения, задержания ее листвой и на некоторое просачивание ее в почву на значительную глубину.

Дождевальная система, спроектированная для дополнительного или защитного дождевания, должна обладать достаточной интенсивностью дождя, обеспечивающей необходимую подачу воды на проектную площадь в намеченный период времени.

Дождевальная система не должна подавать на данную площадь количество воды, большее, чем это допускает влагоемкость почвы и необходимо для возделываемых культур.

Разница в высоте слоев воды, поданной системой, не должна в разных местах участка превышать 10%, что достигается при разности напоров в различных частях системы не более чем в 20%. Колебания напора являются результатом потерь от трения в различных местах системы и изменения положения по высоте магистральных или боковых трубопроводов. Часто бывает необходимо регулировать величину давления посредством клапанов.

Дождевальная система должна производить полив так, чтобы струи не повреждали возделываемых культур. Случается, что при дождевании садов струи, выбрасываемые насадками с большой скоростью, повреждают даже яблоки, что бывает, когда дождевальные аппараты установлены слишком близко к деревьям. Мелкое распыление воды необходимо главным образом при поливе нежной рассады некоторых культур во избежание полегания растений. Для мелкого разбрызгивания требуется большой напор, дробящий воду в мелкие капли уже при выходе ее из насадок.

Дождевальная система должна быть спроектирована так, чтобы можно было производить полив с наименьшим расходом средств в течение года. Для дождевальной системы, действующей за счет напора, созданного насосом, необходимо найти правильное соотношение между стоимостью оборудования и стоимостью затрачиваемой энергии.

Выбор насоса следует производить исходя из требований максимальных напора и расхода воды в минуту. Насос не должен быть перегружен при тяжелых условиях его работы.

99. Работа дождевальных систем. Дождевальная система может быть хорошо спроектирована применительно к величине поливных площадей и роду возделываемых культур, но если ее эксплуатировать неэффективно, то результаты окажутся малоудовлетворительными. Правильно спроектированная система должна подавать достаточное количество воды в периоды наибольшего потребления ее культурами, чем обеспечиваются удовлетворительные урожаи. Если система работает с полной производительностью в то время, когда потребность растений в воде меньше максимальной, то следствием является чрезмерное расходование поливной воды. Чрезмерный полив вызовет эрозию почвы, выщелачивание растворимых элементов пищи растений, низкую эффективность полива, уменьшение урожаев и снижение их качества, и в конечном итоге возникнет необходимость в дренаже. Работа дождевальной системы должна быть подчинена следующим правилам. Необходимо:

а) проверять влажность почвы в зоне корневой системы с помощью почвенного бура или взятием проб в целях определения времени полива;

б) проверять глубину инфильтрации воды в почву во время полива, чтобы знать, когда следует прекратить дождевание;

в) проверять глубину инфильтрации воды в почву через несколько дней после того, как полив прекращен, для установления, достаточно ли увлажнена почва в зоне корневой системы.

100. Опыты с дождеванием. Калифорнийским университетом были проведены в большом масштабе обстоятельные опыты с дождевальными системами. Доклад об этой работе был составлен Кристиансеном.

Многие факторы влияют на эффективность дождевания и на экономику этого способа орошения. Один из наиболее важных факторов — равномерность распределения воды по поверхности. График на рис. 83 показывает, что наибольшая высота осадков наблюдается вблизи насадки и что высота постепенно уменьшается с увеличением расстояния от насадки.

Ниже приводится сводка важнейших факторов, влияющих на орошение дождеванием:

1. Равномерность распределения по полю воды, выбрасываемой насадками, подвержена значительным колебаниям в зависимости от напора, силы ветра, скорости вращения насадки, расстояния между насадками и многих других факторов.

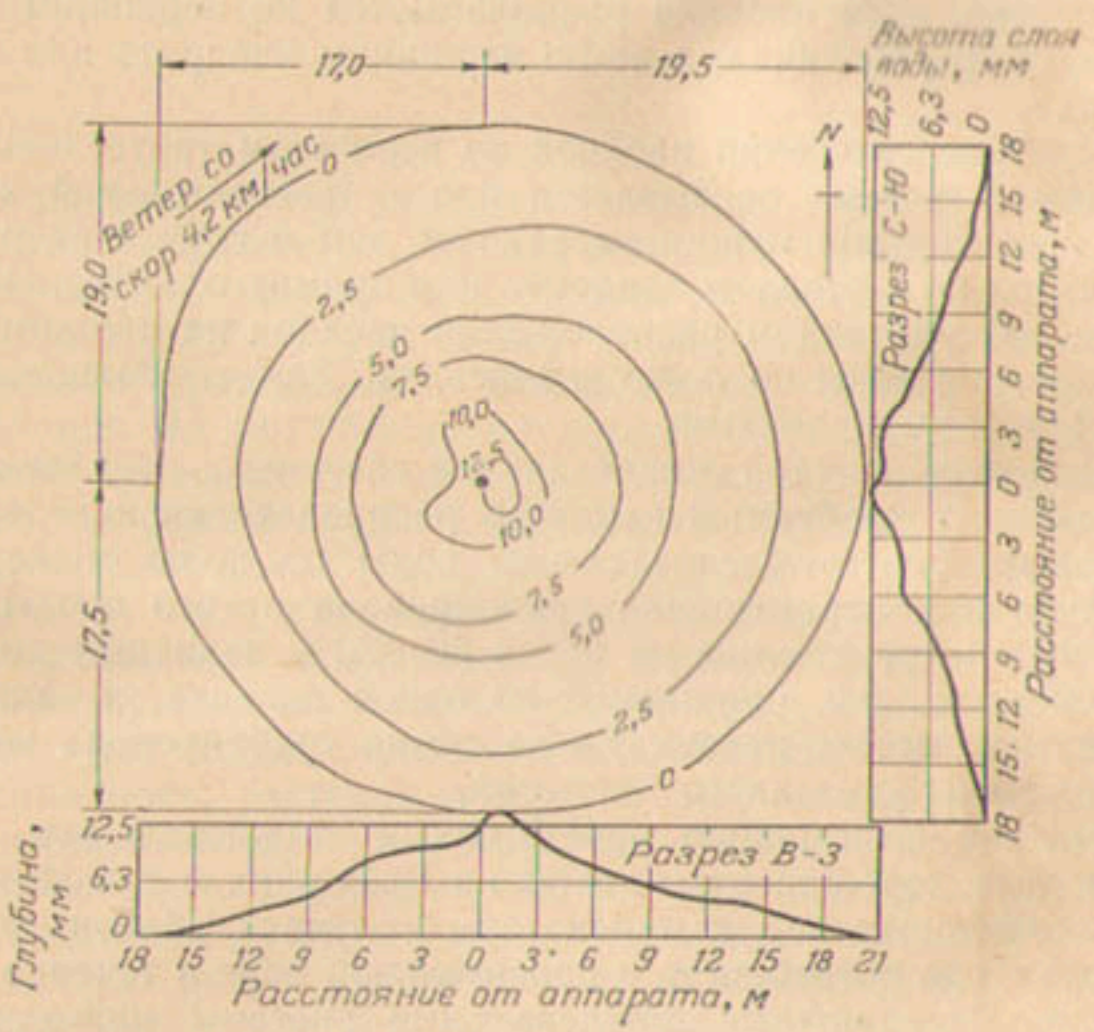


Рис. 83. Схема распределения воды дальноструйным дождевальным аппаратом (марки С-3): диаметры сопел — 6,3 *мм* и 5,6 *мм*; напор — 2,8 *кг/см²*, расход — 75 *л/мин*.

2. Возможно почти равномерное распределение воды по полю при правильно выбранной конструкции насадки и при соответствующих расстояниях между насадками.

3. Слой осадков, создаваемый дождевальной насадкой, имеет коническую форму с вершиной вблизи насадки и с постепенным уклоном к краям площади, покрываемой разбрызгиваемой водой. Достаточно равномерное распределение разбрызгиваемой воды по полю достигается при расстояниях между насадками не более 55—60% от диаметра площадки, поливаемой из одной насадки.

4. При больших расстояниях между насадками считается лучшим разбрызгивание воды насадкой, при котором на некотором расстоянии от насадки наблюдается достаточно правильная коничность слоя осадков, высота которых постепенно уменьшается

с увеличением расстояния от насадки. Но равномерность распределения воды по полю всегда уменьшается при расстояниях между насадками больше 50% величины диаметра поливаемой площади по кругу.

5. При расстояниях между насадками более 50% диаметра круговой площадки равномерный полив поля может быть достигнут в случае, если насадки располагаются по вершинам равностороннего треугольника, а не по вершинам квадрата или прямоугольника.

6. При расположении насадок по вершинам треугольника дождевальная система оказывается более чувствительной к изменению промежутков между насадками, чем в случае расположения насадок по вершинам квадрата или прямоугольника. Это значит, что при указанном расположении насадок на равномерность распределения воды по полю значительно влияет изменение расстояний между насадками.

7. Для передвижной дождевальной системы с насадками, обеспечивающими требуемый характер распределения капель, хорошая равномерность распределения воды по полю может быть достигнута при перемещении трубопровода от его предыдущего положения на расстояние не более 50—70% величины диаметра круговой площадки, орошаемой из одной насадки, а также при промежутках между насадками по линии трубопровода не более 35% величины указанного диаметра.

Орошение с помощью передвижных дождевальных систем обычно дает хорошие результаты на площадях с высоким горизонтом грунтовых вод и в некоторых случаях вблизи морского побережья, где потребность в оросительной воде в течение сезона невелика. Передвижные дождевальные системы пригодны для орошения яровых культур, в частности гороха, требующих не более одного-двух небольших поливов в добавление к обычным дождевым осадкам. Особенно применимы передвижные дождевальные системы для орошения площадей с неровной поверхностью, где применение полива напуском воды затруднено. Пригодны такие системы и для орошения маломощных почв с грубозернистым механическим составом и с большой водопроницаемостью при малой их влагоемкости. Такие почвы требуют небольших поливов с частыми интервалами между ними. Дождеванием обычно пользуются при наличии особых условий там, где орошение напуском неприменимо или непрактично. Применимость дождевания ограничена его стоимостью, которая для большинства условий обходится дороже, чем другие способы орошения.

Глава 7

МЕХАНИЗМЫ И СООРУЖЕНИЯ В ОРОШАЕМЫХ ХОЗЯЙСТВАХ

Успехи, достигнутые в области орошения, зависят от широкого применения современных механизмов для планировки орошаемых земель, для поделки валиков, для рытья канав и их очистки, для нарезки глубоких и мелких борозд. Для рентабельного и эффективного пользования системой орошения важна хорошая предварительная подготовка площадей. Необходимо также оборудование орошаемого хозяйства сооружениями, облегчающими контроль за оросительной водой и регулирование ее подачи на орошаемые площади. Со стороны исследовательских организаций сравнительно мало внимания уделялось сооружениям, необходимым в орошаемых хозяйствах. До последнего времени главное внимание оказывалось основным вопросам, касающимся почв и растений. Чем больше расширяется область знаний о взаимоотношении почв, растений и воды и чем больше увеличивается потребность в оросительной воде, тем более необходимым становится обеспечить водопользователю возможность контроля над водой, поступающей на его поля. Необходимо иметь возможность распределять воду равномерно по всей орошаемой площади, увлажнять почву на требуемую глубину без чрезмерных потерь воды. В этой главе даны сведения о некоторых современных машинах и орудиях, применяемых в орошаемых хозяйствах, а также описаны сооружения, облегчающие наблюдение за поступающей водой и ее регулирование.

101. Машины и орудия. Машинами и орудиями большой важности, применяемыми в орошаемых хозяйствах, являются тракторы, плуги, зубовые и дисковые бороны, скреперы и планировщики. От хороших плугов и хорошей вспашки зависит в значительной степени возможность равномерного распределения оросительной воды по поверхности поля. Для земель, орошаемых напуском, требуется особенно хорошая вспашка, так как при пользовании такими способами отсутствуют оградительные валики и нет возможности заставить воду преодолевать неровности, имеющиеся на плохо вспаханных участках. Пахота на орошаемых землях, проведенная без достаточного внимания, или вспашка затупленными лемехами делает поливы неэффективными.

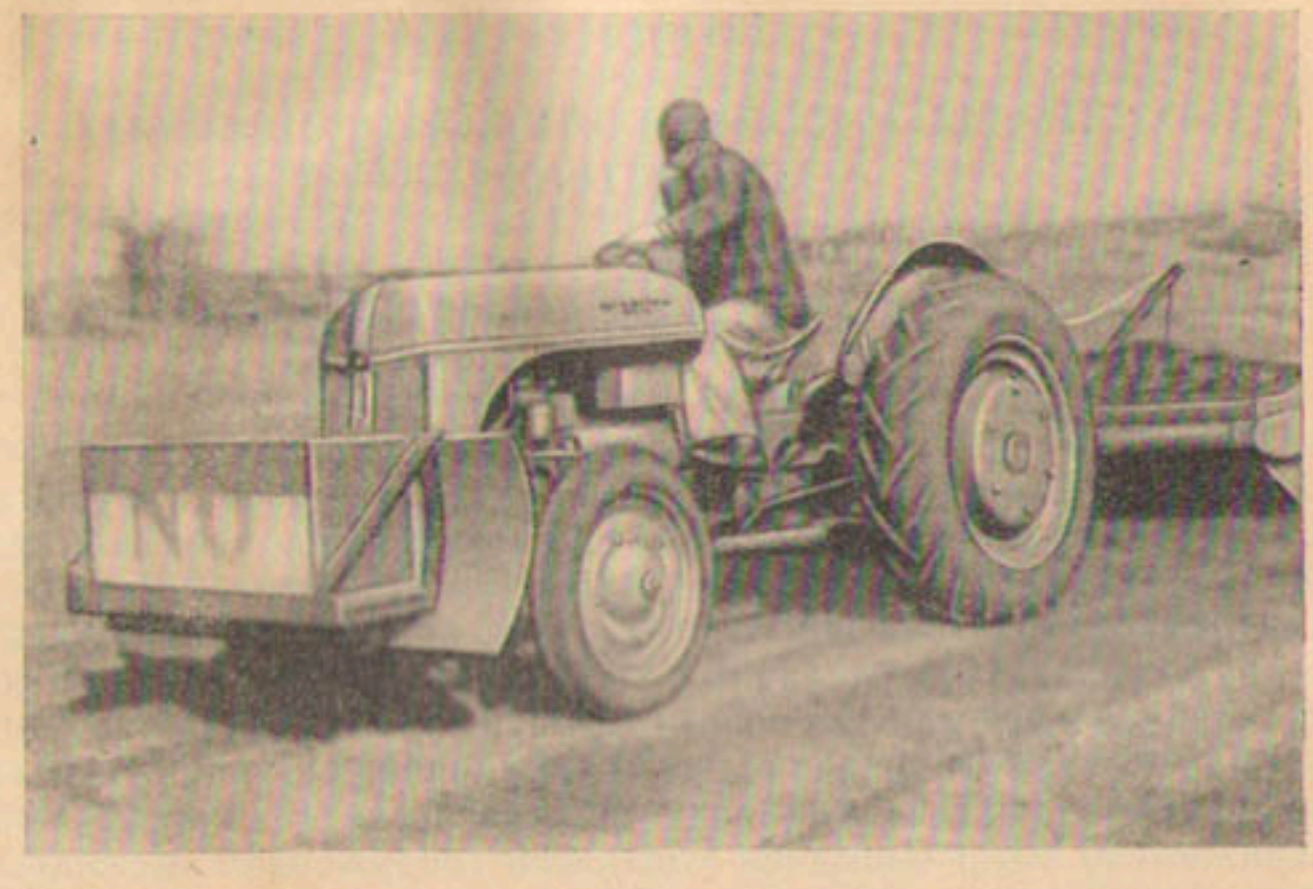


Рис. 84. Сельскохозяйственный трактор и небольшой скрепер, применяемые для планировки участка. Ящик впереди трактора обеспечивает большую нагрузку на передние колеса, что облегчает заполнение скрепера грунтом.

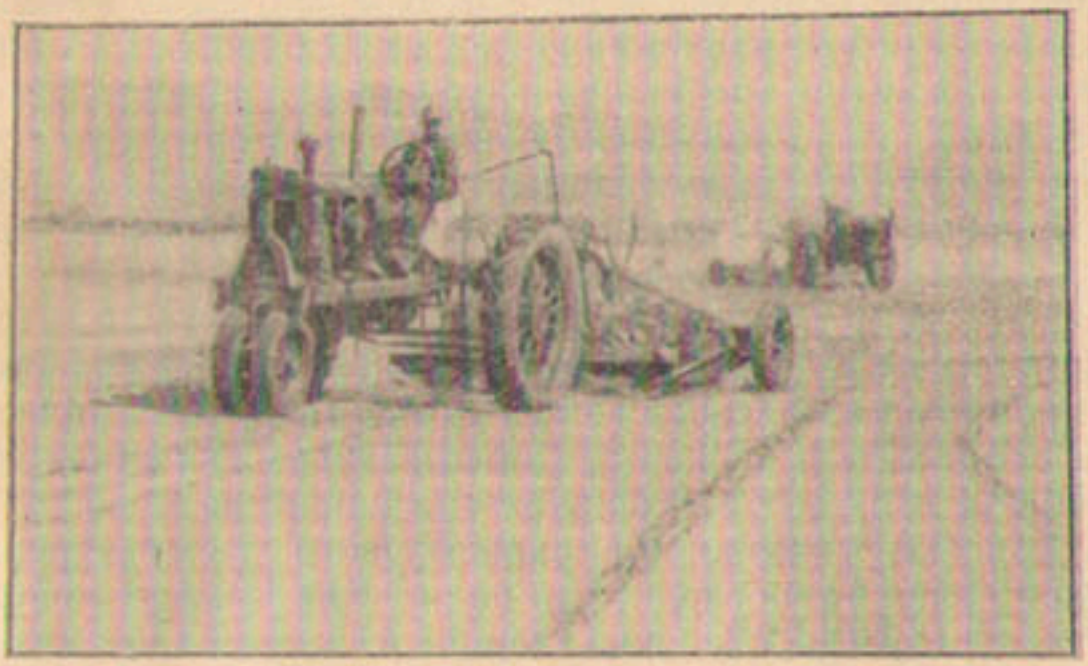


Рис. 85. Планировщик марки Фресно на резиновых шинах, перемещающий снятый грунт на большое расстояние. Окончательная планировка производится волокушей.

102. Механизмы для планировки поверхности поля. На рис. 84 и 85 показаны скреперы, работающие на прицепе тракторов. Применение таких скреперов значительно облегчило планировку орошаемых земель. После срезки такими скреперами бугров на поверхности участка и заполнения углублений снятой почвой поверхность поля окончательно выравнивается с помощью больших автоматических планировщиков, подобных показанному на рис. 86.



Рис. 86. Большой планировщик.

Фермеры, пользующиеся для орошения своих земель способами поверхностного полива или полива по бороздам, все чаще прибегают к современным способам планировки своих земель. Пользуясь современными механизмами, они стремятся почти полностью устранить на своих участках неровности рельефа.

103. Механизмы для поделки валиков. Кроме применения скреперов хорошей конструкции и других механизмов для выравнивания поверхности участков, в крупных хозяйствах выгодно применение специальных тракторных скреперов, нагребающих валики по сторонам орошаемых полос. Для небольших хозяйств весьма пригодны регулируемые орудия, показанные на рис. 87. Рама, прикрепленная к задней стороне такого орудия, выравнивает и сглаживает гребень валика и придает его поверхности определенный профиль, что делается в одну операцию с нагребанием земли и образованием валика.

104. Механизмы для рытья и очистки каналов. Старые способы рытья оросительных каналов при помощи кирки и лопаты

являются теперь достоянием прошлого. Моторизованные канавокопатели, подобные показанным на рис. 88, значительно снизили расходы по строительству каналов и нарезке борозд и сократили потребное для этого время. Для рытья канав с крутыми откосами удобно и выгодно пользоваться скреперами с установленными

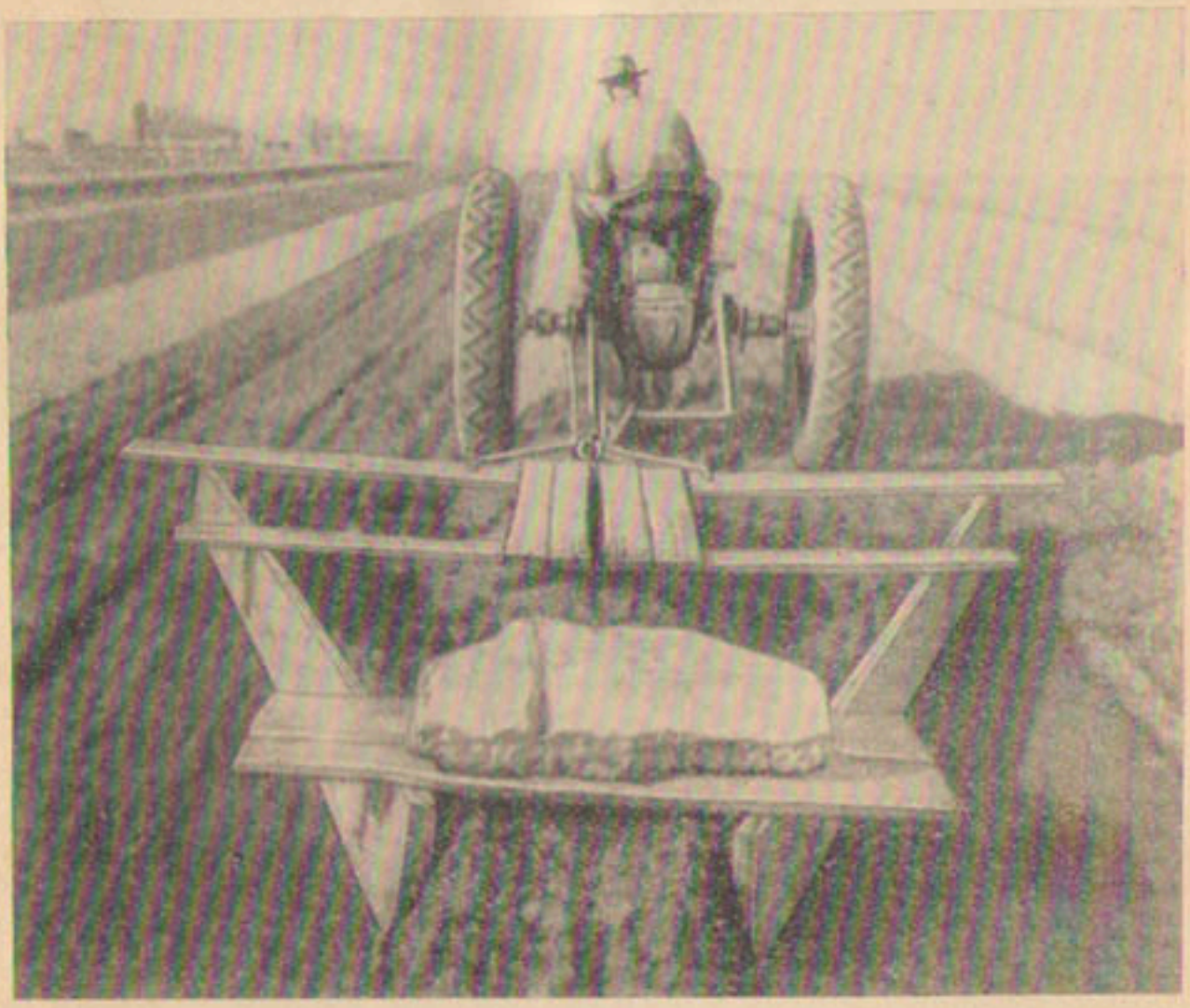


Рис. 87. Устройство валиков, ограничивающих поливные полосы.

на них ящиками, в которые подается снимаемый грунт (рис. 89). При сооружении новых каналов и ремонте старых в некоторых случаях выгодно хорошее уплотнение грунта в целях уменьшения потерь от фильтрации воды, а также для увеличения связи между частицами грунта, чем уменьшается опасность размыва дна и откосов канала. Кулачковыми катками (рис. 90), применявшимися в течение многих лет при сооружении земляных дамб, пользуются теперь и для постройки оросительных каналов.

Для очистки откосов каналов найден особенно полезным канавокопатель новой конструкции, показанный на рис. 91.

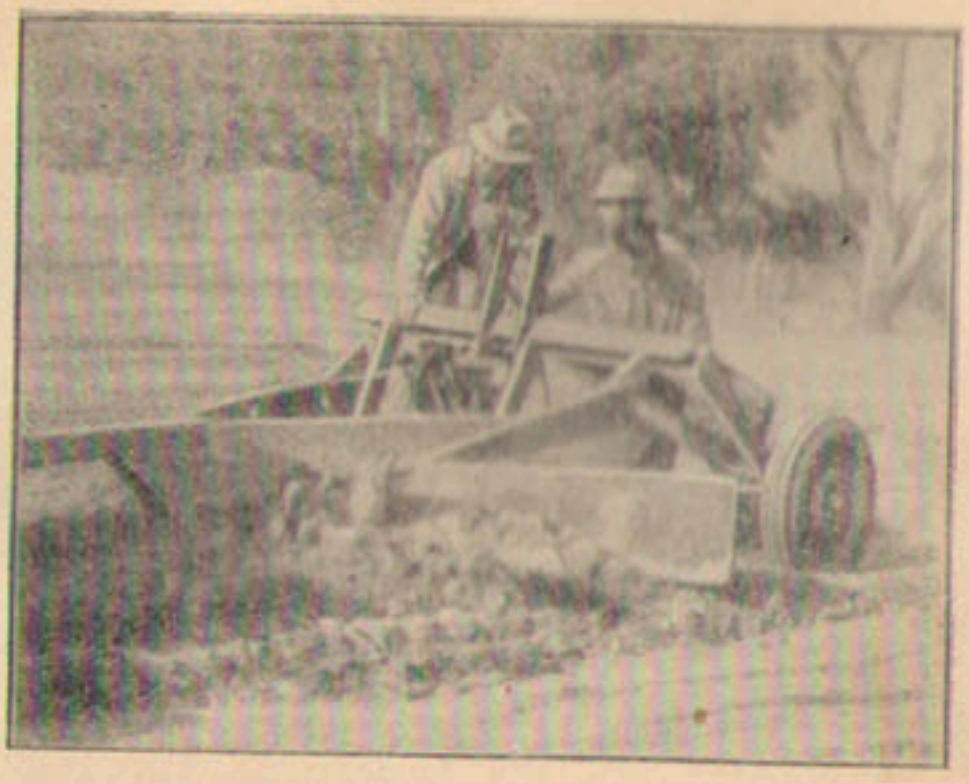


Рис. 88. Моторизованный канавокопатель для рытья и отделки канала перед его облицовкой.

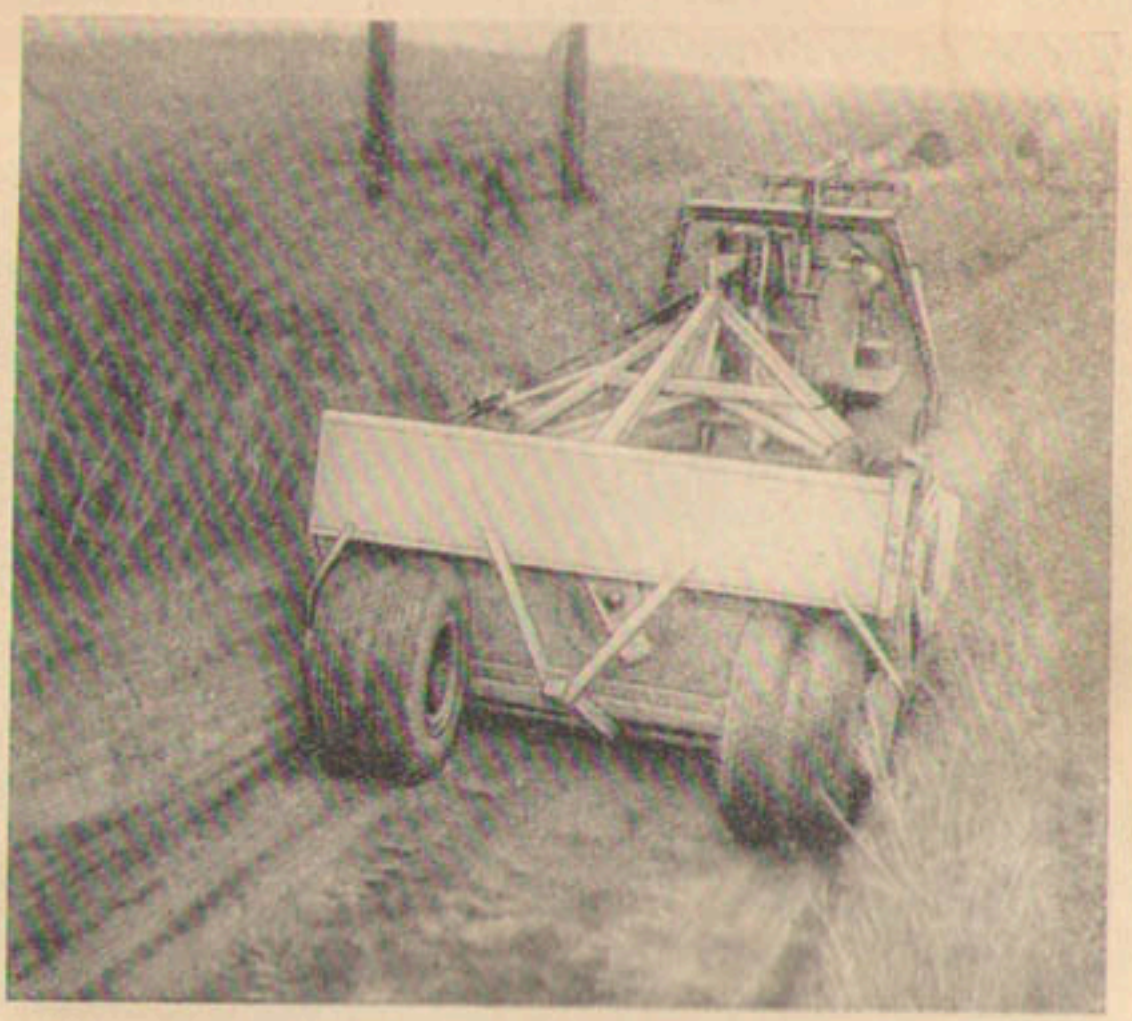


Рис. 89. Скрепер на тяге гусеничного трактора. Применяется для рытья каналов с крутыми откосами с перемещением грунта на большие расстояния.

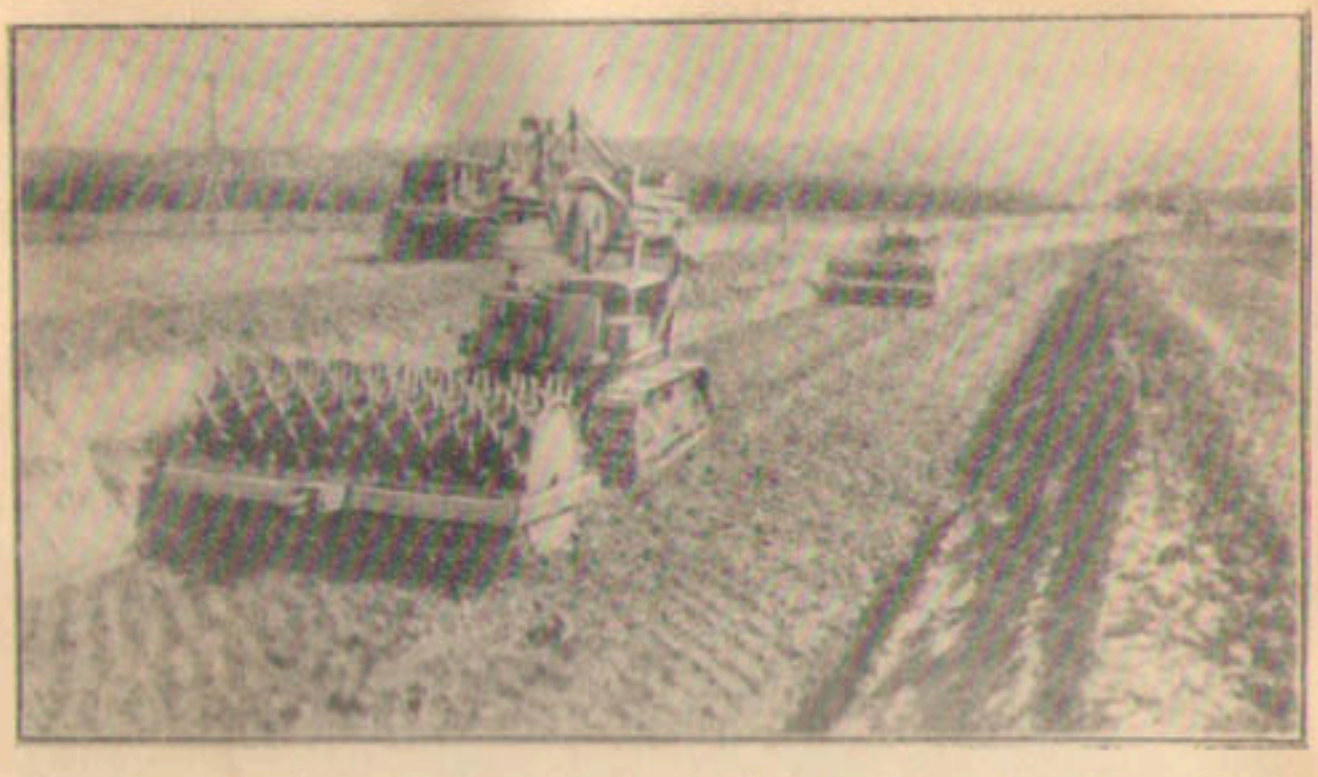


Рис. 90. Тяжелый кулачковый каток. Применяется для уплотнения грунта в каналах, что увеличивает противофильтрационные свойства грунта, уменьшает опасность размыва и задерживает произрастание сорняков.

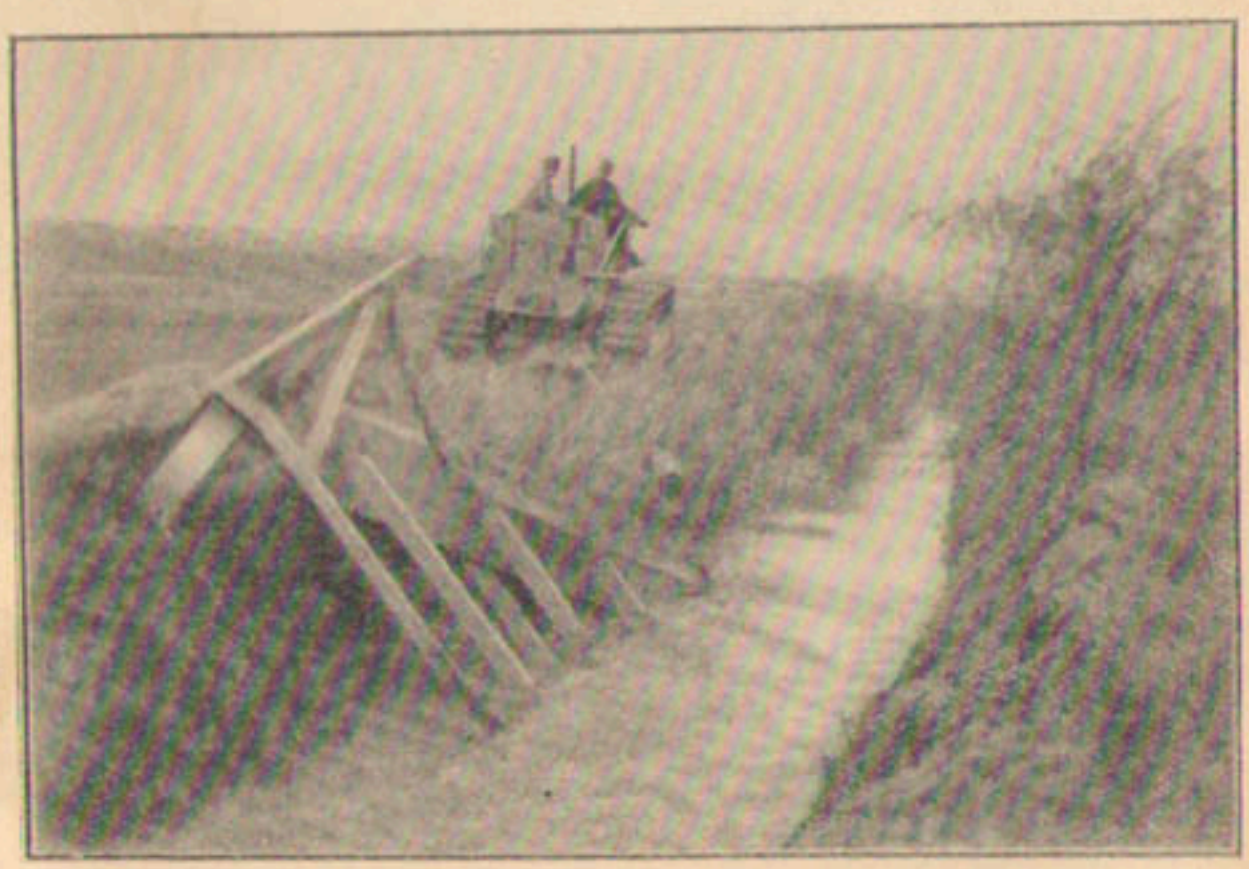


Рис. 91. Механизм для очистки откосов каналов с длиной ножа 55 *см*, весом 3,2 *т*. Очищает канал глубиной 1,5 *м* с крутыми откосами.

105. Орудия для нарезки мелких борозд. Для нарезки мелких борозд пользуются орудиями нескольких типов, изготовляемыми на местах в хозяйствах. Один из таких механизмов — каток с укрепленными на его поверхности кольцами, имеющими поперечное сечение, соответствующее форме и размерам поперечного сечения мелкой борозды. Другое орудие — волокуша с сошниками, нарезающее бороздки в почве. Орудие первого типа выдавливает бороздку в грунте и уплотняет ее поверхность; орудие второго типа разгребает землю и насыпает ее по сторонам борозды. Применяются такие орудия только на свежевспаханной почве. Для работы на землях под многолетней люцерной, клевером и на других почвах с уплотненным поверхностным слоем для нарезки удовлетворительных борозд требуются тяжелые, хорошо сконструированные механизмы.

106. Орудия для нарезки глубоких борозд. Полив картофеля, кукурузы, спаржи, сельдерея, а также фруктовых деревьев производится лучше всего напуском воды в борозды, особенно в случае тяжелых почв. Глубокие борозды особенно применимы для полива яблонь, персиков, лимонов, маслин, миндаля. Иногда для нарезки борозд пользуются обыкновенными двухотвальными плугами (типа окучника). При орошении садов, расположенных по косогорам, можно пользоваться для нарезки борозд обычными лемешными плугами, отвалы которых сбрасывают землю, поднимаемую плугом, вниз по склону. Пользование двухотвальным плугом для такой работы на косогорах может дать экономию времени.

107. Сооружения, необходимые для сельскохозяйственного орошения. Обычно термин «сооружение» инженеры применяют для обозначения больших плотин, подпорных регуляторов, шлюзов, лотков, дюкеров, быстротоков, перепадов, т. е. сооружений, с помощью которых забирают воду из естественных источников и подают ее хозяйствам для использования. В этой главе под оросительными сооружениями понимаются разные устройства и приспособления, применяемые в отдельных хозяйствах для отвода воды из магистрального канала и направления ее в оросительные каналы на территории данного хозяйства, а затем подачи воды на отдельные участки внутри самого хозяйства. В некоторых местностях находят возможным пользоваться устройствами и приспособлениями, изготовленными в хозяйствах и грубо выполненными, несмотря на то, что пользование ими обходится иногда очень дорого. Как правило, рентабельными и всегда наиболее удовлетворительными являются устройства и сооружения, соответствующие расходу потребляемой воды и обладающие достаточной прочностью, сооружения, позволяющие управлять

расходом воды и правильно ее использовать. В западных штатах и в штатах в области Скалистых гор в США построено много оросительных каналов, проходящих по окраинам долин и расположенных выше орошаемых земель. При таком положении каналов вода может подаваться в хозяйства непосредственно из магистрального канала в течение всего сезона орошения. На таких каналах особенно необходимы удовлетворительно работающие сооружения, регулирующие расход воды, поступающей в хозяйство.

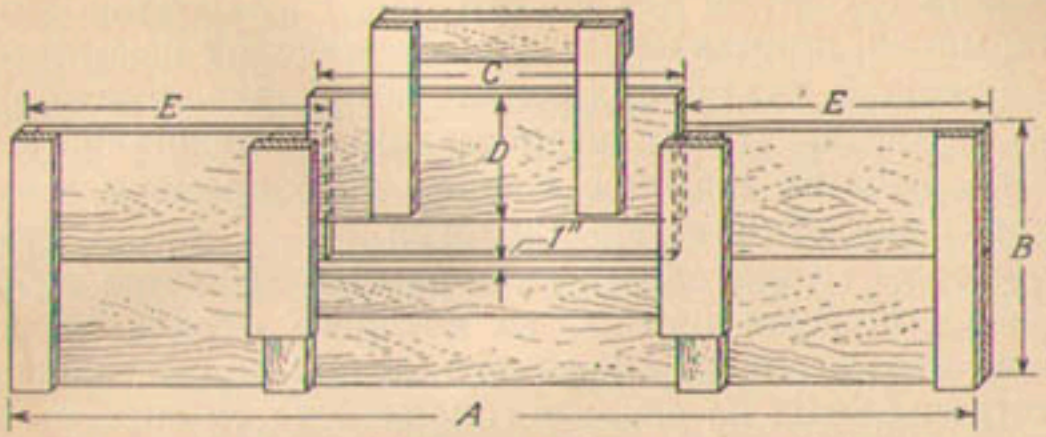
Фермерские оросительные сооружения и устройства делятся на две главные группы — постоянные и временные. В строгом смысле слова нет постоянных сооружений и устройств. Однако эти термины применяются к сооружениям и устройствам, остающимся на месте в течение одного и более оросительных сезонов. Временными называются сооружения, перемещаемые в течение каждого сезона или построенные для использования их только в одном сезоне. Желательна в дальнейшем классификация, основанная на назначении и применении данного устройства или сооружения. В классификацию должны быть включены устройства и сооружения для отвода воды, ее доставки к месту потребления и ее распределения согласно следующей схеме:

	Постоянные сооружения	Временные сооружения
Забор воды из источников	Регуляторы со щитами Отводные каналы Гидранты и задвижки Трубопроводы Распределительные ящики	Передвижные металлические перемычки Брезентовые перемычки Земляные перемычки Перемычки из соломы и земли
Транспортировка воды	Каналы Лотки Надземные трубы Подземные трубы	Канавы Соединительные трубы со скользящими муфтами Брезентовые шланги
Распределение воды	Надземные трубы Валики Дождевальные трубопроводы Дождевальные насадки	Борозды глубокие Борозды мелкие Полосы с валиками по сторонам Площадки (чеки) Передвижные системы дождевания

108. Постоянные сооружения для забора воды. У авторитетов в области орошения нет достаточной согласованности в отношении терминов, применяемых для обозначения некоторых сооружений, служащих для забора воды. Автор предлагает следующие термины, полагая, что заинтересованные специалисты смогут предложить лучшие термины еще до того времени, пока будет выработана стандартная терминология.

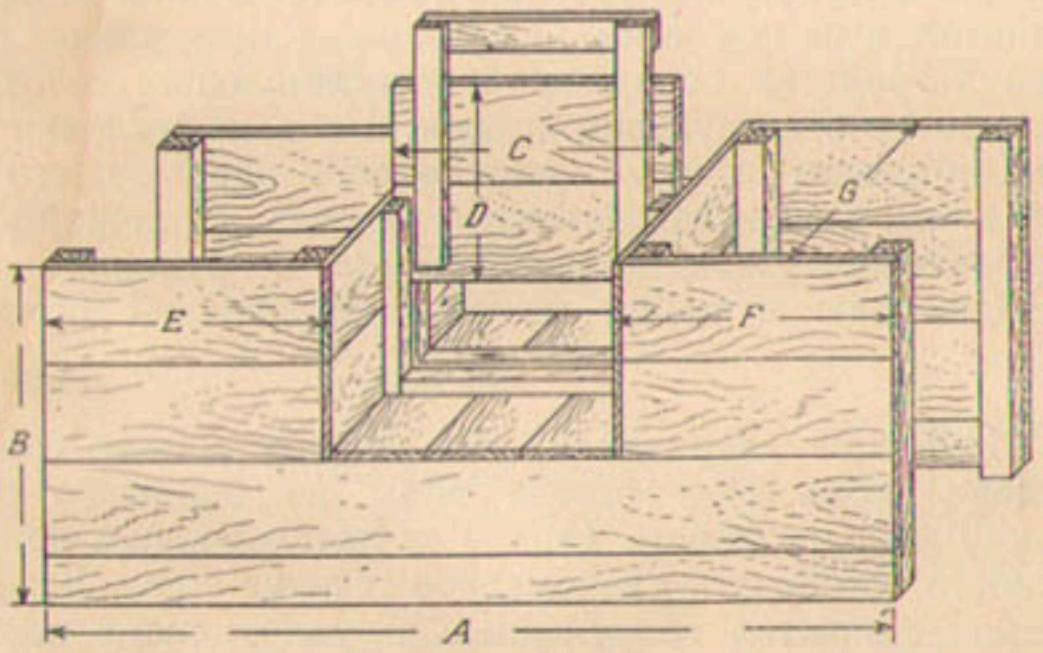
Регулятором со щитовыми затворами называется сооружение, поставленное поперек потока, из которого отводится вода. Его назначение аналогично назначению плотины или отводящего водослива, устраиваемых на реках в головной части системы каналов. Эти регуляторы со щитами устанавливаются поперек оросительных каналов для полного или частичного отвода воды из них. Такие регуляторы — щитовые затворы — составляют часть фермерских сооружений, служащих для отвода воды; они аналогичны головным затворам, устанавливаемым на реках. Назначение таких затворов: регулирование количества воды, поступающей в небольшие боковые отводы, — полевые каналы или борозды. На рис. 92 и 93 показаны типовые деревянные регуляторы со щитовыми затворами. Такие затворы можно применять и для отвода воды, хотя обычно для этого применяются трубчатые водовыпуски, особенно для отвода небольших количеств воды из крупных каналов. В регуляторах, устанавливаемых в крупных каналах, имеющих значительное колебание горизонта, желательна установка на дне потока узких щитов с тем, чтобы вода переливалась поверх щитов, а не под ними. О принципах гидравлики, лежащих в основе устройства сооружений, регулирующих и отводящих воду, говорится в следующем пункте. По ознакомлении с этими принципами станет ясна основательность предыдущего соображения. На рис. 94 показан бетонный регулятор удачной конструкции с деревянным узким щитом. Бетонное сооружение на канале для отвода воды в любом из трех направлений показано на рис. 95.

109. Принципы гидравлики, лежащие в основе сооружений для отвода воды. При отводе воды из большого распределителя или магистрального канала желательно, как правило, по возможности обеспечить равномерное течение воды. В результате ливней или закрытия сооружения, регулирующего поступление воды, уровень ее в канале может быстро повыситься. Увеличившийся расход воды в канале должен пройти в нем с наименьшими, по возможности, препятствиями. Эти два условия, т. е. приблизительно равномерность течения и наличие в канале минимальных препятствий для течения воды, могут быть обеспечены применением подводных трубчатых водовыпусков и узких щитов, работающих в качестве перегораживающих сооружений



Сконструировано для расходов воды, л/сек	A м	B м	C м	D м	E м	Ширина досок, см
28-56	2,4	0,6	0,9	0,3	0,75	2,5
56-140	2,7	1,05	0,9	0,6	0,9	4,0
140-225	2,7	1,05	1,2	0,6	0,9	4,0

Рис. 92. Стандартный деревянный регулятор со щитом.



Сконструировано для расходов воды, л/сек	A м	B м	C м	D м	E м	F м	G м
85-170	2,7	1,05	0,9	0,6	0,9	0,9	0,6
170-285	3,6	1,2	1,2	0,6	1,2	1,2	0,75
285 и более	4,2	1,2	1,5	0,6	1,35	1,35	0,75

Рис. 93. Стандартный деревянный регулятор со щитом.

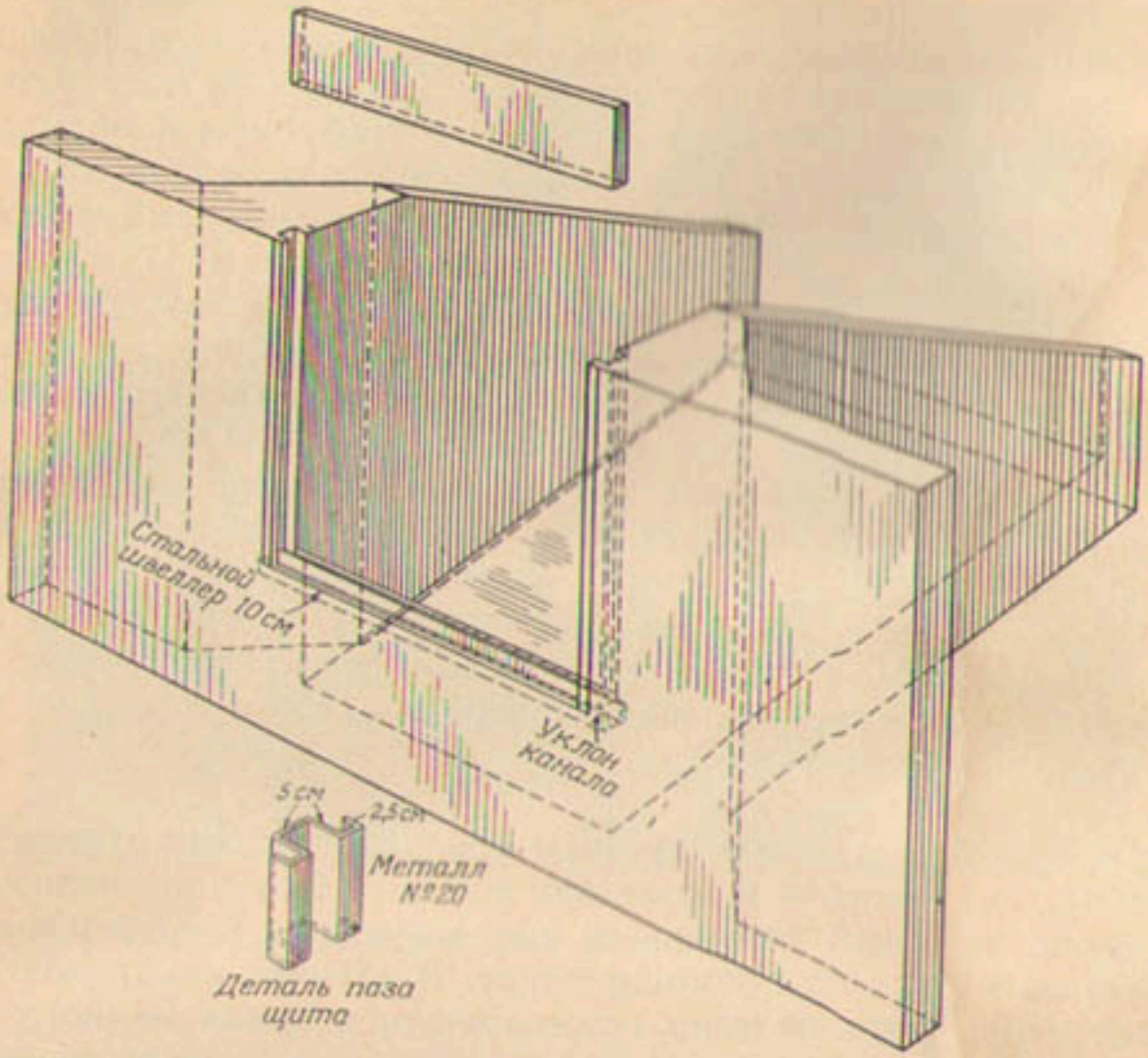


Рис. 94. Бетонный регулятор с деревянным узким щитом.

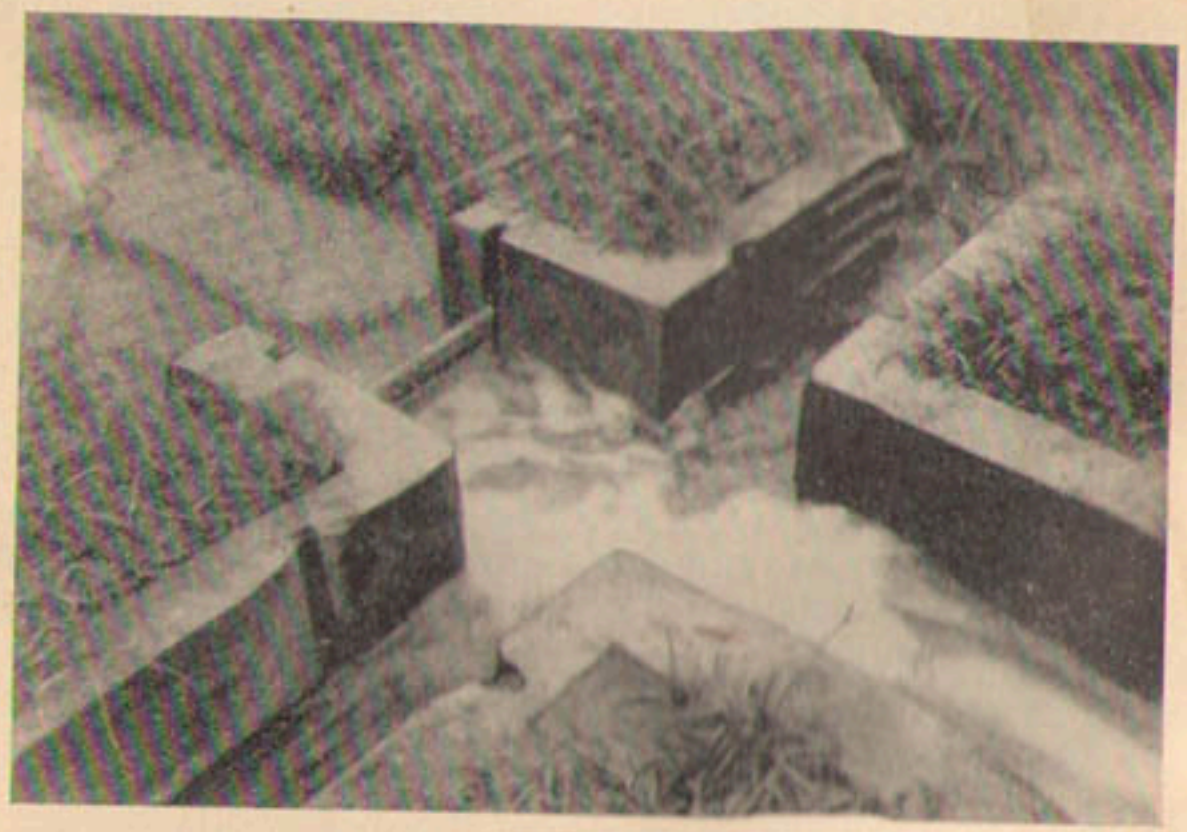


Рис. 95. Бетонный вододелитель с отводом воды в любом из трех направлений.

на магистральном канале, поднимающих уровень воды выше регулирующих щитов. Такая регулировка избытка воды дает возможность отводить некоторое ее количество в требуемом направлении. Для ясного понимания принципов, лежащих в основе этих устройств, обратимся к гл. 3, где говорится о методах измерения расходов воды, в частности к уравнениям (4) и (7). Из уравнения (7) видно, что высота H изменяется соответственно степени $^2/_3$ значения расхода воды q. Отсюда следует, что для увеличения вдвое расхода воды, проходящей над регулирующим щитом, глубину необходимо увеличить только в 1,59 раза.

Уравнение (4) показывает, что h изменяется пропорционально квадрату q. Отсюда следует, что для удвоения расхода воды, проходящей через затопленный водовыпуск, действующий напор h должен быть увеличен в четыре раза по сравнению с начальным напором. Поэтому токи воды через затопленные регуляторы подвержены меньшим колебаниям, чем текущие через переливные водовыпуски.

110. Временные водовыпускные сооружения. Для отвода воды из небольших каналов в хозяйстве во многих случаях пользуются только временными земляными перемычками, сооружаемыми в требуемых местах при помощи лопат. В случаях некоторых легко размываемых почв полезно примешивать к земле немного перепревшей частично соломы или сорняков и укреплять перемычку деревянными кольями, забитыми в дно канала. Временные земляные перемычки не пригодны для прегражденния потоков с расходом в 56 *л/сек* и выше, а при некоторых почвах бывает затруднительным пользоваться земляными перемычками даже при расходе в 28 *л/сек*.

Затрата рабочей силы значительно уменьшается при применении переносных металлических или брезентовых перемычек, показанных на рис. 96 и 97. Металлические переносные щиты более пригодны для прегражденния ими малых потоков, так как при потоках с расходами 140 *л/сек* и более вес металлического щита настолько велик, что перемещение его с одного места на другое затрудняется. Брезентовые перемычки применяются для отвода потока с расходом 225 *л/сек* и более. Однако и потоки с расходом 56 *л/сек* прегражданются легко переносимыми брезентовыми перемычками с размерами $1{,}5 \times 1{,}8$ *м*. Для изготовления брезентовых перемычек требуется тяжелый прочный брезент плотного тканья, выдерживающий значительный напор воды без чрезмерного просачивания ее через ткань.

111. Водопроводящие сооружения. Термин «сооружение», применяемый в этой главе, относится к каналам, вырытым в земле, и земляным валикам в такой же степени, как к устройствам из

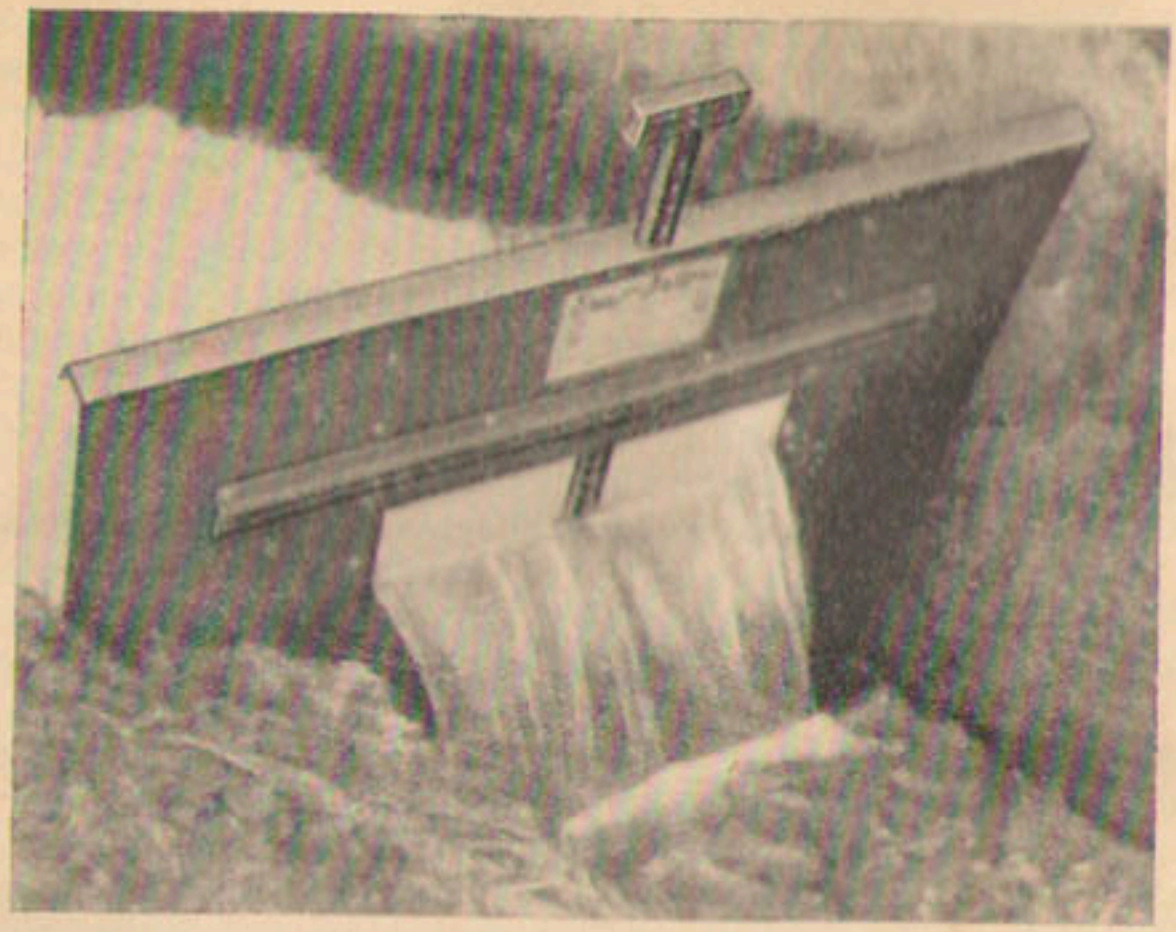


Рис. 96. Стальной переносный регулирующий щитовой затвор.

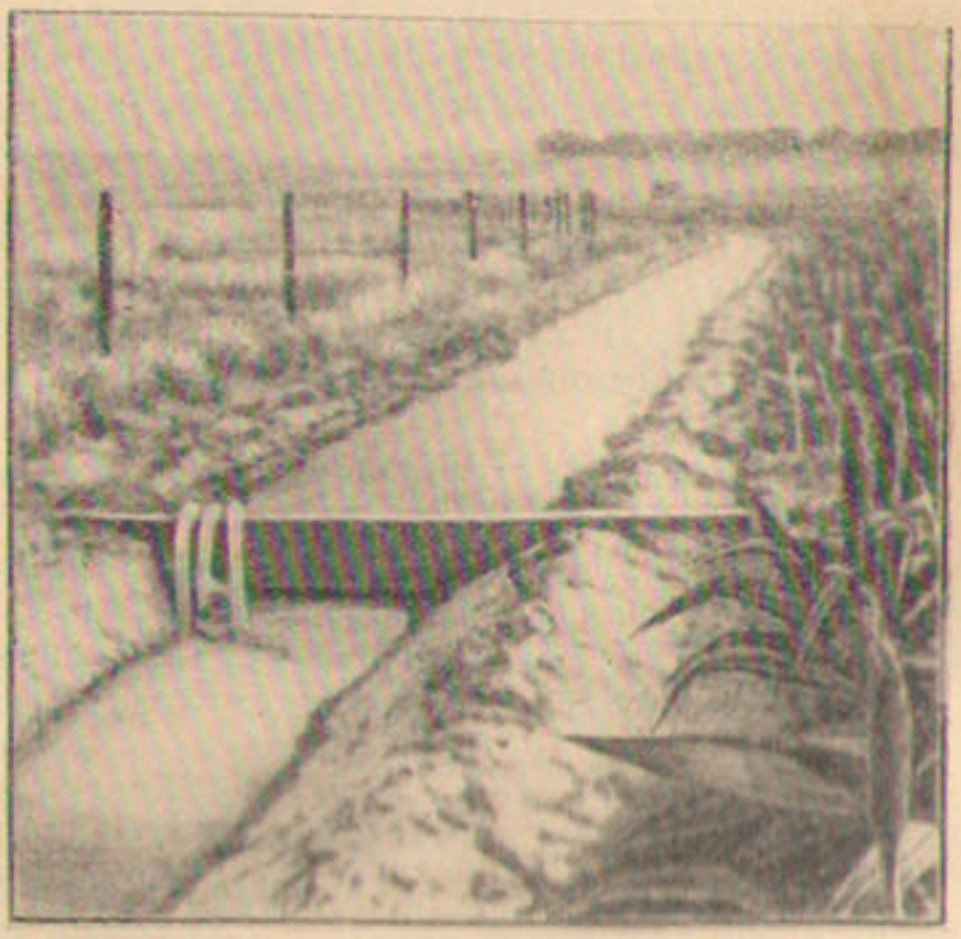


Рис. 97. Перемычка, установленная в оросительном канале.

дерева, бетона или металла. Большинство сооружений, проводящих воду, строится в западных штатах из грунта. Количество воды, которое пропускает канал, проложенный в грунте, можно определить уравнениями и таблицами из гл. 4. По материалам гл. 4 дается возможность рассчитать также расход воды, который может быть пропущен трубопроводами и лотками. Подача воды под напором по подземным бетонным трубам в разные места фермерских хозяйств получает все большее распространение, особенно для орошения фруктовых садов.

При применении обычных способов полива напуском многолетних культур, например люцерны, а также фруктовых садов все каналы сооружаются в виде более или менее постоянных. Для орошения зерновых культур — пшеницы, овса, ячменя, как правило, пользуются временными каналами и бороздами, нарезываемыми обычным плугом по более возвышенным местам поля.

Владельцы орошаемых земель особенно заинтересованы в устройстве небольших постоянных каналов, подающих воду нескольким хозяйствам. Такие каналы роются с помощью плуга или небольших моторизованных канавокопателей. Обычно принято и считается удобным прокладывать оросительные каналы вдоль границ хозяйства даже в том случае, если уклон поверхности здесь разнообразен. В местах с большим уклоном следует предохранять каналы от размыва, а на участках с малым уклоном важно принять меры против зарастания сорняками и травами для поддержания удовлетворительной пропускной способности канала.

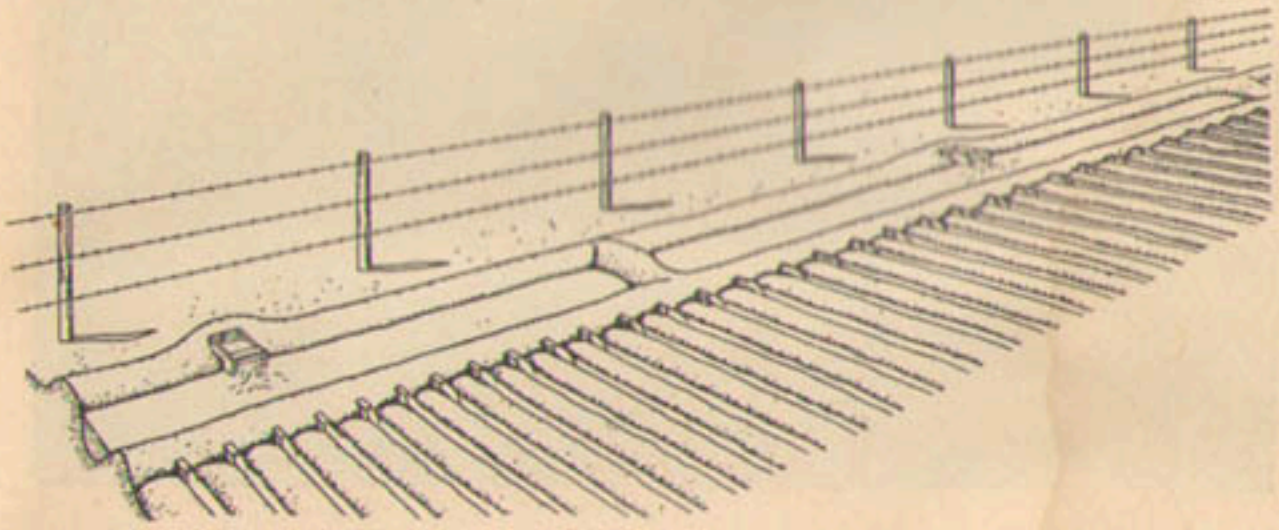
112. Сооружения для распределения воды. В гл. 6 описано пользование валиками, глубокими и мелкими бороздами как средствами распределения воды на поверхности поля. В той же главе уделяется внимание передвижным оросительным дождевальным системам.

На земельных участках с неправильным, неоднообразным рельефом потери воды вследствие фильтрации в почву велики, и поэтому вода обходится дорого. На таких орошаемых участках вода иногда распределяется с помощью передвижных надземных труб. Передвижные трубы изготовляются из оцинкованной стали и из брезента; обычно последние называются брезентовыми шлангами.

Пользование трубами со скользящими соединительными муфтами ограничено применением их в хозяйствах с небольшими площадями в нескольких орошаемых районах. Такая система труб не рекомендуется для крупных хозяйств и для хозяйств в горных районах. В хозяйствах с разнообразным характером поверхности, где имеются только небольшие ручьи, система труб со скользя-

щими муфтами, применяемая для распределения воды, повышает эффективность ее использования.

113. Бетонные подземные трубопроводы. В штатах Калифорния, Орегон, Вашингтон, в некоторых частях штатов горных районов, а также в штатах Аризона и Нью-Мексико получают все



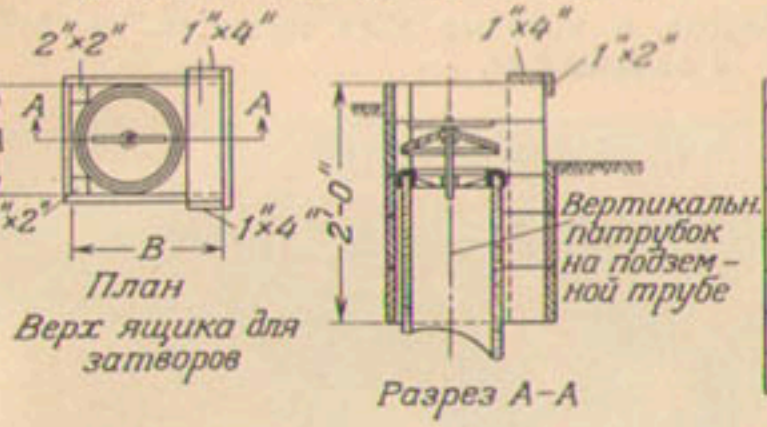


Таблица размеров ящика

Размеры патрубка, дюймы	Размеры ящика, дюймы	
	A	B
8"	11"	15"
10"	13"	17"
12"	16"	20"
14"	18"	24"
16"	20"	26"

Рис. 98. Подача воды в каналы с применением подземной системы труб с задвижками на вертикальных патрубках. С помощью передвижных ящиков в устье патрубков устраняется размыв вокруг задвижек на песчаных почвах, и вода направляется в оросительные каналы.

большее распространение бетонные трубопроводы для распределения оросительной воды. В западных штатах проложены под землей тысячи километров оросительных бетонных труб. Из таких подземных трубопроводов вода поднимается по вертикальным патрубкам и, пройдя через задвижки, поступает в оросительные канавы, на площадки (чеки) или в лунки. Для предупреждения размыва почвы вокруг устья вертикального патрубка устанавливают специальные ящики из дерева или бетона, как это показано в сечении $A — A$ на рис. 98. Из бетонного вертикального патрубка вода течет в распределительный канал. По краям канала укладывают куски труб длиной около 0,9 *м* и диаметром 2,5—5 *см* и более, служащие для подачи воды из канала в борозды. Такие трубы изготовляются из пластмассы или металла; некоторые

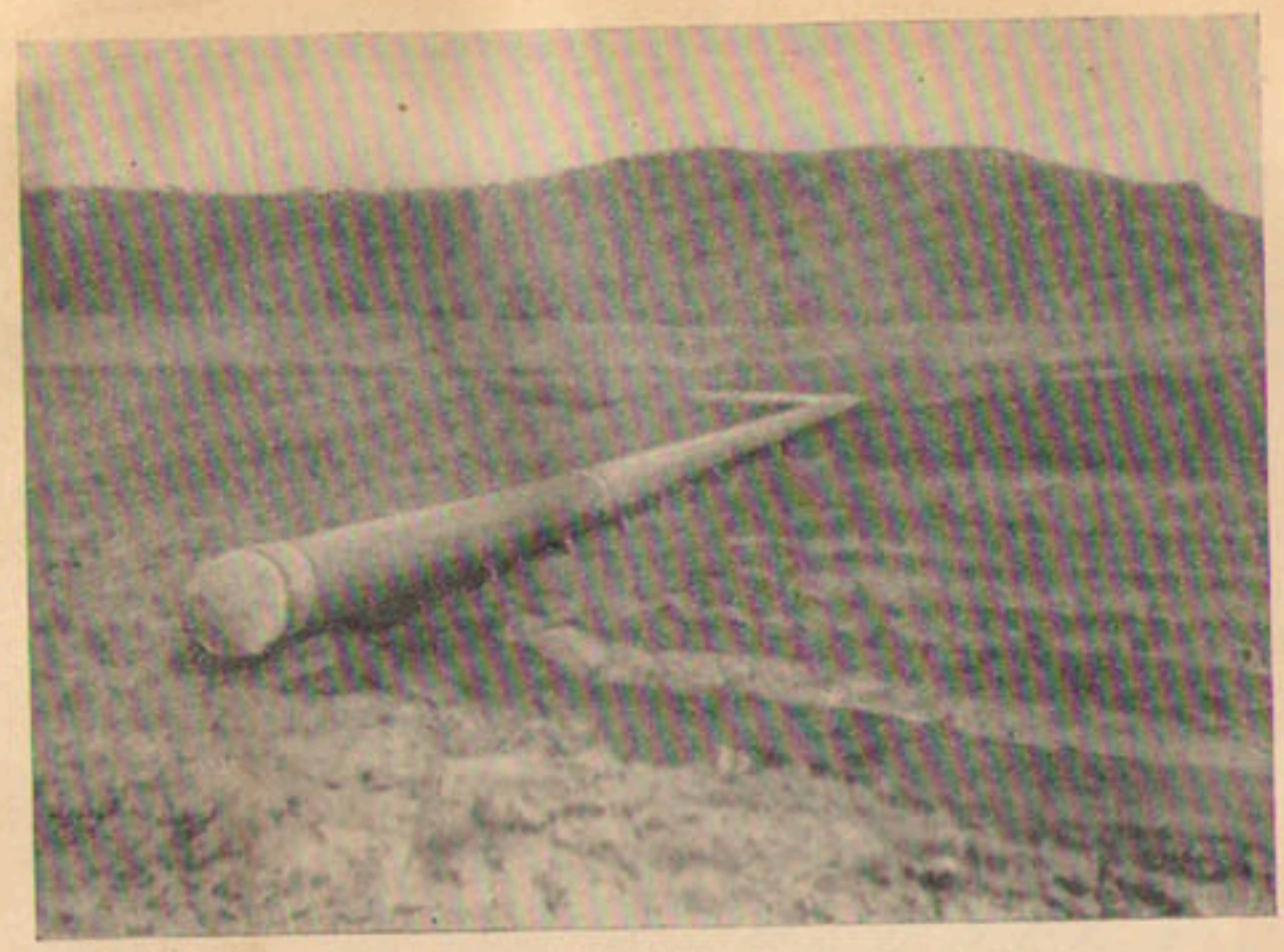


Рис. 99. Четырнадцать борозд, в которые вода подается из трубы с задвижками.



Рис. 100. Открытие задвижки для напуска воды в борозды из подземной бетонной трубы.

фермеры предпочитают трубы из деревянной клепки. Значительно увеличилось применение также алюминиевых труб, снабженных задвижками.

Легкими надземными трубами с задвижками, упоминаемыми в гл. 6, иногда пользуются и при применении подземных бетонных распределительных труб. Такие трубы с задвижками в этом случае присоединяются к вертикальным бетонным трубам, и таким образом одновременно решается задача предохранения почвы от размыва вокруг вертикальной трубы и обеспечивается полный контроль над количеством воды, поступающим в каждую борозду. На рис. 99 показано применение такой трубы для подачи воды на поверхность.

Из рис. 100 видно, насколько удобно и легко регулировать количество воды, поступающей в каждую борозду из подземной трубы, пользуясь задвижкой на распределительной трубе на поверхности.

Глава 8

ОСНОВНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПОЧВОЙ И ВОДОЙ

Знание взаимосвязи между почвой и водой важно для всех работников оросительных предприятий, которые могут улучшать практику орошения. Это знание полезно и для сельских хозяев, стремящихся использовать в возможно большей степени воду, поступающую в их хозяйства.

Исходным материалом для образования минеральных почв являются горные породы; почва только некоторых, ограниченных по размерам, площадей образовалась преимущественно из органических веществ. Разрушение горных пород с образованием мельчайших частиц, составляющих теперь почву, — результат механического распада и химического разложения.

Главы 8—12 посвящены рассмотрению взаимоотношений между почвой и водой, причем особое внимание уделено влиянию воды и почв на практику орошения и дренирования.

В число особо важных для орошаемых районов факторов взаимодействия почвы и воды входит способность хорошо дренированных почв сохранять воду, необходимую для растений, и обеспечивать ее передвижение в почве. Засоление и осолонцевание почв, а также перемещение и концентрация в них растворимых солей являются следствием движения в почве воды и ее испарения.

Гл. 8 посвящена определению свойств почв и сведениям об основных взаимоотношениях между почвой и водой. В гл. 9—12 рассмотрены вопросы накопления и движения воды в почве, а также задачи, возникающие в связи с засолением почв; рассмотрены также методы дренирования почв.

115. Влажность почвы и ее значение. Значение влажности почвы для развития растений очень велико. Чрезмерное количество воды в почве замедляет развитие растений и вызывает необходимость дренирования почвы. Бесплодность почв засушливых районов обычно объясняется недостатком в них воды. Орошение является средством борьбы с недостаточной влажностью почв. При разумной практике орошение, основанное на понимании взаимодействия почвы и воды, может стать также средством предупреждения или, по крайней мере, замедления процесса забола-

чивания почвы. Поэтому необходимо знать основные физические законы, по которым происходят распределение, накопление и движение воды в почвах, и экономно пользоваться водой в ненасыщенных ею почвах.

На межмолекулярные силы сцепления и на натяжение водяных пленок в ненасыщенных водой почвогрунтах влияют механическое строение и структура почвогрунтов. Эти силы вызывают в ненасыщенных почвах капиллярные явления, представляющие особый интерес при изучении взаимодействия воды и почвы. Тесное соприкосновение частиц почвы с обволакивающими их тонкими пленками воды создает силы притяжения, достигающие большой величины.

В гл. 9 рассмотрены формы воды в ненасыщенных почвах и методы измерения влажности почвы.

118. Механический состав почвы. Минеральные частицы почвы классифицируются по размерам на три главные фракции: песок, ил и глина. Размеры частиц каждой фракции находятся в известных пределах: частицы диаметром от 2 до 0,06 *мм* составляют песок, от 0,06 до 0,002 *мм* — ил и диаметром менее 0,002 *мм* — глину. Частицы песка на ощупь шероховаты; их можно обнаружить без труда невооруженным глазом. Частицы ила едва различимы невооруженным глазом; при рассмотрении их и на ощупь они напоминают муку. Отдельные частицы фракций глины (многие из них состоят из неорганических коллоидов) неразличимы глазом, а значительную часть их составляют настолько малые частицы, что они невидимы даже в микроскоп. Именно такая фракция глины, состоящая из мельчайших частиц, вызывает разбухание почвы и делает ее липкой, а при высыхании заставляет почву сжиматься и сообщает ей хрупкость.

Если основным процессом формирования почвы служило механическое разрушение породы, то почва содержит относительно крупные частицы. Размеры частиц почвы определяются словом «строение». Песчаные почвы определяются как почвы крупнозернистого строения, суглинистые — среднезернистые и глинистые — мелкозернистые. Механический состав почвы оказывает весьма большое влияние на передвижение в ней воды, циркуляцию воздуха и на скорость и характер химических реакций, важных для жизни растений. Сельский хозяин не в состоянии изменить механический состав почвы на своих землях какими-либо практическими мероприятиями. Размеры частиц почвы сильно влияют на ее продуктивность. Размеры почвенных частиц особенно важны для орошаемых хозяйств, так как величиной частиц в значительной степени определяется количество воды, которое может быть накоплено в почве на данной глубине.

Службой охраны почвы (Soil Conservation Service) установлена классификация почв, основанная на их механическом составе, предусматривающая одиннадцать групп почв. В классификации для каждой почвы указано содержание (в процентах по весу) песка, ила и глины.

Механический состав почв

1. Песчаные — почвы с содержанием от 0 до 10% ила и добавлением глины.
2. Супесчаные — почвы с содержанием от 10 до 20% ила и добавлением глины.
3. Легкие суглинки — почвы с содержанием от 0 до 27% глины и от 55 до 80% песка; в эту группу включены также почвы с содержанием от 0 до 10% глины, менее 50% ила и менее 55% песка.
4. Суглинистые — почвы с содержанием от 10 до 27% глины, менее 50% ила и менее 55% песка.
5. Илисто-суглинистые — почвы с содержанием от 0 до 27% глины и 50% и более ила.
6. Песчано-глинистые суглинки — почвы с содержанием от 27 до 40% глины и более 45% песка.
7. Тяжелые суглинки — почвы с содержанием от 27 до 40% глины и от 20 до 45% песка.
8. Илисто-песчаные суглинки — почвы с содержанием от 27 до 40% глины и 20% и менее песка.
9. Песчано-глинистые — почвы с содержанием от 40 до 60% глины и от 40 до 60% песка.
10. Глинистые — почвы с содержанием 40% и более глины, 40% и менее песка и 40% и менее ила.
11. Илисто-глинистые — почвы с содержанием 40% и более глины и 40% и более ила.

119. Структура почв. В почвах с относительно однообразным механическим составом между частицами имеются сравнительно большие промежутки. Почвы же, частицы которых по размерам значительно отличаются друг от друга, могут быть более уплотнены, вследствие чего промежутки между частицами в них малы. Орошаемые мелкозернистые почвы при правильном уходе за ними состоят из мелких комочков, причем каждое зерно состоит из многих почвенных частиц. В противоположность этому у крупнозернистых почв каждая частица существует обособленно. Наличие зерен является показателем желательной структуры почвы. Чрезмерное орошение, вспашка и другие виды обработки мелкозернистых почв при влажном их состоянии способствуют разрушению указанных зерен. Почву, подвергшуюся столь несоответствующей обработке, называют распыленной; такая почва обладает неудо-

влетворительной структурой. Хорошая мелкозернистая структура почв существенно необходима для удовлетворительной циркуляции в ней воды и воздуха.

Благоприятная для земледелия структура почвы, что устанавливается специалистами-почвоведами, является ключом к ее плодородию. Соответствующие количества химических питательных элементов в почве, хотя и необходимых для жизни растений, еще не обеспечивают удовлетворительного их развития и получения хороших урожаев. Проницаемость почв для воды и воздуха, обеспечиваемая их благоприятной структурой, также важна для развития культур, как и достаточное снабжение почвы питательными веществами.

120. Истинный удельный вес. Истинный удельный вес почвы — безразмерная величина; определяется он как отношение веса отдельной частицы почвы к весу воды, взятой в объеме, равном объему частицы почвы. Удельный вес минералов, из которых обычно образована почва, различается в пределах от 2,5 до 5 и более. Почвы в большей части своей массы состоят, как правило, из немногих минералов, в частности из таких, как кварц и полевой шпат. Истинный удельный вес почв с малым содержанием органического вещества колеблется мало и в среднем близок к величине 2,7 — удельному весу кварца. Некоторые орошаемые почвы, образовавшиеся преимущественно из органических веществ, обладают истинным удельным весом в пределах от 1,5 до 2,0, в зависимости от содержания в них минеральных веществ.

121. Кажущийся удельный вес. Кажущийся удельный вес почвы определяют как отношение веса данного объема сухой почвы, включая воздух, находящийся в порах, к весу равного ему объема воды. Это отношение известно также под названием «объемный вес» почвы. На величину кажущегося удельного веса влияет структура, т. е. строение почвенных частиц, механический состав почвы и ее плотность.

Кажущийся удельный вес — свойство почвы, имеющее большое значение для орошаемых земель в сельском хозяйстве. Это будет более подробно показано при рассмотрении вопроса о способности почв удерживать оросительную воду.

Уплотнение почвы данного истинного удельного веса увеличивает кажущийся удельный вес, так как уплотнением уменьшаются промежутки между частицами, вследствие чего уменьшается и общий объем пор. Обрабатывая орошаемые почвы, необходимо знать их кажущийся удельный вес для того, чтобы установить количество воды, необходимое для поливов, так как непосредственным измерением практически трудно определить объем воды, содержащейся в данном объеме почвы в виде

почвенной влаги. Необходимо определить вес воды в данном образце почвы путем наблюдения за потерями веса при высушивании проб, после чего перевести проценты по весу в проценты по объему, пользуясь для этого кажущимся удельным весом (см. уравнение 34, гл. 9). Таким образом может быть определен объем воды в данном объеме почвы. Необходимо знать кажущийся удельный вес почвы в ее естественном состоянии.

Измерения кажущегося удельного веса почв нескольких типов в их естественном состоянии в долине Сакраменто в Калифорнии привели к следующим результатам:

Вид почв	Кажущийся удельный вес
Илисто-суглинистые с тонкопесчанистыми суглинистыми подпочвами	1,15
Илисто-суглинистые	1,31
Тяжелосуглинистые	1,35
Глинистые	1,69

В гл. 9 рассмотрено влияние указанного различия кажущегося удельного веса почв на общий объем пор в связи с рассмотрением вопроса о влагоемкости почв.

122. Скважность (порозность). Представим себе шарик диаметром 1 дюйм с объемом 0,524 куб. дюйма. Если этот шарик поместить в ящичек объемом в 1 куб. дюйм, то в ящичке останется объем 0,476 куб. дюйма, заполненный воздухом, что составляет 47,6% объема ящичка. Такие же объемы воздуха в процентах будут оставлены любым количеством шариков любого диаметра, расположенных в виде вертикальной колонны, как показано в левой части рис. 101. Если же шарики расположить наискось, как показано на правой стороне рис. 101, то объем воздуха составит только 25,9% общего объема шариков и воздуха. Это свидетельствует о том, что могут иметь место значительные колебания величины объема пор при изменении расположения сферических частиц; но такие перемещения сферических частиц не дают представления о максимальных колебаниях объема, занятого в почве порами. В почве наблюдается значительное различие в величине почвенных частиц и в их форме, и это различие оказывает влияние на плотность соприкосновения и на взаимное расположение больших и малых частиц, чем и определяется порозность почвы, обозначаемая символом S. В общем, почвы грубого строения — гравелистые и песчаные — обладают меньшей порозностью, а почвы тонкого состава — глинистые, суглинки и глины —

большей. Порозность орошаемых почв часто измеряется в пределах от 30 до 60%. Некоторые глинистые почвы, в противоположность общему правилу, очень плотны. В долине Сакраменто

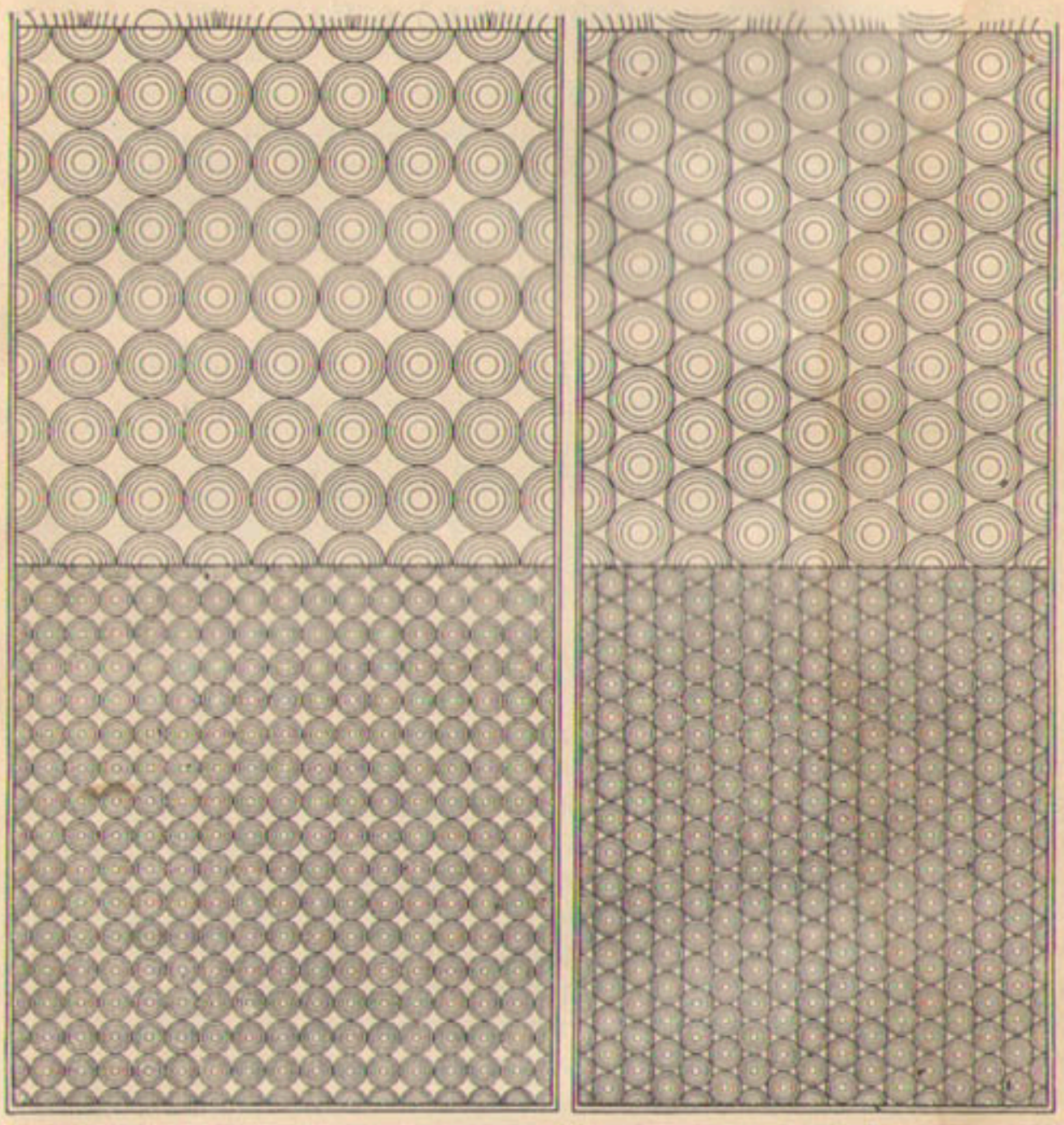


Рис. 101. Схемы расположения округлых частиц почв при максимальной и минимальной порозности последних.

в Калифорнии имеются известные мелкозернистые почвы с порозностью всего 36%. Чтобы вычислить процент скважности S, необходимо знать истинный и кажущийся удельные веса почвы. Отношение кажущегося удельного веса к истинному прямо пропорционально объему, занятому почвой; вычитая это отношение из единицы и помножая на 100, получим уравнение, определяющее

величину порозности в процентах:

$$S = 100\left(1 - \frac{A_S}{R_S}\right), \tag{31}$$

где S — пространство пор (порозность) в %;
A_S — кажущийся удельный вес;
R_S — истинный удельный вес.

В механике почв часто пользуются термином «порозность», эквивалентным термину «пространство пор». Термин «порозность» определяется как отношение объема пустот (объем, занятый воздухом и водой) к общему объему почвы вместе с водой и воздухом.

123. Инфильтрация. Свойством, весьма важным для орошения, является скорость, с которой вода впитывается в почву; это свойство называется инфильтрацией.

Инфильтрация представляет собой передвижение воды с поверхности вглубь почвы. Обычно скорость инфильтрации значительно больше при начале полива или дождя, чем через несколько часов. На инфильтрацию оказывают влияние свойства почвы, а также гидравлический уклон. Поверхностное натяжение жидкости, о котором говорится в гл. 9 и 10, может быть вскоре после увлажнения почвы равно нулю в поверхностном ее слое высотой около 2,5 *см,* но может быть очень высоким на большей глубине, что создаст значительную силу, направленную вниз и заставляющую воду передвигаться вглубь в почву, не насыщенную водой. Несколько часов спустя после начала увлажнения эта разница может стать очень незначительной, и главной силой, вызывающей инфильтрацию, будет сила тяжести. Уменьшение инфильтрации через некоторое время после начала увлажнения почвы важно для дела изучения стока дождевых осадков с поверхности при орошении. Вода, поступающая на гравелистые или грубопесчанистые почвы, просачивается вглубь настолько быстро, что уровень поверхности слоя воды от поливов может понизиться на несколько дюймов в течение часа. С другой стороны, на мелкозернистых глинистых почвах вода может скопляться и оставаться на поверхности в течение нескольких дней без заметных признаков инфильтрации. Между этими двумя крайними пределами имеется большое количество значений скорости инфильтрации. Инфильтрацию удобно выражать в виде понижения поверхности воды в *см/час.* Например, если ровный, с горизонтальной поверхностью участок площадью в 1 *га* в 9 часов утра был покрыт слоем воды глубиной 5 *см,* а в 10 часов глубина его уменьшилась до 2,5 *см,* то скорость инфильтрации составит 2,5 *см/час,* если только пренебречь потерями от испарения.

124. Водопроницаемость почвы. Одним из наиболее важных свойств почв является их способность пропускать воду с той или иной скоростью под влиянием определенного напора. Водопроницаемость почвы определяется как скорость течения при гидравлическом уклоне (градиенте), равном единице, и движущей силе, равной 1 *кг* на 1 *л* воды. На водопроницаемость почвы не влияет гидравлический уклон, и в этом заключается основная разница между водопроницаемостью и инфильтрацией. Термином «водопроницаемость» пользуются также для обозначения течения воды через насыщенные водой почвы или в любом направлении. На водопроницаемость больше всего оказывают влияние физические свойства почвы. Изменения температуры воды в данном случае влияют мало. Термин «водопроницаемость почвы», выраженный в соответствующих обозначениях, определяется уравнениями в гл. 10, где указаны и типовые методы измерения водопроницаемости. В почвах, насыщенных водой, скорость фильтрации изменяется в широких пределах: от менее чем 30 *см* в год в плотных глинистых почвах до нескольких сотен и тысяч метров в течение года в гравелистых формациях. Для ненасыщенных почв влажность их является одним из важнейших факторов, влияющих на водопроницаемость. Водопроницаемость есть скорость с физической размерностью — длина, деленная на время.

125. Водопроводимость. Водопроводимость почв имеет близкое отношение к водопроницаемости. Разница между этими двумя терминами заключается только в выражении свойств почвы разными словами, но не относится к свойствам почвы. Водопроводимость определяется здесь как объем воды, протекающей в единицу времени через столб (колонну) почвы с поперечным сечением, равным единице площади, под действием силы на единицу массы, причем сила соответствует единице потенциала градиента. При таком определении водопроводимость пропорциональна водопроницаемости почвы, но не равна ей, так как физической размерностью проводимости является время, и отсюда — величина водопроводимости независима от изменения единиц силы и длины. Ознакомление с содержанием гл. 10 позволит уяснить в большей степени разницу между терминами водопроницаемость и водопроводимость.

126. Мощность почвенного слоя в засушливых районах. По сравнению с почвами влажных районов почвы засушливых районов отличаются относительно большей мощностью. Обычно условию мощности почвы (достаточной глубине почвенного покрова) придают меньшее значение, чем заслуживает этот фактор. Здесь

недооценивается значение почвы в отношении возможности накопления в ней необходимых запасов воды.

В орошаемых районах имеется много площадей с плодородными маломощными почвами, подстилаемыми на глубине 0,3—0,9 *м* крупным гравием, весьма плотной подпочвой или другими образованиями, обеспечивающими в малой степени или совсем не обеспечивающими питание растений. Для возможности развития растений на почвах малой мощности необходимы частые поливы. Обычно при орошении таких почв, подстилаемых крупнозернистыми песками с большой водопроницаемостью или гравием, имеют место чрезмерные потери воды в результате инфильтрации. Мощные почвы при среднем механическом составе и рыхлой структуре дают возможность корневой системе развиваться на значительную глубину и обеспечивают накопление больших объемов оросительной воды. Следовательно, эти почвы способствуют удовлетворительному равитию растений при относительно длительных промежутках времени между поливами. Количество воды, фактически поглощаемое корнями растений и обеспечивающее получение удовлетворительных урожаев, может считаться практически одинаковым и для мощных, и для маломощных почв. Однако все, кто имеет практический опыт, знают, что для получения урожая данной культуры на маломощной почве в период ее развития и созревания требуется большее количество воды, чем при возделывании той же культуры на мощной почве. Чем большее число поливов потребуется на маломощных почвах, тем больше будут бесполезные потери воды при каждом поливе, что отразится на общей потребности растений в оросительной воде в течение поливного сезона. Связь между мощностью почв и их способностью накоплять воду рассматривается ниже, в гл. 9.

127. Вещества, необходимые для питания растений. Для получения больших и качественных урожаев культур все почвы, как во влажных, так и в засушливых районах, должны получать достаточное количество питательных веществ, необходимых для растений. Для развития растений существенно необходимо присутствие в почве некоторых химических элементов. Наиболее важны: кальций, углерод, водород, железо, магний, азот, кислород, калий, фосфор, сера; эти элементы потребляются растениями в значительных количествах. Из-за скудной природной растительности целинные почвы в засушливых районах недостаточно богаты азотом. Растения усваивают азот в форме нитратов, растворимых в воде, содержащейся в почве в капиллярном состоянии. Для обеспечения почвы в достаточном количестве и доступной форме азотом существенно важно содержание азотистых органических веществ в орошаемых почвах. Такие вещества могут быть внесены в почву через навоз или возделыванием на

ней бобовых культур как зеленого удобрения или путем внесения в почву минеральных удобрений. Влажность почвы, ее структура и ее аэрация должны благоприятствовать развитию бактерий, что является необходимым для образования нитратов. Многими опытами с убедительностью было показано, что растения, возделываемые на почвах, обильных по содержанию элементов, необходимых для их питания, потребляют относительно малое количество оросительной воды на единицу веса урожая; но для получения больших урожаев требуется большее абсолютное количество воды, чем для получения обычных урожаев. Существенно необходимо, чтобы сельские хозяева в засушливых районах уделяли особое внимание плодородию их земель, эффективно пользуясь водой, необходимой для возделывания культур. Малые количества осадков, выпадающие в засушливых районах, способствуют относительно малому выщелачиванию почвы, вследствие чего почвы засушливых районов обычно богаты содержанием наиболее важных элементов, усваиваемых растениями, в частности кальцием и калием. Легкая структура почв в засушливых районах благоприятствует хорошей аэрации почвы на большую глубину и, следовательно, способствует деятельности бактерий на значительно большей глубине, чем в почвах влажных районов.

128. Избыток растворимых солей. Малое количество осадков, сильное испарение влаги и относительно слабое выщелачивание почвы являются в засушливых районах условиями, благоприятными для содержания в почве кальция, фосфора и калия в достаточных количествах. С другой стороны, теми же условиями вызывается накопление в почве излишних количеств растворимых солей, замедляющих развитие растений. Почвы с избытком растворимых солей определяются как солончаковые почвы, а почвы с избытком замещаемого натрия называются солонцовыми. Даже такие соединения, как нитраты натрия и нитраты калия, обычно являющиеся пищей для растений, при накоплении их в почве в чрезмерных количествах становятся вредными для растений. В засушливых районах имеются обширные площади высокоплодородных почв, для которых совершенно отсутствует опасность превращения в солонцы или солончаки.

Более того, некоторые из этих площадей никогда не подвергнутся вредному влиянию накопления избытка растворимых солей замещаемого натрия. В других районах такое накопление солей является причиной потери почвой плодородия. Много исследований проведено в целях разрешения вопроса о борьбе с переходом почв в солончаки и солонцы в западной части страны (США). Воды некоторых рек и ручьев засушливых районов содержат заметные количества растворимых солей, получаемых из

почв, через которые проходит вода, прежде чем она стекает в ручьи и реки.

129. Виды почвенной воды и ее доступность для растений. Почвенная вода может классифицироваться как гигроскопическая, капиллярная и гравитационная. Гигроскопическая вода находится на поверхности частиц почвы и неспособна перемещаться под действием силы тяжести или капиллярной силы. Капиллярная вода является излишком гигроскопической воды, находящимся в порах почвогрунта; этот вид воды сохраняет свое положение независимо от действия на него силы тяжести. Гравитационная вода является избытком гигроскопической и капиллярной

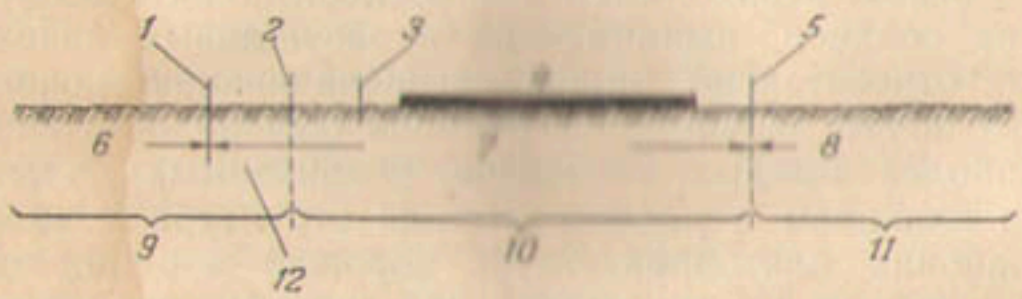


Рис. 102. Состояние воды в почве и ее доступность для усвоения растениями.

1 — граница коэффициента гигроскопичности; *2* — точка влажности увядания; *3* — ленто-капиллярность; *4* — зона оптимальной влажности; *5* — граница максимальной полевой влагоемкости; *6* — гигроскопическая вода; *7* — вода в капиллярном состоянии; *8* — вода в гравитационном состоянии; *9* — влага, недоступная для растений; *10* — влага доступная для растений; *11* — избыточная влага; *12* — влага, доступная в определенных условиях.

воды; она может быть удалена из почвы с помощью соответствующего дренажа. Эти три состояния почвенной воды нельзя точно разграничить. Процентное содержание воды каждого вида в общей ее массе зависит от механического состава почвы, ее структуры, содержания органических веществ, температуры и глубины залегания рассматриваемого слоя почвы.

Отношение указанных видов почвенной воды к влажности увядания и к максимальной полевой влагоемкости показано на рис. 102. Вода классифицируется также как доступная, недоступная и избыточная, или гравитационная (гл. 9). На рис. 102 показаны схематически соотношения между различными видами почвенной воды и зоны: доступной, недоступной и избыточной воды в почве.

130. Поверхностное натяжение воды. Поверхностное натяжение является следствием неуравновешенности молекулярных сил. В массе воды, взятой в некотором объеме, частицы внутри жидкости притягиваются во всех направлениях другими частицами жидкости с одинаковой силой (на рис. 103 это показано в точке *A*). Частица же на поверхности воды не притягивается дру-

гими частицами со всех сторон одинаково, так как молекулы воздуха, соприкасающиеся с частицей сверху, притягивают частицу с меньшей силой, чем частицы жидкости, находящиеся внутри массы воды. Вследствие этого возникает результирующая сила, направленная внутрь жидкости перпендикулярно к поверхности, как это показано на рис. 103 в точках *B* и *C*.

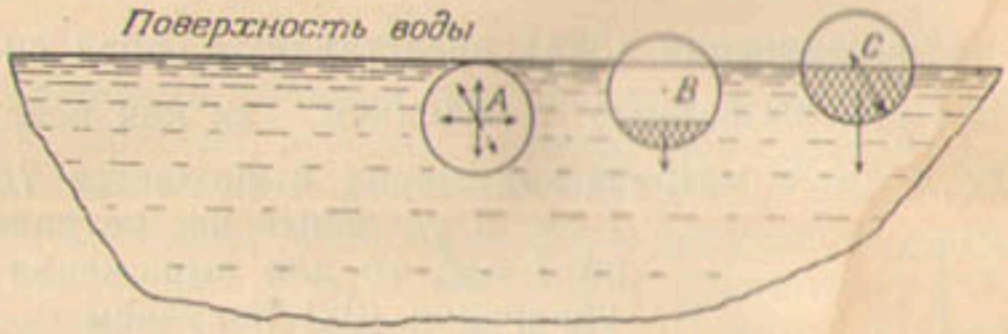


Рис. 103. Схема поверхностного натяжения, возникающего под действием неуравновешенных молекулярных сил.

131. Величина поверхностного натяжения воды. Вода в капиллярной трубке (рис. 104) удерживается на высоте h над поверхностью воды вследствие действия силы, вызванной поверхностным натяжением и направленной вверх.

Примем

F_u — равнодействующая сила, направленная вверх;
F_d — равнодействующая сила, направленная вниз.

Так как вода находится в покое, то $F_u = F_d$. В целях анализа примем угол соприкосновения между водой и стеклянной трубкой равным нулю. Тогда сила, направленная вверх, определится как произведение длины окружности поперечного сечения трубки, помноженной на поверхностное натяжение воды, а сила, направленная вниз, — как объем воды в трубке, помноженной на удельный вес воды w.

Можно написать, следовательно, уравнение

$$F_d = \pi r^2 h_t w = F_u = 2\pi r T,$$

откуда следует, что

$$h_t = \frac{2T}{rw}. \qquad (32)$$

Равенство (32) выражает высоту, на которую поднимается вода в капиллярной трубке радиусом r вследствие поверхностного натяжения T воды.

Сила T здесь называется силой поверхностного натяжения. Незаполненные водой поры в почве образуют вогнутости на поверхности воды, частично вошедшей в них, подобно тому, как это наблюдается в капиллярной трубке на рис. 104, причем воз-

никают всасывающие силы или силы натяжения, стремящиеся поднять воду в почве из зоны с высокой влажностью к зоне с меньшей влажностью.

Умножая каждую часть уравнения (32) на w, получаем

$$wh_t = \frac{2T}{r}. \qquad (32а)$$

Обе части уравнения (32а) представляют собой силу с размерностью $\left(\frac{F}{L^2}\right)$, вызванную натяжением. Так как поверхностное натяжение воды в метрических мерах выражается 75,6 *дн* на 1 *см*, а удельный вес ее равен 980 *дн* на 1 *см*^{3}, то для выражения T и w в уравнении (32) получаем

$$h_t = \frac{2 \cdot 75{,}6}{980} = \frac{0{,}15}{r}. \qquad (33а)$$

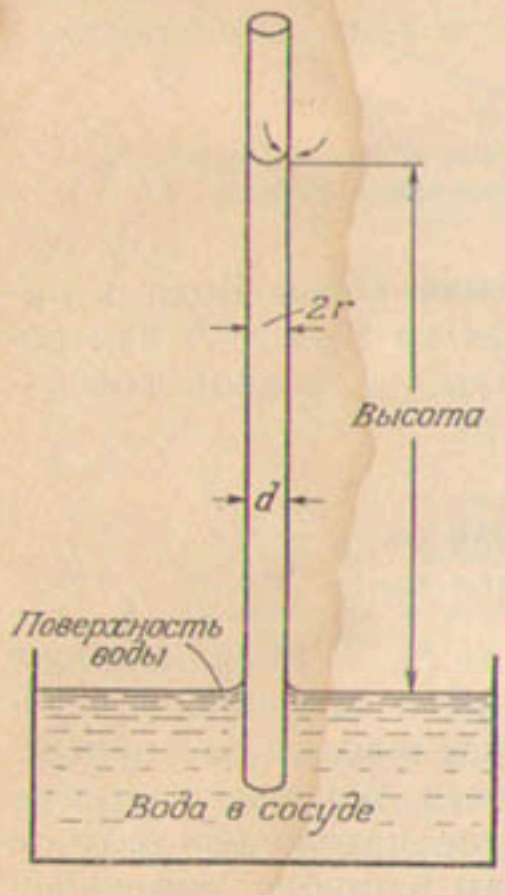


Рис. 104. Схема, показывающая подъем воды в капиллярной трубке над поверхностью воды в сосуде под действием поверхностного натяжения.

Уравнение (33а) выражает высоту в сантиметрах, на которую поднимется вода с температурой 4° в капиллярной трубке радиусом r *см*.

Рассуждая таким же образом, как при выводе уравнения (33а), и применяя свои выводы для идеальной почвы, у которой капиллярные трубки имеют поперечное сечение в виде треугольника, Кин показал, что наибольшая высота подъема воды (в *см*) приблизительно определяется уравнением

$$h_t = \frac{0{,}75}{r} \quad \text{и} \quad h = \frac{1{,}5}{d}, \qquad (33в)$$

где r — радиус частиц почвы в миллиметрах.

Ввиду большого разнообразия естественных почв и вследствие изменения в размерах капиллярных трубок (пор) фактически высота капиллярного поднятия воды обычно меньше вычисленных при помощи уравнения (33в). В общем, при средних условиях благодаря капиллярной силе вода свободно поднимается на высоту 1,2—1,5 *м*, относительно легко — до 3 *м* и медленно — на высоту более 3 *м*.

Уравнение (33в) показывает, что пленочное натяжение почвенной влаги увеличивается с уменьшением радиуса пленки капиллярной воды. Почвы данного механического состава и структуры с незначительным процентным содержанием воды обладают

поэтому высоким капиллярным натяжением, в то время как те же почвы с высоким процентом содержания воды имеют малое натяжение жидкости. Этими фактами объясняются некоторые отношения между водой и почвой, как, например, уменьшение количества капиллярной воды при увеличении высоты натяжения над уровнем воды, находящейся в состоянии равновесия.

132. Тензиометры. Натяжение или капиллярное поднятие воды ненасыщенными почвами определяется с помощью наполненных водой пористых сосудов, которые помещаются в сухую почву и присоединяются к ртутному манометру. Под действием капиллярного натяжения вода через поры сосудов перемещается в почву, что заставляет ртуть в манометре подниматься. О пользовании тензиометрами говорится в гл. 10 при рассмотрении связи между энергией почвенной влаги и движением воды в ненасыщенных почвах.

133. Условия равновесия воды в почве. Представим себе внутри вертикального столба почвы единицу ее объема на высоте h_n над поверхностью свободной воды, как это показано на рис. 105. Говоря об условиях равновесия, следует считать, что неуравновешенные силы отсутствуют, а следовательно, и нет передвижения жидкости. Состояние равновесия достигается с трудом. Для этого требуется много времени, при этом необходимо поддержание постоянной температуры и противодействие испарению воды. Однако в целях ясности содержания настоящей главы необходимо представить себе, как достигаются условия равновесия.

Примем два следующих условия:

1) 1 $см^3$ выбран как единица объема;

2) средняя влажность почвы внутри 1 $см^3$ составляет (по объему) 20%.

Тогда действительный вес воды внутри 1 $см^3$ почвы равен 0,2 *г*. Для наглядности это количество воды показано на рис. 105 в виде черного кубика слева от столба почвы. Сила тяжести 0,2 *г* почвы направлена вниз; величина силы тяжести воды равна $0{,}2 \cdot 981 = 196{,}2$ *дн*.

Кубический сантиметр почвы со всех сторон окружен почвой, содержащей в себе капиллярную воду. Поэтому в почве должно существовать капиллярное натяжение, направленное вниз; но так как условия равновесия требуют отсутствия неуравновешенных сил и отсутствия передвижения воды, то очевидно, что сила капиллярного поднятия, действующая на 0,2 *г* воды и направленная вверх, по величине равна сумме натяжения, направленного вниз, и силы тяжести. В почвах малоувлажненных силы натяжения относительно велики, а в почвах с высокой влажностью

они относительно малы. Поэтому в верхней части 1 $см^3$ почва должна быть менее влажной, чем в его нижней части. Другими словами, сила натяжения, направленная вверх, не может превосходить по величине силы натяжения, направленной вниз. Поэтому при условии равновесия содержание воды в почве должно

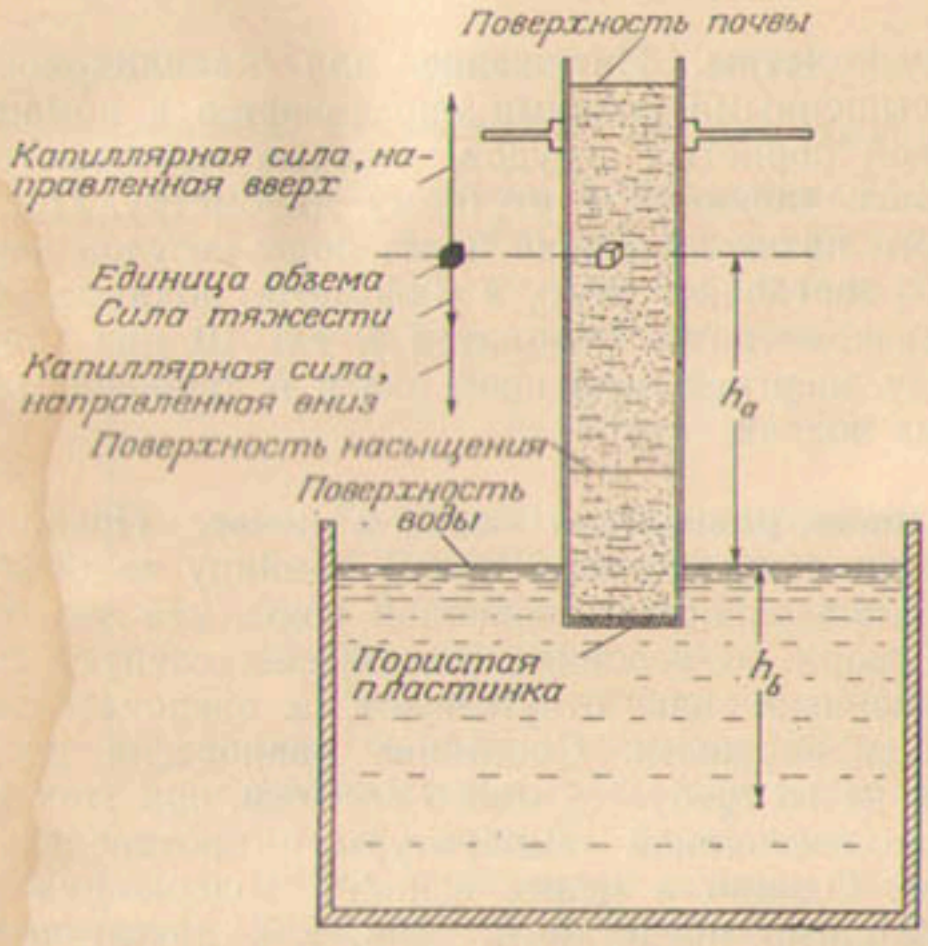


Рис. 105. Схема, показывающая равенство вертикальных сил, действующих на воду в любой единице объема почвы, в которой капиллярная вода находится в равновесии с грунтовой водой.

уменьшаться по мере увеличения высоты столба над поверхностью свободной воды.

Выводы из вышеприведенных рассуждений подтверждаются техническим анализом основных проявлений энергии почвенной влаги, а также результатом опытов, связанных с распределением влажности в почвах. На основе изучения распределения воды во многих колонках почвы с малыми поперечными сечениями Мак Лафлин нашел, что влажность различных почв, находившихся в течение нескольких дней в контакте со свободной водой, уменьшалась с увеличением высоты над поверхностью свободной воды; при этом учитывались некоторые небольшие отклонения от этого правила вблизи поверхности свободной воды. На рис. 106 показано распределение влажности в вертикальном столбе вулканической почвы, находившейся в течение 46 дней в контакте с во-

дой. Поверхность свободной воды находилась на 170 *см* ниже верха колонки почвы. Начиная от сечения на высоте 38 *см* над поверхностью воды влажность уменьшалась от 30 до 15% при увеличении высоты положения исследуемого сечения.

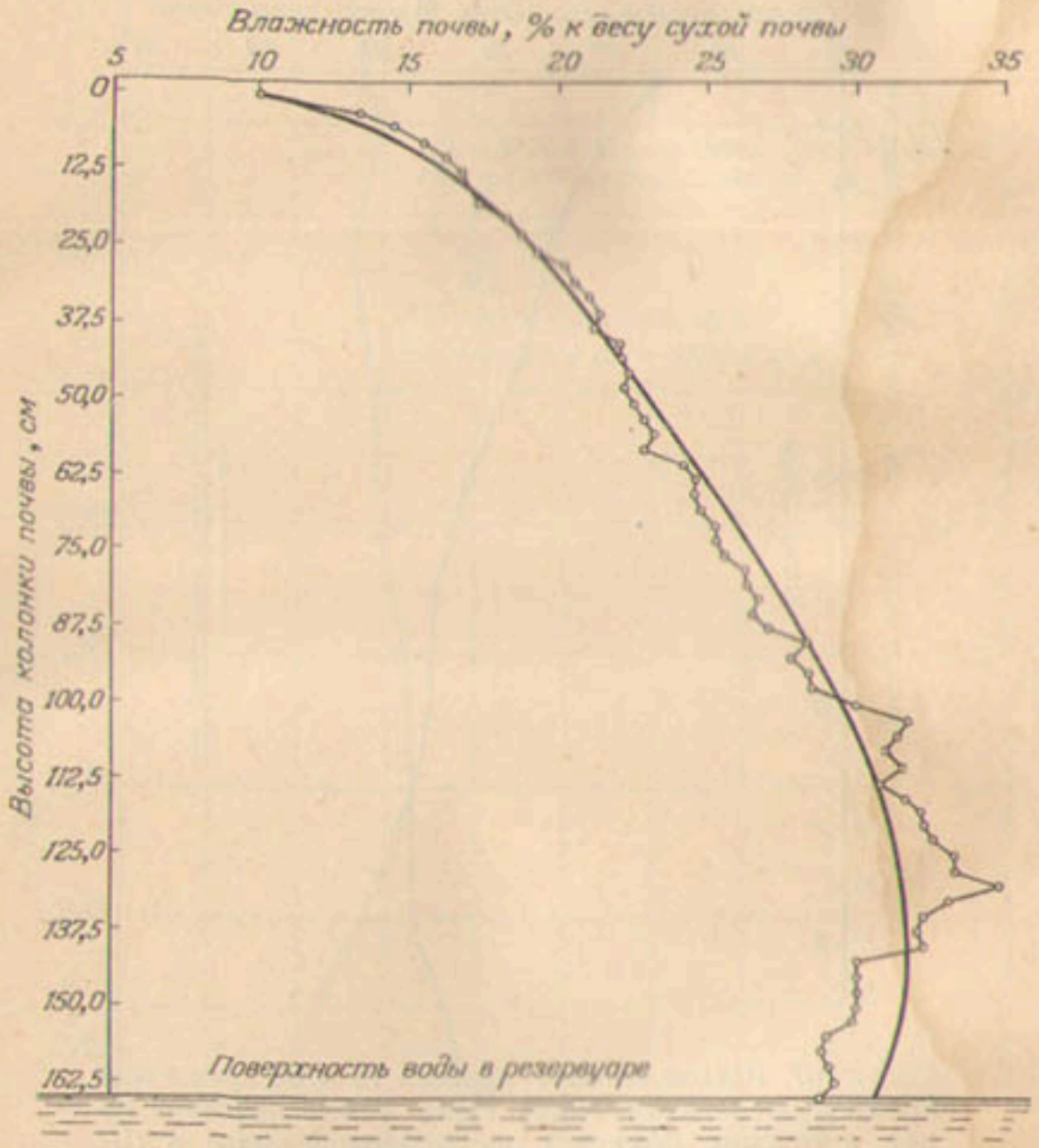


Рис. 106. Распределение капиллярной воды в вертикальной колонке вулканической почвы после 46 дней соприкосновения с водой в резервуаре.

Вимейер, Израэльсен и Конрад изучали распределение влаги в тонком слое почвы после того, как его подвергли действию центробежной силы, превышающей приблизительно в тысячу раз силу тяжести. Результаты их работы показаны на рис. 107. Цифры, относящиеся к внутренней поверхности почвы (вблизи оси центрифуги), показаны в верхней части графика, а к поверхности наружной — в нижней части его. От вращения некоторой массы почвы в машине гравитационная вода устремляется через

перфорированную стенку к наружной поверхности образца почвы. Следовательно, кривая на рис. 107 показывает распределение влажности, необходимое для создания равновесия с силой, выбрасывающей воду при вращении. Заметно определенное увеличение

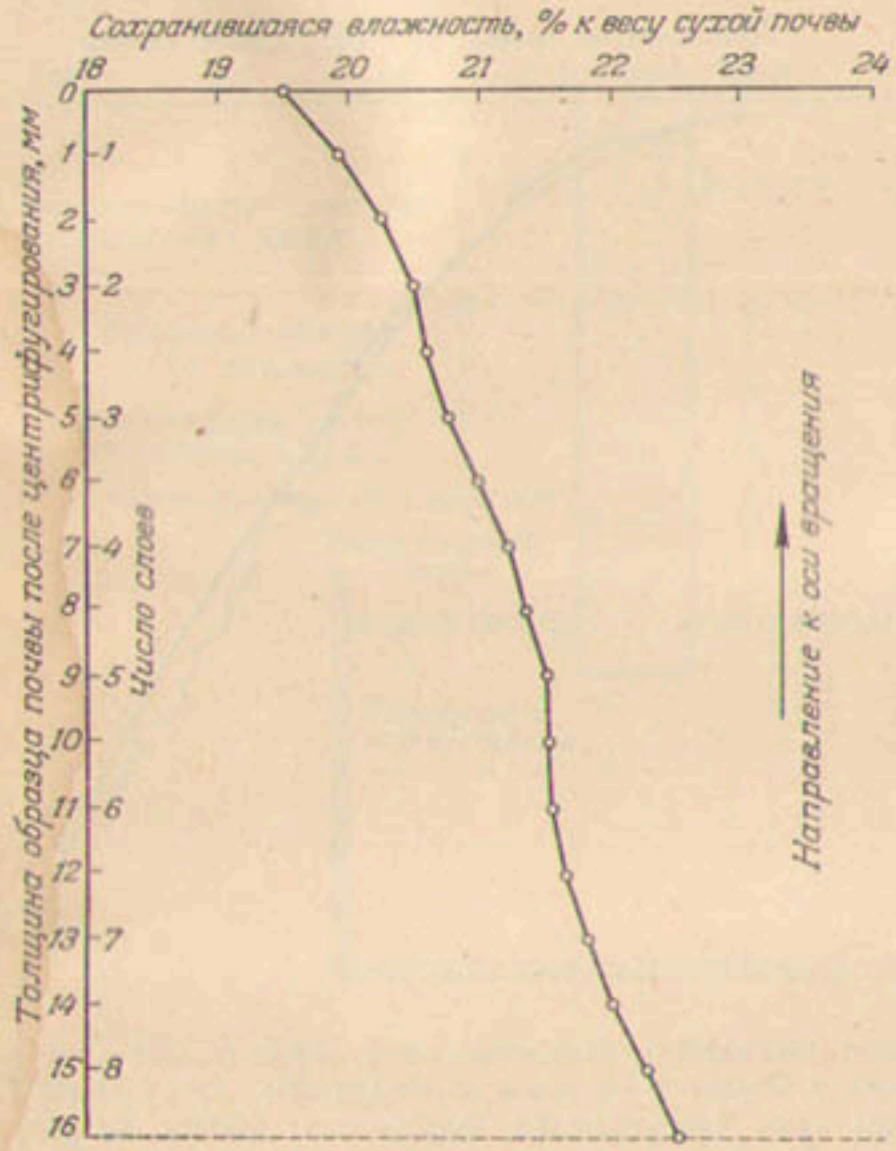


Рис. 107. Распределение влажности в 60-граммовой пробе тяжелого суглинка Йоло после действия на нее в течение получаса центробежной силы, в тысячу раз превышающей силу тяжести.

влажности почвы, начиная от внутренней поверхности по направлению к наружной, аналогичное увеличению полевой влажности с увеличением глубины почвы при состоянии равновесия.

Выводы, сделанные на основе вышеприведенного анализа, подкрепляются также опытами в поле с распределением почвенной влаги.

В верхних 3,6 *м* незасеянной почвы спустя 68 дней после полива было обнаружено значительное увеличение влажности при увеличении глубины почвы. Средняя величина влажности в трех различных типах показана кривыми на рис. 108.

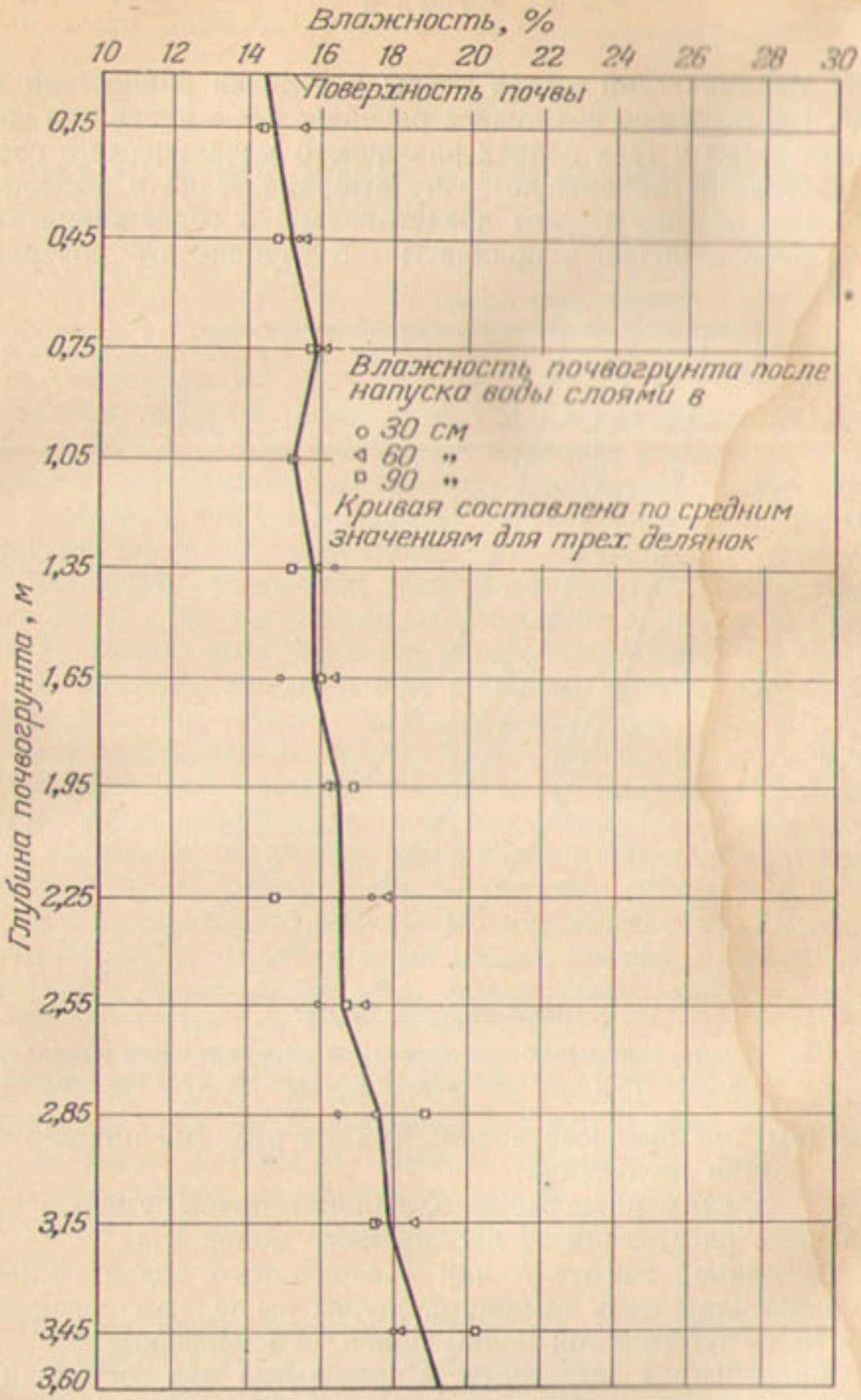


Рис. 108. График распределения влажности в почвогруите через 68 дней после полива с поправками на разнообразие механического состава почвогрунта, что дает представление о распределении, которое могло бы быть в почве с однородным механическим составом.

134. Механический состав почвы и условия равновесия воды. На рис. 109 показано возможное распределение влаги при состоянии равновесия в трех почвах различного механического состава. Для удобства за начальную точку выбрана точка в насыщенном водой слое; абсциссы дают представление о содержании капиллярной воды в почве, а ординаты — о глубине от поверхности

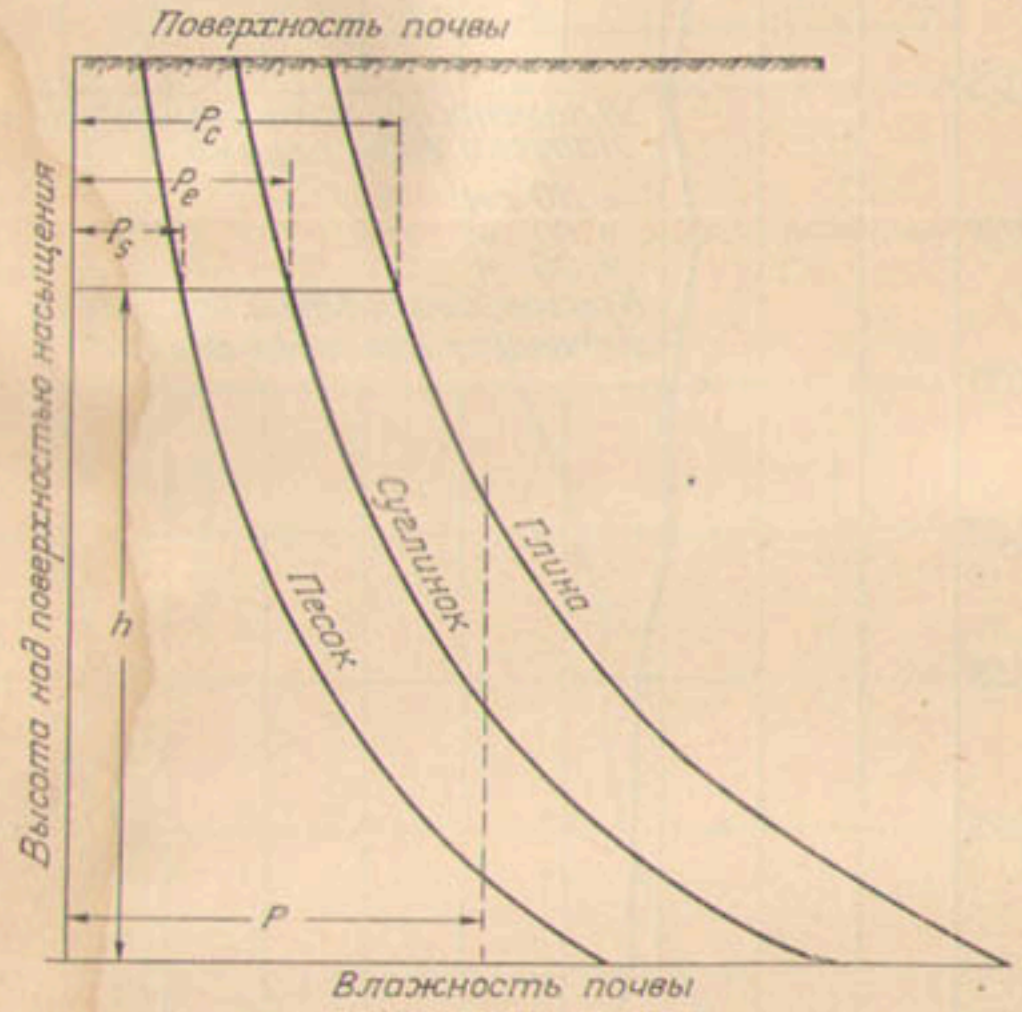


Рис. 109. Кривые, показывающие вероятное распределение капиллярной влаги в почвах различного механического состава в состоянии равновесия.

слоя почвы, насыщенного водой. Кривые рис. 109 подтверждают следующие три положения:

1. В условиях равновесия влажность почвы уменьшается с увеличением расстояния от насыщенного водой слоя.

2. На данной высоте h над поверхностью водонасыщенного слоя почвы влажность глинистой почвы выше, чем суглинистой, а влажность суглинистой почвы более, чем песчаной.

3. Определенная влажность (в процентах) при состоянии равновесия наблюдается на небольшой высоте над поверхностью насыщенного слоя в глинистой почве, на меньшей высоте в суглинистой и на наименьшей в случае песчаной почвы.

Распределение почвенной влаги при условии равновесия находится в полном соответствии с основными положениями, относящимися к пленочному натяжению жидкости и к условию равновесия сил, направленных вверх и вниз.

Глава 9

НАКОПЛЕНИЕ ВОДЫ В НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЧВАХ

Накопление воды в почве важно и для засушливых, и для влажных районов. Почвы некоторых влажных районов обеспечивают достаточные урожаи, хотя между периодами дождей проходит много дней, а иногда и недель. Это обстоятельство является подтверждением способности почвы накоплять и сохранять воду, так как растения, непрерывно потребляющие воду, не могли бы развиваться при ее отсутствии. Способность почв орошаемых районов накоплять воду, требуемую для возделываемых культур, весьма важна. Она представляет большой интерес потому, что от этой способности зависит подача большего или меньшего количества воды, необходимой при каждом поливе, а также и продолжительность межполивных периодов. Орошаемые почвы, обладающие большой способностью накоплять воду, могут обеспечить хорошие урожаи в тех местах, где иногда в связи с недостатком оросительной воды частые поливы бывают невозможны. Для успеха орошения необходимо знать способность почв накоплять и удерживать воду. Если в течение одного полива на поверхность поля подается воды больше, чем может быть удержано почвой и потреблено растениями, то излишки воды будут потеряны. Если же воды подается меньше, чем нужно, то вследствие недостатка воды растения завянут до следующего полива. Потери воды в результате глубокой ее фильтрации в почву ниже корнеобитаемого слоя нельзя установить непосредственно. Их можно измерять приблизительно, исключив величину стока из количества воды, поданной на поле в один полив, и учтя влагоемкость данной почвы.

135. Формы аккумулируемой воды. В орошаемых районах вода накопляется в почве и в капиллярной, и в гравитационной формах. Аккумуляция воды в ненасыщенных почвах в состоянии, доступном для усвоения растениями, имеет преимущественное значение, и поэтому в этой главе названному вопросу уделено особое внимание. Однако в местностях, где каждый год к концу сезона ресурсы воды уменьшаются, а устройство водохранилищ на поверхности мало возможно или нерентабельно, иногда бывает выгодным накоплять воду в водонасыщенных почвах в

гравитационной форме. Однако в результате чрезмерной подачи воды в целях ее аккумуляции в почве может произойти подъем грунтовых вод, что окажется вредным для возделываемых культур в начале вегетационного периода.

Важно установить фактическую влагоемкость различных почв, т. е. полевую влагоемкость за вычетом содержания влаги в почве в период длительного завядания растений. Некоторые почвы,

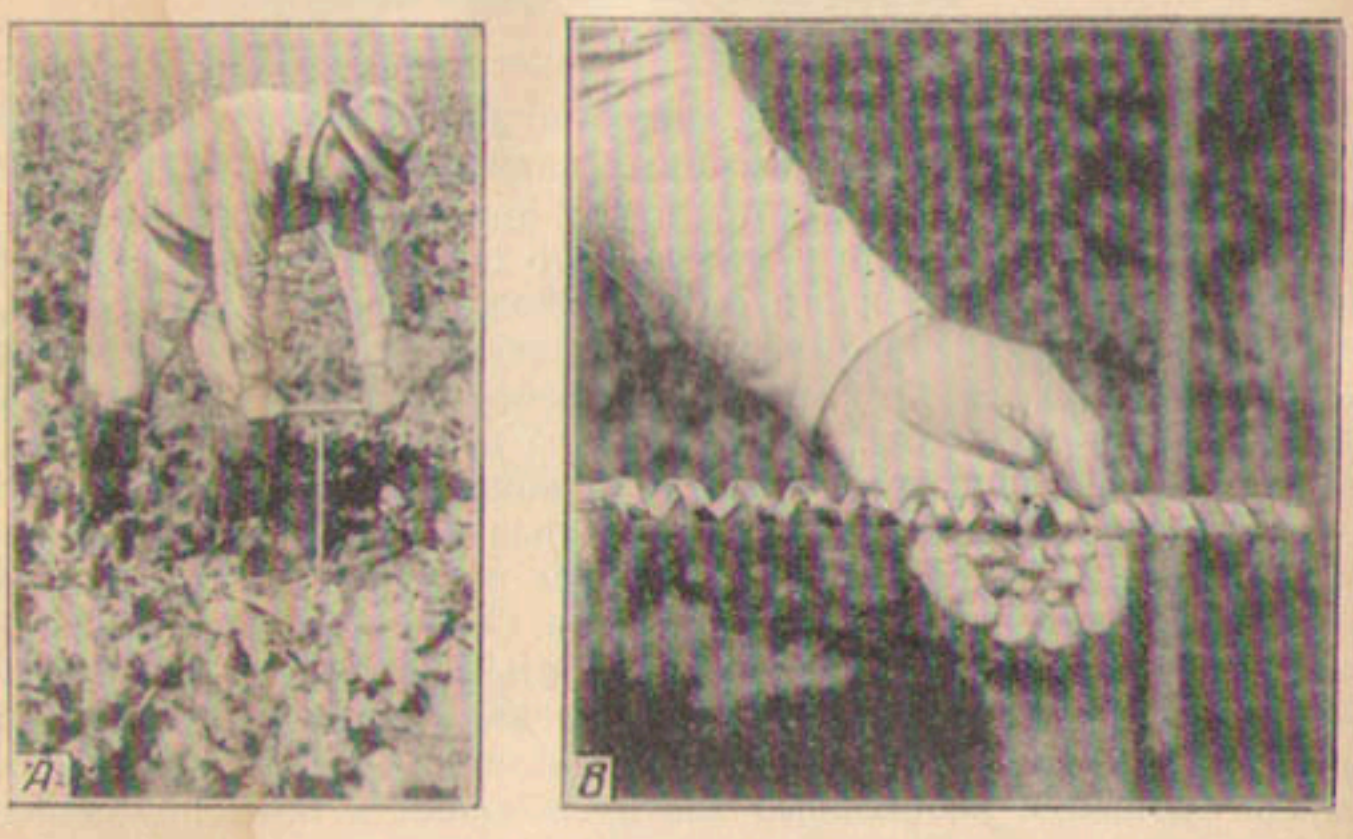


Рис. 110, *A* и *B*. Почвенный бур позволяет установить время, когда почва нуждается в поливе, и глубину проникновения в почву оросительной воды.

обладающие высокой полевой влагоемкостью, имеют также и высокую влажность в начале завядания растений, вследствие чего доступная влага бывает сравнительно низка и требуются частые поливы.

Глубина слоя воды, которая может быть накоплена в данной почве, должна быть тем больше, чем мощнее корнеобитаемый слой.

В этой главе рассматриваются способы определения глубины слоев почвы, в которых может быть накоплена вода, и возможные ее объемы, а также доступность воды для потребления ее растениями.

136. Почвенный бур. Для хозяев орошаемых земель весьма желательно иметь представление о влажности почв на их землях, а иногда и измерять имеющуюся влажность. Для получения требуемых данных в засушливых районах необходимо производить

глубокое бурение, что позволяет определять влажность почвы на разных глубинах.

Применяются почвенные буры двух типов: винтовой, изготовляемый из плотничьего стандартного бурава диаметром 1,5 дюйма, и второй — типа, применяемого специально для бурения ям для столбов.

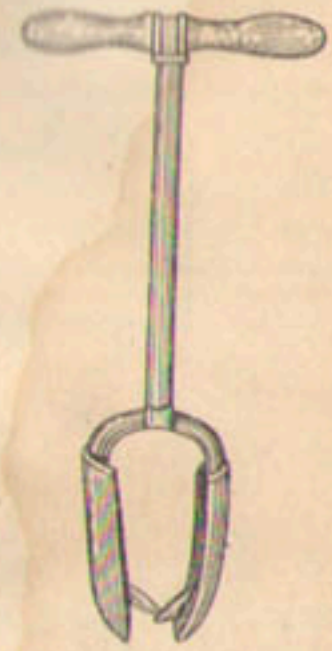


Рис. 111. Почвенный бур, применяемый для бурения ям под столбы. Подобными бурами малого диаметра пользуются для исследования распределения оросительной воды в почве.

Винтовой бур показан на рис. 110, *A* и *B*. Наконечник и режущие кромки плотничьего бурава переделываются в специальные режущие кромки для бурения почвы. Винтовой бур легок и удобен для переноски с места на место. При бурении твердых почв следует избегать бурения слишком глубоко в один прием, так как бур может застрять в почве. Для бура второго типа, показанного на рис. 111, такая опасность отсутствует, так как по заполнении грунтом бур перестает легко проникать в почву.

Физические свойства почв нельзя определить удовлетворительно, изучая поверхность почвы. В орошаемых хозяйствах особенно полезно знакомиться с механическим составом, структурой и глубиной слоя почвы при помощи винтового почвенного бура или трубчатого. Такое ознакомление помогает усовершенствовать применяемые способы орошения и улучшать практику поливов в соответствии с потребностью почвы в воде. При хорошей изученности механического состава и глубины почвенного слоя на данном участке и при условии эффективного использования воды могут быть снижены потери на глубокое просачивание для маломощных почв.

137. Усовершенствованный трубчатый бур. Кинг — один из пионеров почвоведения в Америке — сконструировал и ввел в практику стальной трубчатый бур для взятия проб почвы. «Труба Кинга» была усовершенствована Вимейером и его сотрудниками по работе на сельскохозяйственной опытной станции штата Калифорнии. После нескольких лет опытов с различными приборами для взятия проб почвы и по изучению вопроса о почвенной влажности Вимейер пришел к заключению, что пробы почвы, полученные при помощи усовершенствованного трубчатого бура Кинга, дают возможность получить более точные и верные результаты по сравнению с результатами, получаемыми при использовании других приборов. В гравелистых почвах иногда бывает трудно, а иногда и невозможно получить пробы винтовым буром, в то

время как, пользуясь хорошо изготовленным трубчатым буром, можно пройти через слои гравия и взять удовлетворительные пробы.

Как показано на рис. 112, трубчатый бур состоит из трех частей: стальной бесшовной трубы необходимой длины, рабочей головки и наконечника. Оба конца трубы снабжены резьбой для

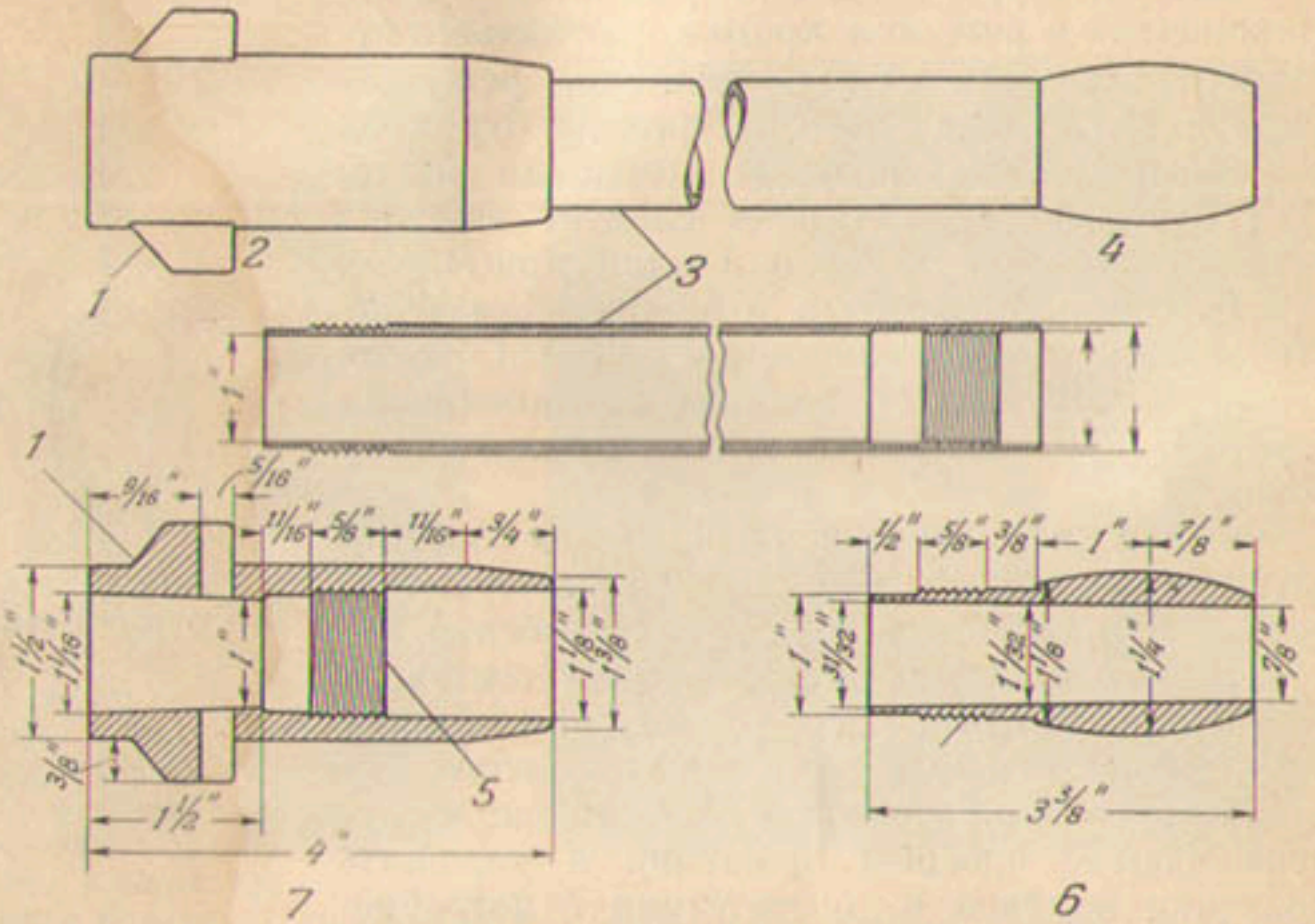


Рис. 112. Детали трубчатого бура.

1 — шипы, приваренные к головке или изготовленные с нею как одно целое; *2* — головка; *3* — холоднотянутая стальная труба без швов с содержанием 3,5% никеля; *4* — наконечник; *5* — стандартная в США нарезка: 28 витков в дюйме; *6* — наконечник из инструментальной стали, закаленной нагревом и охлаждением и затем термически обработанной при красном накале; *7* — закаленная оболочка из инструментальной стали.

навинчивания головки и наконечника. Бур вгоняется в почву ударами специального молота.

При конструировании усовершенствованного трубчатого бура, по сообщению Вимейера, было предусмотрено уменьшение затруднений, связанных с извлечением бура из почвы. Для этой цели при взятии проб с большой глубины, 3,6—5,5 *м*, был сконструирован специальный прибор из двух автомобильных домкратов, установленных на общем основании и соединенных наверху поперечиной.

Тейлор и Блейни, работающие в Южной Калифорнии, также сконструировали и построили эффективно действующий домкрат, посредством которого можно извлекать трубчатый бур, вбитый в землю на глубину до 5,5 *м* ударами 30-фунтового молота.

138. Измерение влажности почвы. Методы непосредственного измерения влажности почвы, несмотря на их кропотливость и высокую стоимость, имеют существенную ценность. Практическая часть такой работы состоит в бурении или в забивании трубчатого бура на требуемую глубину, вкладывании полученных проб в банки с крышками и в высушивании и взвешивании проб в лаборатории. Пробы влажной почвы весом в 100 *г* и более выдерживаются в печах при температуре 105—110° до полного высушивания. Частное от деления величины потери веса при высушивании на вес безводной (высушенной) почвы, умноженное на 100, представляет собой процент влажности, определенной по отношению к «сухому весу»; он выражается символом P_w. Например:

Вес пробы влажной почвы	100 *г*
Вес безводной почвы	80 *г*
Потеря веса при высушивании . . .	20 *г*

Тогда $P_w = \frac{20 \cdot 100}{80} = 25\%$. Измерение влажности почвы иногда производится по отношению к «влажному весу». Это значит, что для указанного примера процент влажности равен $\frac{20 \cdot 100}{100} = 20$. Очевидным преимуществом вычисления на основе влажного веса является простота вычисления, если вес влажной почвы принять равным 100 *г*. Однако на практике последний метод определения влажности нерационален по той причине, что вес почвенной пробы меняется в соответствии с изменением влажности почвы.

Отнесение влажности почвы в процентах к ее объему может облегчить истолкование значения и влияния воды, накопляемой в почве, на развитие растений. Содержание воды в почве, вычисленное по отношению к объему, определяется как объем воды, приходящийся на единицу объема пор между частицами в массе почвы. Например, если кубический фут пор содержит 0,25 куб. фута воздуха, 0,25 куб. фута воды и 0,5 куб. фута твердого вещества почвы, то процентное содержание воды, исчисленное по объему, будет 25%; оно обозначается символом P_v. При высушивании проб почвы в печи для удаления из них воды последняя теряется в виде пара; поэтому и является желательным пересчет процентного содержания воды (к весу сухой почвы) в процентное содержание P_v (по отношению к объему). Кажущийся удельный вес почвы, обозначаемый символом A_s, как сказано в гл. 8, определяется в виде отношения веса данного объема почвы, например 1 куб. фута, к весу равного ему объема воды. Следовательно:

$$P_v = A_s P_w. \qquad (34)$$

139. Полевая влагоемкость почвы. Процентное содержание воды P_{fc}, сохраняемой почвой в течение некоторого определенного времени после полива, называется полевой влагоемкостью. На полевую влагоемкость влияют преимущественно механический состав почвы, ее структура и содержание в ней органических веществ. При высоком уровне грунтовых вод на полевую влагоемкость почв влияет также положение этого уровня. От 2 до 5 дней после полива принимают как время, в продолжение которого влажность почвы достигает величины ее полевой влагоемкости; однако этот период нельзя установить точно, так как на передвижение воды в почве влияют многие переменные факторы. В течение вегетационного периода растений влага в орошаемой почве, вероятно, все время передвигается. Однако скорости такого передвижения изменяются в широких пределах в соответствии с влажностью почвы. Динамические свойства влажности почвы делают весьма затруднительным точное определение полевой ее влагоемкости, но тем не менее является целесообразным приблизительно определять последнюю по влажности почв с ненарушенной структурой.

Ниже, в п. 141, изложена методика и порядок определения полевой влагоемкости, а также некоторые характерные результаты.

140. Основы аккумуляции воды в почве в зависимости от доступной для растений почвенной влаги. Если известна доступная для растений влажность данной почвы, то можно определить глубину слоя воды, которая может быть накоплена в корнеобитаемом слое, согласно следующему.

Примем

P_{ac} — доступная для растения влагоемкость данной почвы, т. е. полевая влагоемкость минус полевая влажность при длительном завядании растений;

W — сухой вес почвы, подлежащей увлажнению;

w — вес воды, требуемой для повышения влажности почвы от величины, соответствующей длительному завяданию, до величины полевой влагоемкости. Тогда

$$w = \frac{P_{ac} W}{100}.$$

Глубина слоя воды, поданной за один полив, обычно выражается в акродюймах или акрофутах на акр, называемых просто «поверхностными дюймами» или «поверхностными футами». Таким образом, если на один акр подано 6 акродюймов, распределившихся равномерно по поверхности, то говорят о глубине полива в 6 дюймов, или 0,5 фута (15 *см*). В практических же усло-

виях орошения говорят о поливе слоем 15 *см* даже при отсутствии равномерности распределения воды по поверхности.

Примем

A — площадь орошаемой земли в кв. футах;
A_s — кажущийся удельный вес почвы;
d — глубина слоя воды, подлежащей напуску на данный участок в футах;
D — глубина почвы, подлежащей увлажнению, в футах.

Тогда вес почвы, подлежащей увлажнению,

$$W = 62{,}4 A_s A D \text{ фунтов},$$

а вес воды, необходимой для увлажнения,

$$w = 62{,}4 dA \text{ фунтов}.$$

Заменяя W и w в вышеприведенном уравнении соответствующими их выражениями, имеем

$$62{,}4 dA = 62{,}4 \frac{P_{ac}}{100} \cdot A_s A D,$$

откуда

$$d = \frac{P_{ac}}{100} A_s D. \qquad (35)$$

При пользовании уравнением (35) величина d может быть вычислена в дюймах в том случае, если D выражена также в дюймах. Например, примем доступную полевую влажность данной почвы со средним кажущимся удельным весом 1,4 равной 5%; заданием требуется добавить в среднем 5% влаги в верхних четырех футах почвы. Тогда

$$d = \frac{5}{100} \cdot 1{,}4 \cdot 4 = 0{,}28 \text{ фута} = 3{,}36 \text{ дюйма } (8{,}5 \text{ см}).$$

Пользуясь заранее составленной таблицей, можно решать подобные задачи с достаточной точностью для практических целей при определении доступной растениям влажности различных почв в условиях различных глубин корнеобитаемого слоя.

141. Определение полевой влагоемкости. Для того чтобы определить влагоемкость почв непосредственно в поле, необходимо соблюсти следующие условия:

а) обеспечить полное капиллярное насыщение почвы добавлением избыточного количества оросительной воды;

б) уменьшить до минимума потери от испарения с поверхности почвы немедленно после полива;

в) исключить возможность потерь влаги от транспирации, пользуясь участками без растительности;

г) наблюдать за скоростью снижения влажности, производя ее определения в различное время после поливов;

д) для изучения влагоемкости в поле выбрать участок, где горизонт грунтовых вод находится на значительной глубине.

Чрезмерное просачивание воды вглубь почвы с поверхности участка, полностью затопленного, даст уверенность, что увлажнение верхних слоев почвы достигнет величины полевой влагоемкости. Общий объем пор в почвах в среднем составляет около 50%. Для получения уверенности в полной капиллярной насыщенности верхних 1,8 *м* суглинистой почвы необходим некоторый слой поливной воды, глубина которого может быть определена примерно следующим образом. В совершенно сухой почве общее количество пор (скважность) вначале будет равно $\frac{50 \cdot 1{,}8}{100} = 0{,}9\ м^3$. Влажность почвы перед поливом определена равной 5 *см* воды на 30 *см* глубины почвы. Объем, занятый порами, — 10 *см* на 30 *см* слоя почвы или 60 *см* на 1,8 *м* мощности слоя почвы. Отсюда следует, что полив слоем 60 *см* обеспечил бы заполнение всех пор в почве, если было бы возможно предотвратить фильтрацию воды через слой почвы 1,8 *м*. Такая глубина, повидимому, должна обеспечить полное водонасыщение почвы.

Потери от испарения с поверхности почвы немедленно после полива могут быть уменьшены до минимума применением толстого мульчирующего слоя соломы. Опыты, проведенные на участке с глубоким слоем суглинистой почвы, показали, что пользование 30-сантиметровым слоем соломенной мульчи свело потери от испарения с поверхности к ничтожной величине.

Затруднителен выбор отрезка времени после полива, наиболее подходящего для определения полевой влагоемкости почвы. Скорость фильтрации воды после полива вглубь почв, лишенных растительности, уменьшается со дня на день, но тем не менее фильтрация может длиться недели и месяцы. В действительных условиях влагоемкость при устойчивом состоянии является влагой, удерживаемой почвой после прекращения движения воды вглубь почвы. Медленность достижения устойчивого состояния вызывает в практических условиях необходимость произвольного выбора времени, когда движение воды вглубь становится ничтожно малым, и тогда влажность почвы участка может считаться полевой влагоемкостью. Передвижение воды вглубь в грубых песчаных почвах становится очень медленным значительно скорее, чем в глинистых почвах. Время, выбранное для наблюдений, может наступить через один или несколько дней после полива. Если наблюдения проводятся слишком скоро после полива и передвижение воды вниз еще значительно, то установленная полевая влагоемкость окажется больше истинной влагоемкости при условии отсутствия потерь на испарение и транспирацию. С дру-

гой стороны, если после полива влажность обильно политых почв принять за приблизительную влагоемкость, то представляется вероятным, что потери влаги от быстрого испарения и транспирации в течение нескольких дней после полива могут уменьшить влажность почвы до величины, меньшей истинной ее влагоемкости. На рис. 108 гл. 8 показано распределение влаги в почве через 68 дней после полива, которое подтверждает то положение, что устойчивая влагоемкость верхних слоев почвы относительно велика при условии, когда уровень грунтовых вод высок, и мала, когда этот уровень понижен.

Колман пользовался термином «полевая влагоемкость», относя такую влагоемкость ко времени, когда изменение влажности почвы становилось совершенно незначительным по сравнению с изменением влажности вскоре после полива. Пользуясь таким определением влажности, Хильгеман нашел, что полевая влагоемкость была достигнута через 10, 14 и 19 дней после полива в слоях почвы соответственно на глубине от 0 до 30, от 30 до 45 и от 45 до 75 *см*. Полевая влагоемкость в слое на глубине от 75 до 135 *см* была, повидимому, достигнута за время не более 5 дней после полива. Влагоемкость слоев на глубине от 135 до 150 *см*, увлажнявшихся после прекращения подачи воды на поверхность участка исключительно за счет фильтрации, достигла величины постоянной устойчивой влажности только на четырнадцатый день.

Хильгеман сделал вывод, что определение полевой влагоемкости для изучавшейся им почвы представляло затруднение и было связано со значительными ошибками. Ни в одном случае не было одинаково время, необходимое для достижения состояния устойчивой влагоемкости в слоях почвы, находившихся на одинаковой глубине. Значительная разница наблюдалась при проведении любых двух опытов, что, повидимому, объяснялось разницей влажности подпочв.

142. Измерение запасов воды, аккумулированной в почве. Методы непосредственных измерений воды, накопленной в почве, применялись в связи с изучением вопроса об орошении главных сельскохозяйственных культур. Изучению подверглись также незасеянные почвы в целях определения наибольшего количества воды, которая может быть накоплена в почве путем увеличения ее влажности от обычного минимума до величины полевой влагоемкости. Методика определения полевой влагоемкости, изложенная в п. 141, может быть также использована для определения глубины слоя воды, который можно накопить в любой почве. После определения влажности почвы до и после полива могут быть вычислены при помощи уравнения (35) соответствующие глубины слоев воды, если известен кажущийся удельный вес почвы. Глубина слоя воды, определенная как влажность почвы

в любой момент в течение 1—3 дней после полива, за вычетом глубины слоя воды в почве перед поливом дает приблизительную глубину слоя воды, который может быть аккумулирован в почве. Вопрос об аккумуляции воды в почвах изучался в штатах Калифорния, Юта, Орегон и Вашингтон. Результаты этого изучения кратко изложены ниже.

143. Исследовательская работа в Калифорнии. В связи с изучением экономики использования орошения для поливов люцерны в долине реки Сакраменто в штате Калифорния (работа Адамса и других специалистов) был изучен вопрос о влагоемкости почвы в отношении оросительной воды. Определения влажности делались перед поливами и через 1—4 дня после поливов. Результаты исследования не определяют точных величин максимальной полевой влагоемкости, но скорее дают представление о средних объемах воды, аккумулированной в почвах различного механического состава. Определения производились в различные периоды после поливов.

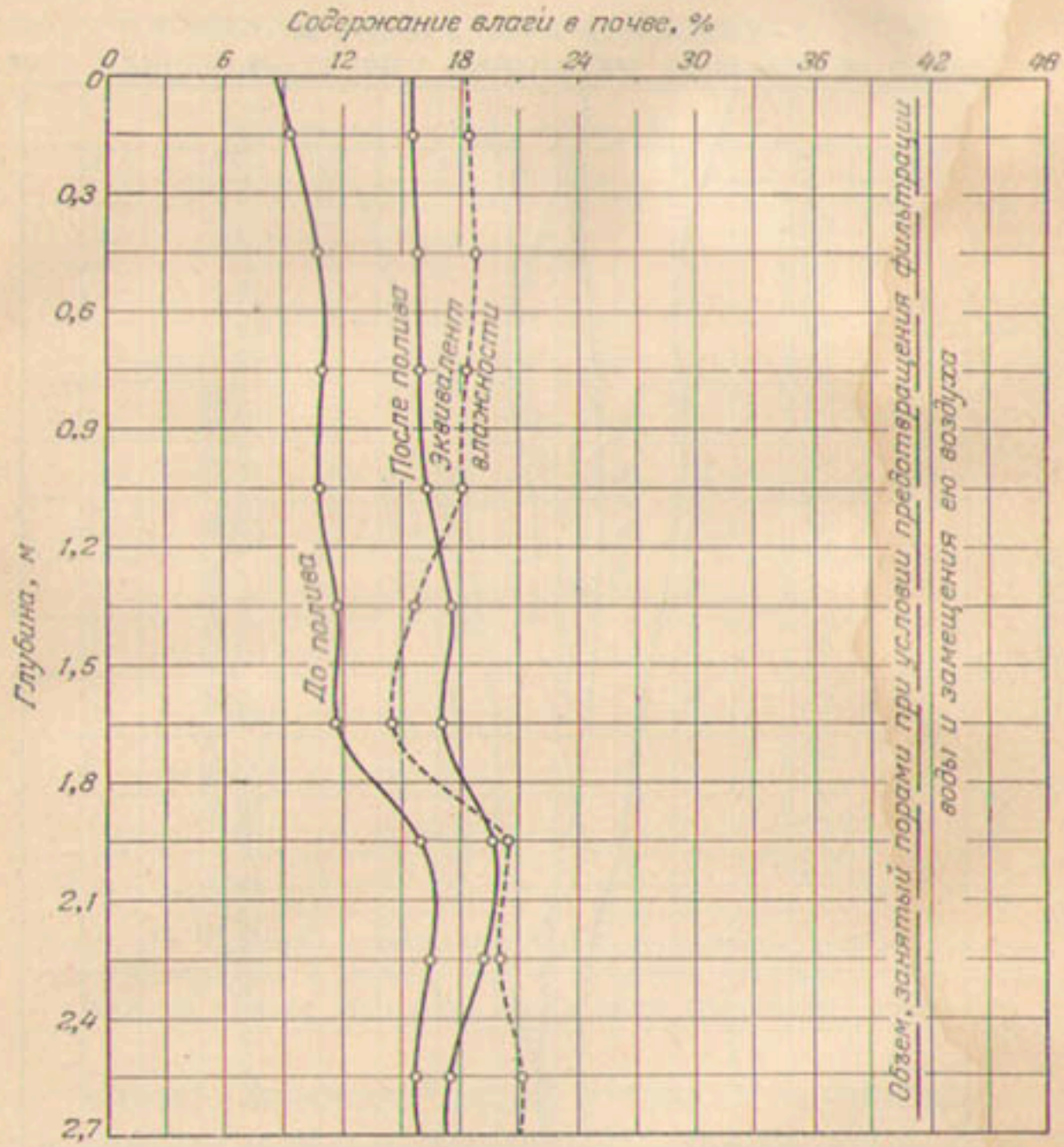
Таблица 6

Результаты исследования почв четырех типов в долине реки Сакраменто с указанием числа поливов. Средняя глубина слоя поданной воды и воды, удержанной почвой в верхнем 1,8-метровом слое

Тип почвы	Число буреий	Кажущийся уд. вес A_s	Среднее число поливов	Глубина поданного слоя воды, *см*	Глубина удержания почвой слоя воды, *см*	Удержанная вода+испарение, *см*	% удержанной воды	% удержанной воды+испарившейся воды, *см*	Число хозяйств в группе
Иловатые суглинки; подпочва—легкие суглинки . .	62	1,15	3	38,0	13,8	16,8	36,8	43,9	2
Иловатые суглинки . . .	87	1,31	3,3	32,0	10,4	13,5	33,1	41,5	3
Тяжелые суглинки . . .	148	1,35	4	22,0	8,9	11,5	39,8	52,0	5
Глины	43	1,69	4	11,9	5,6	8,3	46,8	69,4	2

Для правильного истолкования выполненных определений влагоемкости, исходя из глубин слоев воды, поданной на участок и удержанной почвой, а также из объяснения результатов других работ, необходимо знать кажущийся удельный вес A_s почвы.

Средние значения A_s* для разных почв приводятся в табл. 6, в которой даются средние глубины слоев воды, поданной на участки с разными почвами, а также количества воды, удержанные слоем почвы 1,8 *м* спустя несколько дней после поливов.



Р и с. 113. Графики, показывающие содержание воды в почве до и после полива, эквивалент влажности и объем пор в илисто-суглинистых почвах, подстилаемых тонким песчанистым суглинком. Каждая кривая построена по средним значениям 68 проб.

Были установлены ориентировочно возможные величины потерь от испарения и транспирации, имевшие место в период между поливами и временем измерения влажности почв. Величины

---

* Для возможности получения наиболее удовлетворительных результатов кажущийся удельный вес почвы A_s должен быть определен для различных глубин корнеобитаемого слоя, так как у многих почв величина A_s меняется в зависимости от глубины.

таких потерь добавлены к действительным количествам воды, удержанной почвой.

Содержание воды в почве до и после поливов показано на графиках (рис. 113—116). В почвах из более крупных частиц

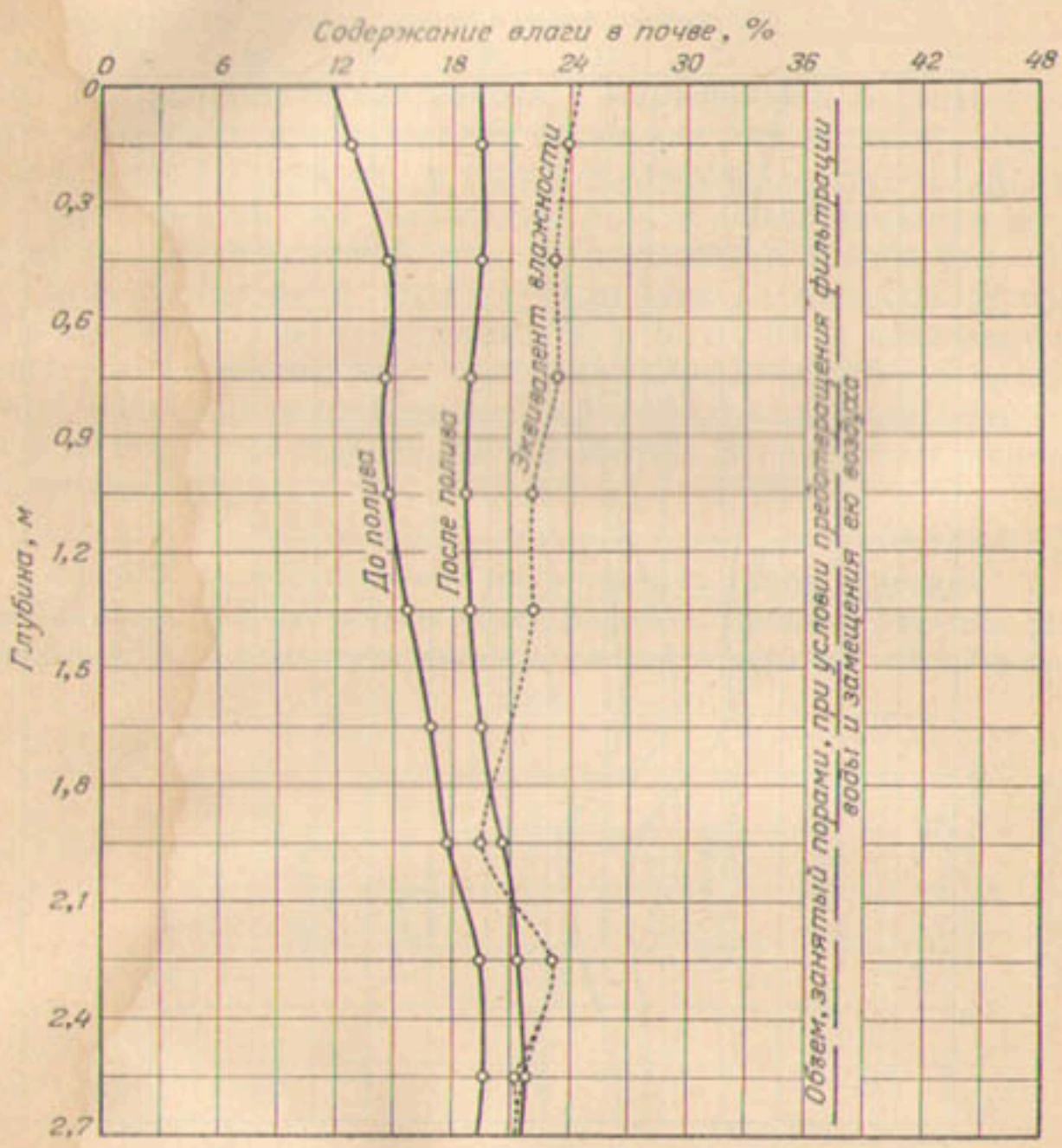


Рис. 114. Графики, показывающие содержание воды до и после полива, эквивалент влажности и объем пор в илисто-суглинистых почвах. Каждая кривая построена по средним значениям 87 проб.

по механическому составу, т. е. в супесях и илистых суглинках, бурение для получения проб производилось до глубины 2,7 *м*, а в тяжелых суглинках и в глинистых почвах пробы брали только в верхних 1,8 *м*. На каждом рисунке показан эквивалент влажности, определенный методом Бригса-Мак Лейна, а также объем пор, определенный на основе кажущегося и истинного удельных весов.

Графики на рис. 113 и 114 указывают на проникновение воды в илисто-суглинистых почвогрунтах на глубину более 2,7 *м*. По графикам рис. 115 видно, что в глинистых суглинках вода просачивается на глубину, меньшую 1,8 *м*. По графикам на рис. 116 показано, что в суглинистых почвогрунтах Йоло на глубине 3,6 *м* наблюдается небольшое увеличение влажности. Объем, занятый в почве воздухом (за счет некоторого уменьшения ее влажности

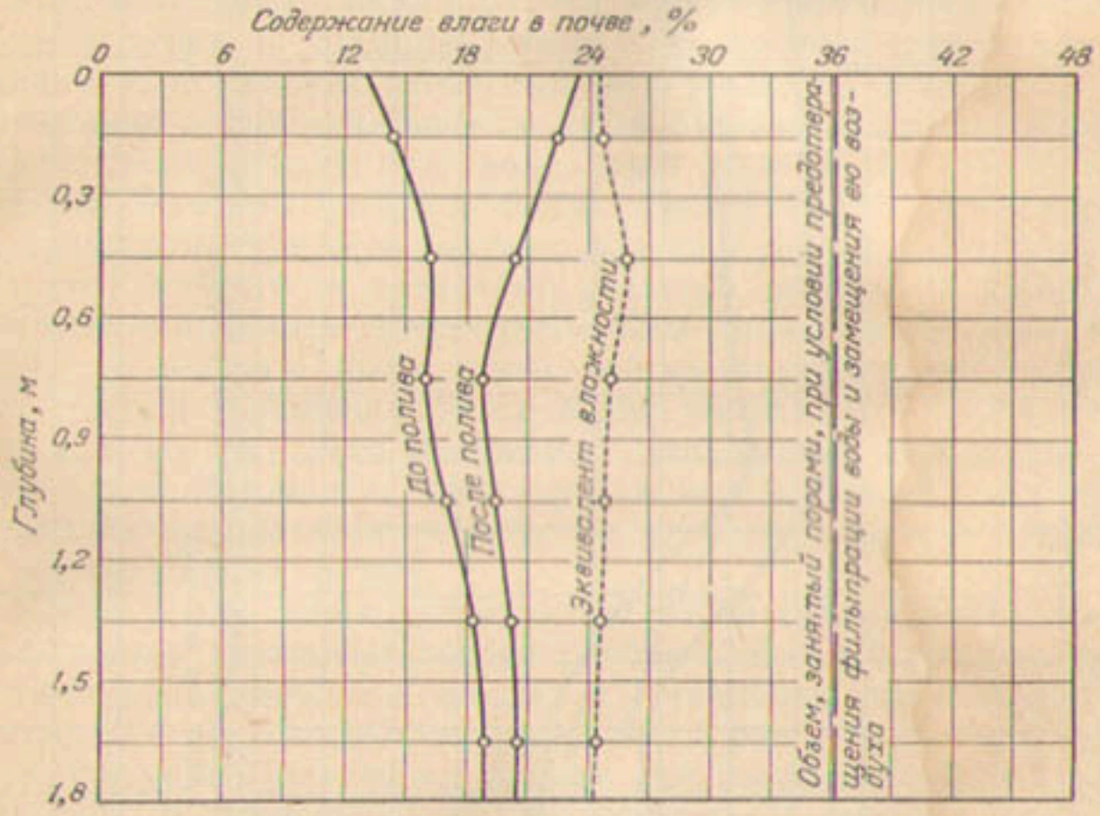


Рис. 115. Графики содержания воды до и после полива, эквивалент влажности и объем пор в тяжелых суглинистых почвах. Каждая кривая построена по средним значениям 148 проб.

после полива), наиболее велик в почвах крупнозернистых и меньше всего в почвах с мелкозернистым строением. В верхних 1,8 *м* илистых суглинков с супесчаным подстилающим грунтом содержалось в среднем 7 *см* воды, в илистых суглинках — 8 *см* и в тяжелых суглинках — 8,8 *см* воды на слой почвы в 30 *см*.

Средние величины влажности каждого фута (30 *см*) почвы 6 экспериментальных участков в хозяйстве университета штата Калифорния (город Девис), наблюдавшиеся до и после поливов, показаны графиками на рис. 116. Поливы каждого участка производились по-разному, но наименьшая глубина слоя воды, поданной на участок, была 15 *см* при каждом поливе. Видно, что некоторое количество воды проникало на глубину более 3,6 *м*. Следует, однако, заметить, что результаты измерений для глубин 3,0—3,6 *м* основаны на работе только одного года и поэтому

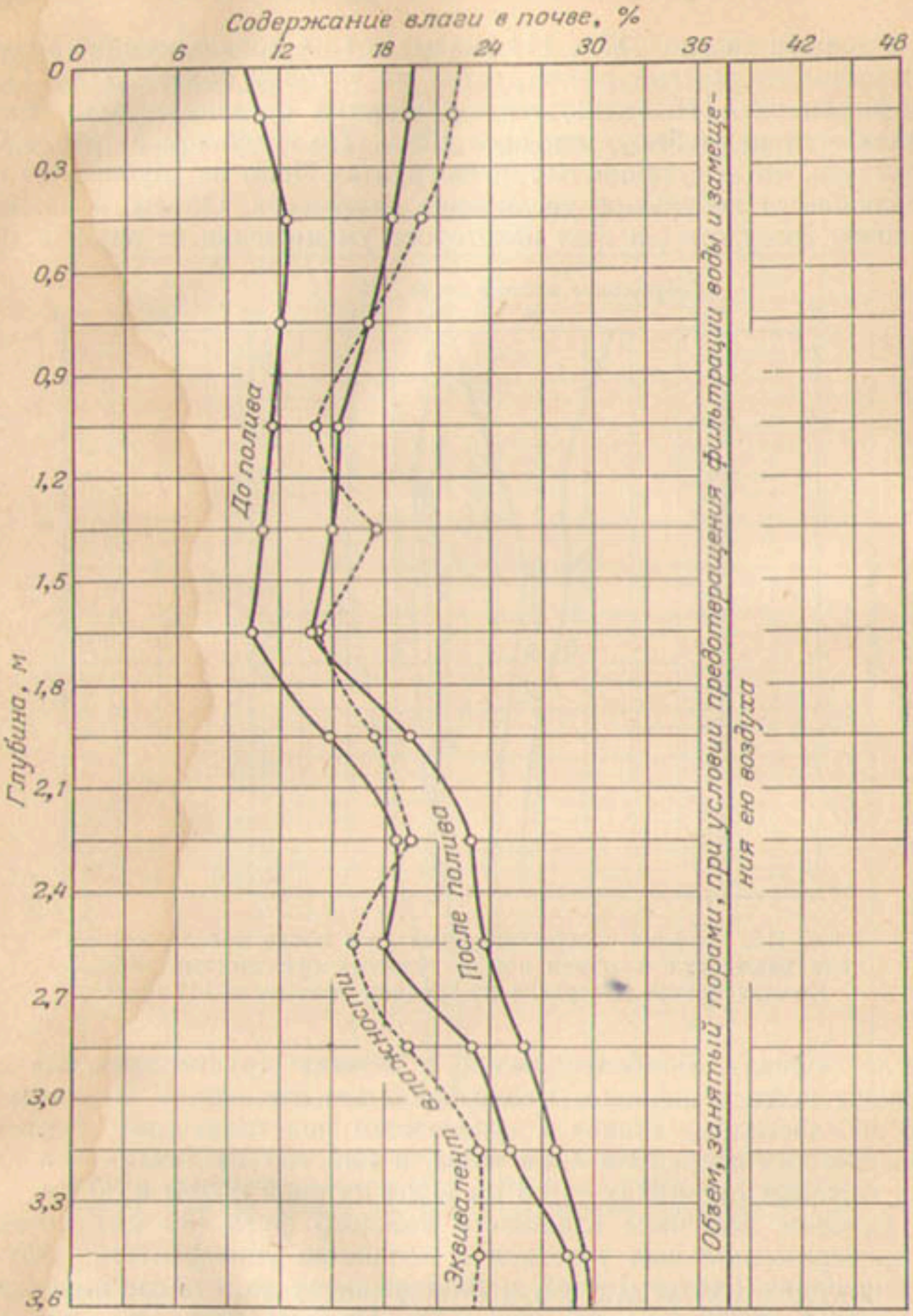


Рис. 116. Графики, показывающие содержание воды и объем пор в суглинистых почвах Йоло. Каждая кривая построена по средним значениям для 6 участков за 3 года, а также по средним значениям 147 проб.

менее точны, чем данные для глубин, меньших 1,8 *м*, основанные на результатах трехлетних исследований. Заметное увеличение влажности в слоях почв ниже 1,65 *м* является, повидимому, результатом, по крайней мере отчасти, изменения механического состава почвы, как показано определением эквивалента влажности.

144. Исследовательская работа в штате Юта. Сельскохозяйственная опытная станция штата Юта провела ряд измерений полевой влагоемкости глинистых почв большой мощности. Для достижения полного насыщения почв 3 прямоугольных участков, не засеянных культурами, вода была подана слоями большой глубины. Размеры участков были: длина 11,5 *м*, ширина 10 *м*. По краям этих участков были сооружены валики высотою 60 *см* из грунта, взятого за пределами участков, вследствие чего почва участков оставалась нетронутой. Для определения влажности почвы до поливов были взяты соответствующие пробы, после чего участок *A* получил 30 *см* воды, участок *B* — 60 *см* и участок *C* — 90 *см*. Для получения проб почву бурили до глубины 3,6 *м*. Влажность почвогрунтов определяли в лаборатории обычными методами и результаты регистрировались в процентах от веса сухой почвы.

Исследуемая почва представляет собой однородный суглинок с горизонтом грунтовых вод на глубине 15 *м* и более от поверхности земли. Графиками на рис. 117 показана влажность, определявшаяся на каждом участке по 12 раз в различное время после поливов. Полученные данные для различных глубин почвы выражены в сантиметрах. С 16 июня по 11 октября было проведено 2556 определений влажности, причем наблюдения производились с неравными промежутками по времени. Из названного числа определений влажности 1476 было проведено в июне, 468 — в июле и 216 — в августе и сентябре. Место каждого бурения систематически отмечалось, для чего в каждую скважину немедленно после получения пробы вставляли веху и почву, оставшуюся от бурения, засыпали в пробуренную скважину. На каждой вехе делали надпись с указанием даты взятия пробы, благодаря чему избегалась возможность повторного бурения в одном и том же месте.

Как только 16 июня исчезла вода с поверхности почвы, на ней была рассеяна соломенная мульча, образовавшая слой глубиной 20—25 *см*. Для определения потерь воды через солому пользовались испарителем с лотком размерами 30×50 *см*, наполняемым почвой той же влажности, что и почва участка. Испаритель устанавливали под соломой на участке *A* так, что поверхность почвы в нем была на одном уровне с поверхностью участка. За время с 2 по 26 августа испаритель потерял 3,83 *мм* воды,

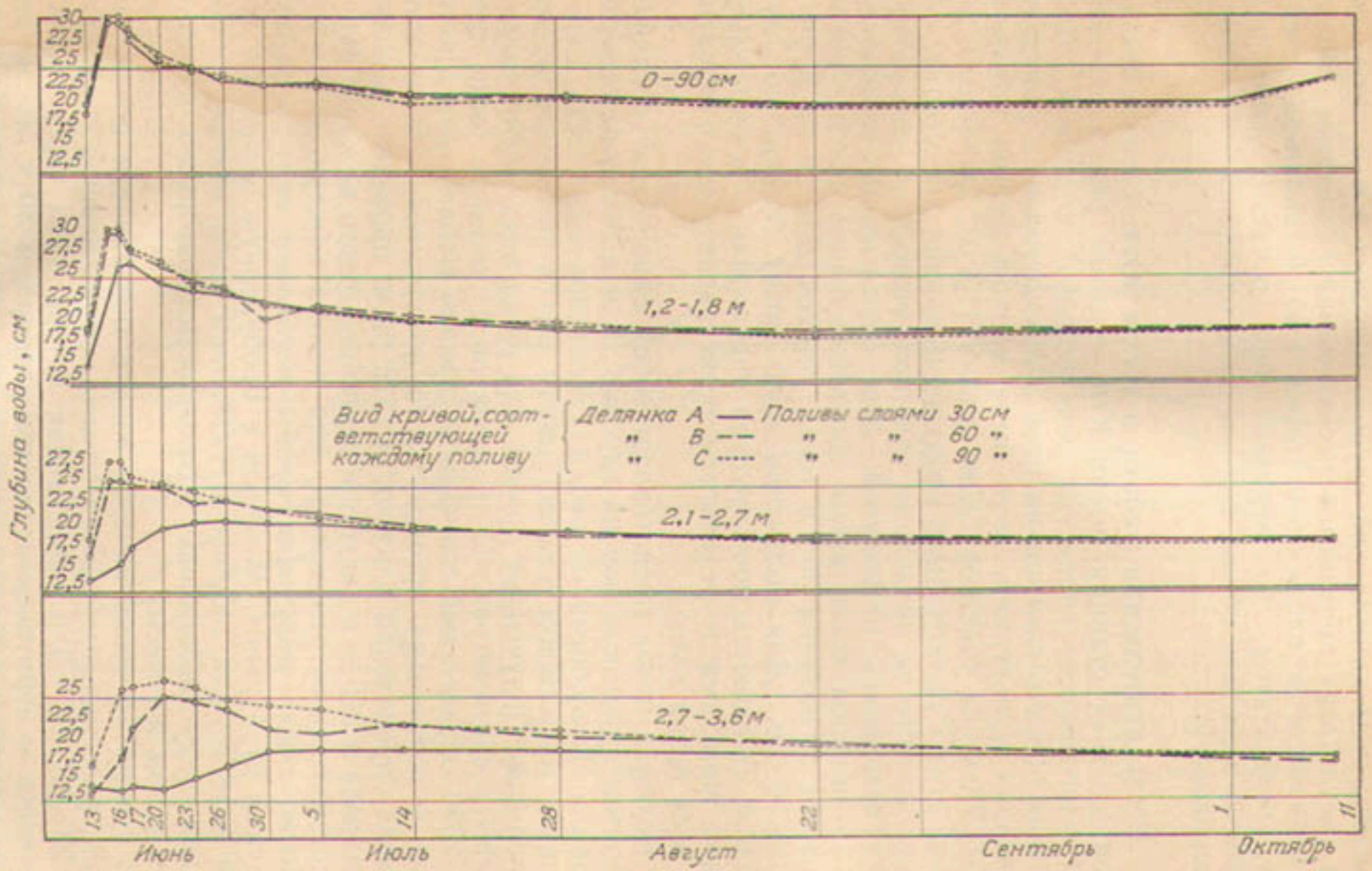


Рис. 117. Сравнительные кривые динамики изменения содержания воды на одной и той же глубине почвы после 3 количественно различных поливов. Результаты выражены в *см* воды для каждой из 4 рассматриваемых глубин.

или 0,35 *мм* в день. Уменьшение влажности в верхних 1,8 *м* почвы с 16 июня по 22 августа на участках *A*, *B* и *C* за вычетом испарившейся воды составляло соответственно 0,58; 0,64 и 0,71 *см* в течение суток. Потери от испарения были ничтожны. В основном уменьшение влажности почвы на глубинах от 0 до 90 *см* и от 1,2 до 1,8 *м* изо дня в день после полива вызывалось продвижением воды вглубь почвы. Кривые на рис. 117 показывают, что заметное уменьшение влажности в верхних 1,8 *м* продолжалось на протяжении около 15 дней на всех участках и что на участках *B* и *C* уменьшение влажности продолжалось в течение того же времени и на глубине от 2,1 до 2,7 *м*. На глубине от 3,0 до 3,6 *м* на участках *B* и *C* в течение нескольких дней после полива влажность увеличилась, а затем начала медленно уменьшаться. На глубине 3,0—3,6 *м* участка *A*, на который был подан слой воды в 30 *см*, влажность увеличивалась в течение около 20 дней после полива. В течение остальных 50 дней наблюдений изменения влажности были совершенно ничтожны. Данные, полученные в результате того же опыта (рис. 118), указывают на распределение влажности на различных глубинах почвы участка *A* в различное время после производства полива. Как видно, подачей слоя воды в 30 *см* почва была полностью увлажнена через два дня после полива на глубину 1,35 *м*. Напуск 60 *см* воды полностью увлажнил почву на глубину 2,6 *м*, а напуском слоя воды 1,10 *м* было достигнуто полное увлажнение почвы на глубину 3,15 *м* через день после полива.

Полевая влагоемкость почв P_{fc} 11 фермерских хозяйств штата Юта была определена в 1942 г. способом поливов затоплением и взятием проб почвы. Подобные же измерения влажности почв были проведены в 6 хозяйствах района Соленого озера. Влажность почв этих 17 типичных хозяйств определялась незадолго перед каждым поливом *. В табл. 7 указаны величины полевой влагоемкости и влажность почвы до полива напуском воды, вычисленные для корнеобитаемых слоев почвы, исходя из величины влажности и кажущегося удельного веса почвы на выбранных местах. Вычетом количеств воды в почве перед поливом из величин полевой влагоемкости были получены величины доступной для растений полевой влагоемкости для участков района Юта; эти величины находятся в пределах от 1,5 до 3,0 *см* на слой почвы 30 *см*. Корнеобитаемые слои почвы простираются до глубины от 90 до 150 *см*, а влагоемкость этих слоев находится в пределах от 6 до 14 *см*.

* Во время исследований земли хозяйств подвергались нескольким поливам; было проведено 145 серий определений влажности в целях нахождения средней влажности корнеобитаемых слоев почвы до выполнения этих работ.

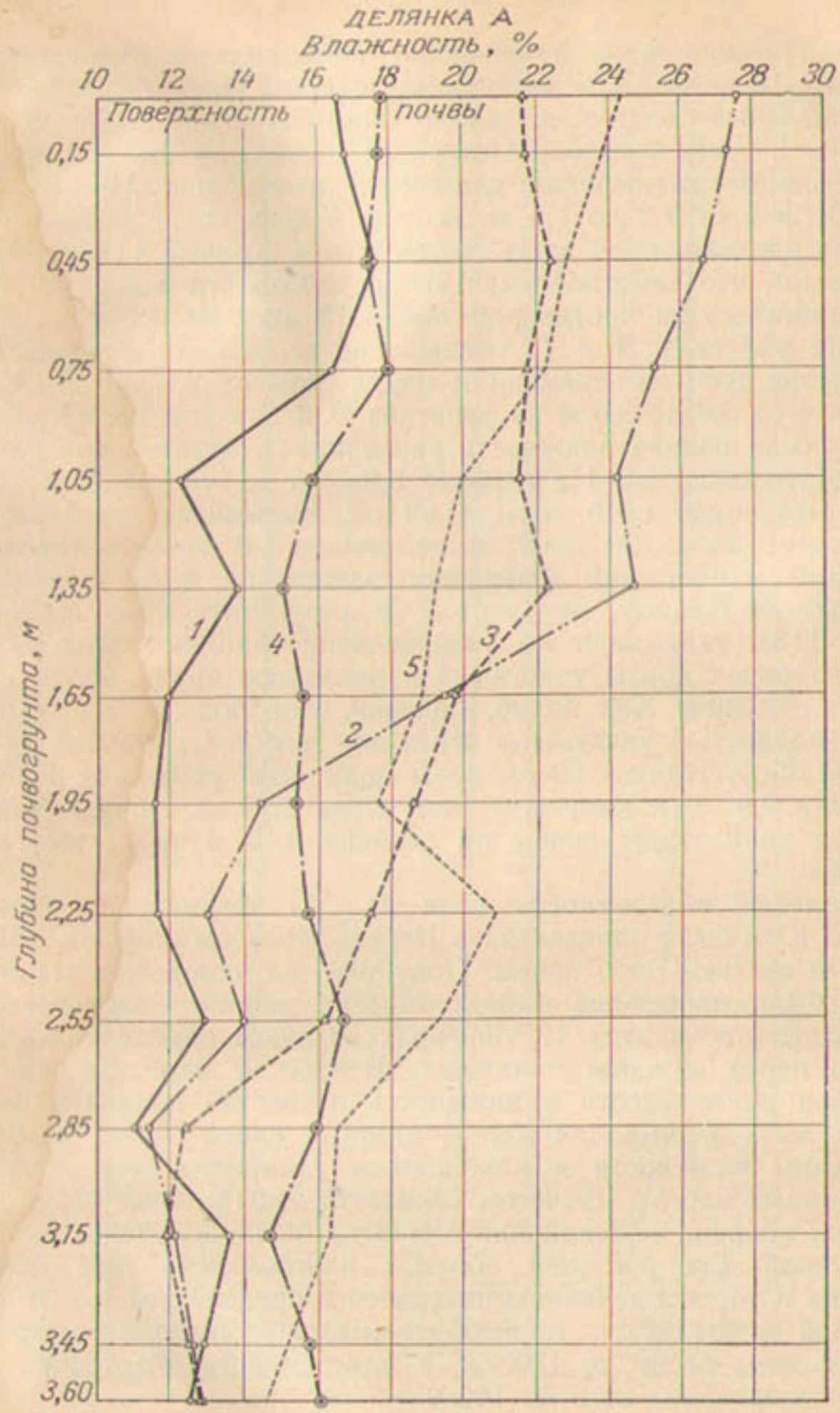


Рис. 118. Распределение влаги в почве в различные периоды после полива слоем 30 *см*.

1 — за день до полива — 13 июня; *2* — спустя 2 дня после полива — 16 июня; *3* — через 6 дней после полива — 20 июня; *4* — на 69 день после полива — 22 августа; *5* — эквивалент влажности.

Таблица 7

Полевая влагоемкость обрабатываемых почв в штате Юта, содержание воды в почвах до поливов и доступная полевая влагоемкость в каждом 30-сантиметровом и во всех корнеобитаемых слоях почвы

Тип почвы	Полевая влагоемкость, %	Влажность до поливов, %	Доступная полевая влага, %	Количество воды, накопляемой в корнеобитаемом слое, *мм*
		Округ Юта		
Легкий суглинок . . .	37,5	17,5	9,2	140
Тяжелый и легкий суглинки	26,0	19,2	6,7	102
Гравелистый суглинок .	25,0	15,8	9,2	140
Легкий и тяжелый суглинки	32,5	25,8	6,7	102
Легкий суглинок				
Гравелистый суглинок .	26,7	17,5	9,2	140
Тяжелый суглинок . . .	31,7	25,8	5,8	89
Легкий и тяжелый суглинки	25,8	21,0	5,0	76
Легкий суглинок; глина	39,2	30,0	9,2	112
Тяжелый суглинок . . .	34,2	24,2	10,0	122
Тяжелый суглинок . . .	32,5	25,0	7,5	64
Иловато-глинистый суглинок;				
Тяжелый суглинок . . .	33,3	28,3	5,0	61
		Округ Солт-Лейк		
Крупнозернистая супесь	11,7	16,7	5,0	76
Иловатый суглинок; глина	33,3	25,8	7,5	114
Легкий суглинок; глина	33,3	11,7	11,7	178
Иловатый суглинок; глина	38,3	29,2	9,2	112
Суглинок	31,7	23,3	8,3	127
Суглинок с ортштейновыми слоями	33,3	20,0	13,3	203

Влажность почвы до полива напуском была, вероятно, выше точки завядания, так как фермеры по их просьбам обычно получали воду для орошения фуражных культур и овощей.

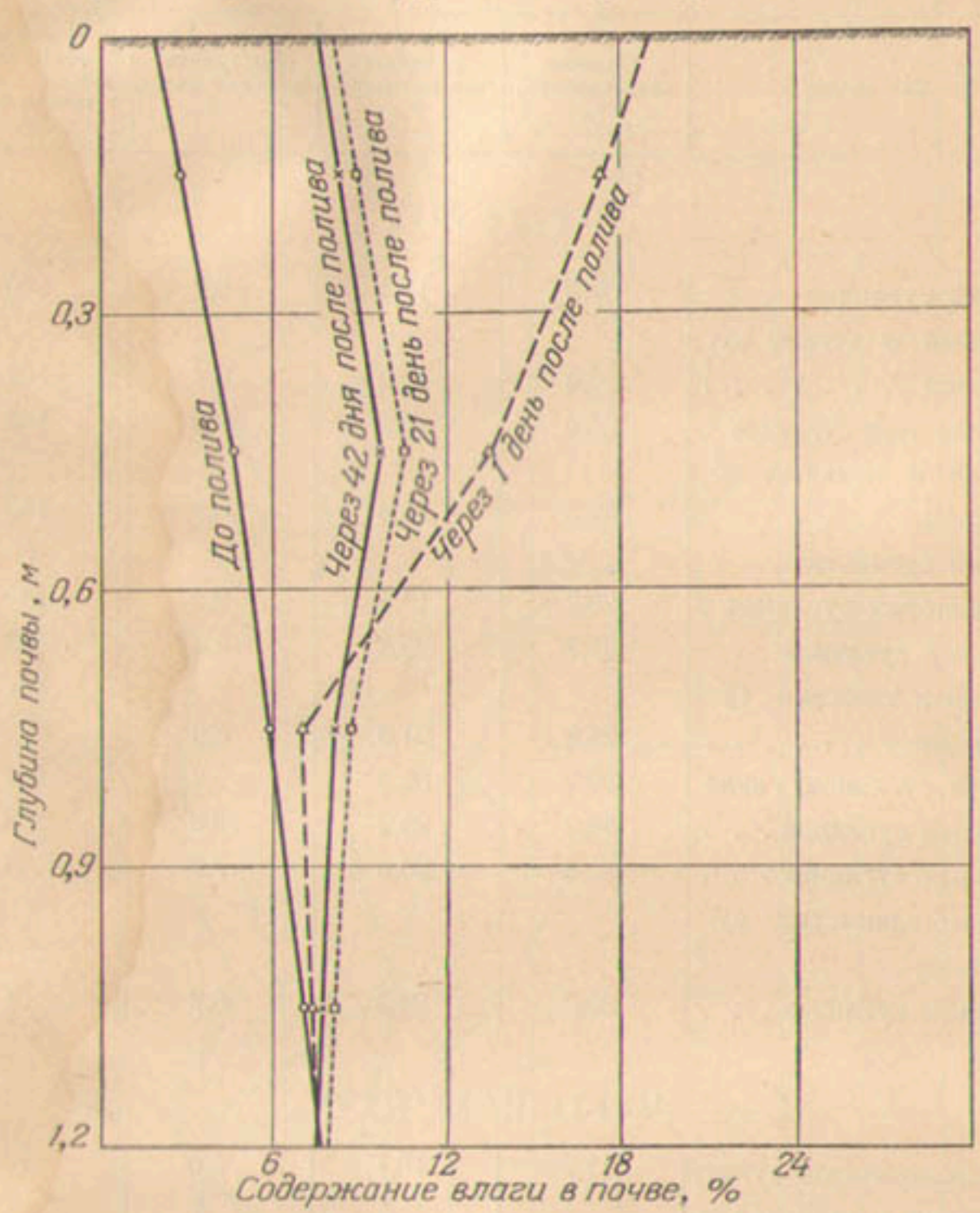


Рис. 119. Распределение влаги в почве до полива и в различные периоды после полива (в районе Якима штата Вашингтон).

Для почв шести фермерских хозяйств района Соленого озера величины полевой влагоемкости находились в пределах от 6,5 до 12 *см* на слой почвы 30 *см*; до полива напуском влажность этого слоя измерялась от 5 до 9 *см*. Величины доступной растениям влаги были определены в пределах от 1,5 до 4 *см* на 30-сантиметровый слой почвы. Наибольшая глубина корнеобитаемых слоев исследованных почв выражалась 90—150 *см*.

145. Исследовательская работа в штате Вашингтон. Влагоемкость почв террас в возвышенной местности района Якима Валли в штате Вашингтон была изучена Скофилдом и Райтом в течение 1924—1926 гг. На графике рис. 119 показана влажность каждого 30-сантиметрового слоя почвы на глубине ее в 1,2 *м* при влажности завядания люцерны, а также на три различные даты после затопления. Изученные почвы определены как песчанистые суглинки, эквивалент влажности которых приблизительно 16%, или 6,6 *см* на 30 *см* почвы. При пересчете влажности, выраженной в дюймах воды на фут почвы, на величину ее в процентах кажущийся удельный вес почвы был принят равным 1,38. Следует отметить, что полевая влагоемкость для нескольких почв разных глубин в районе Якима Валли достигает состояния достаточной стабильности в течение 24 час. после полива. Однако исследования влажности почв, проведенные позднее, показали, что заметное количество воды фильтрует слои почвы на глубине 0,9 и 1,2 *м* через день после полива. Этим явлением, повидимому, подкрепляется сделанный выше вывод, что определение периода, в течение которого после полива достигается полевая влагоемкость, затруднительно и что этот период должен быть установлен условно, при измерении влагоемкости почв в отношении оросительной воды.

146. Способы косвенного определения полевой влагоемкости почвы. В настоящее время разрабатываются недорогие способы определения полевой влагоемкости почвы определением влажности увядания и доступного растениям содержания влаги в почве. Вимейер и Хендриксон пришли к заключению, что эквивалент влажности является достаточным мерилом для определения полевой влагоемкости почв с мелкозернистым механическим составом, но не пригоден для песчаных почв. Их опыты показывают, что эквивалентом влажности можно пользоваться как мерилом полевой влагоемкости мощных, хорошо дренирующих почв, в которых нет заметной разницы в механическом составе и в структуре их массы, причем эквиваленты влажности находятся в пределах от 30 до 14%. Для почв с эквивалентом влажности, большим 20%, определение полевой влагоемкости как величины, равной эквиваленту влажности, представляется, повидимому, возможным.

В 1948 г. Пил, Бил и Лезеси предложили следующее уравнение для измерения полевой влагоемкости, имеющее в основе эквивалент влажности:

$$P_{fc} = 0{,}865\, P_{me} + 2{,}62, \qquad (36)$$

где P_{fc} — влажность почвы в процентах при достижении полевой влагоемкости;

P_{me} — эквивалент влажности почвы в процентах.

Другим недорогим и перспективным методом определения полевой влагоемкости многих почв является установление связи между полевой влагоемкостью и напором, вызываемым поверхностным натяжением жидкости.

На рис. 120 дана кривая *, показывающая величину поверхностного натяжения при различной полевой влагоемкости для

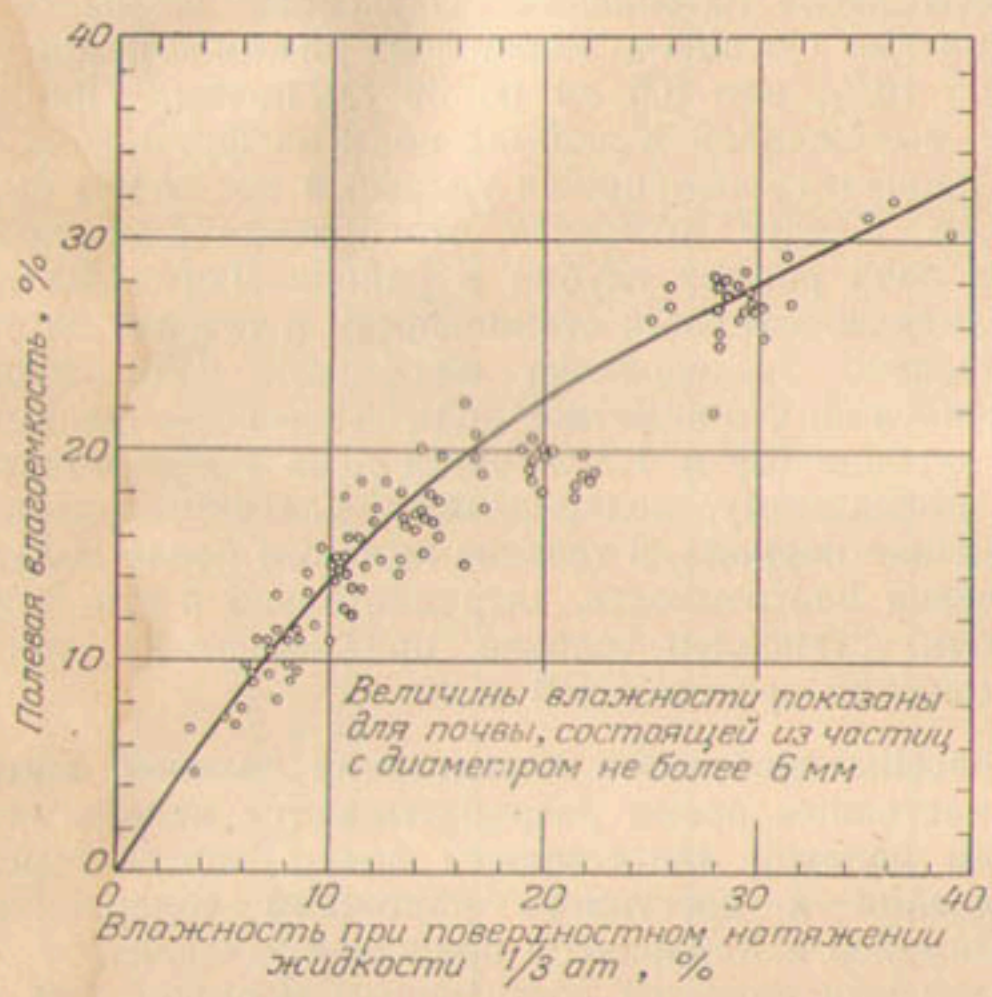


Рис. 120. Зависимость между полевой влагоемкостью почвы и ее влажностью при величине поверхностного натяжения жидкости $^1/_3$ *ат*.

120 видов почв Калифорнии, согласно исследованию Колмана. Соответствующее соотношение было найдено между влажностью при натяжении жидкости, выраженной высотой 25 *см* ртутного

---

* По предложению Колмана, при пользовании кривой рис. 120 следует проявлять осторожность в двух отношениях: 1) Точки графика соответствуют почвам, изучавшимся на небольшой площади; описываемый метод должен быть изучен применительно к почвам других районов; 2) кривая соответствует результатам изучения молодых, несформировавшихся почв, у которых горизонт грунтовых вод расположен настолько ниже рассматриваемого слоя почвы, что не оказывает никакого влияния на фильтрацию через этот слой. Кривая не пригодна для суждения о почвах, у которых горизонт грунтовых вод находится на несколько футов ниже поверхности, или для тех почв, фильтрация воды через которые затрудняется слоем почвы с весьма малой водопроницаемостью.

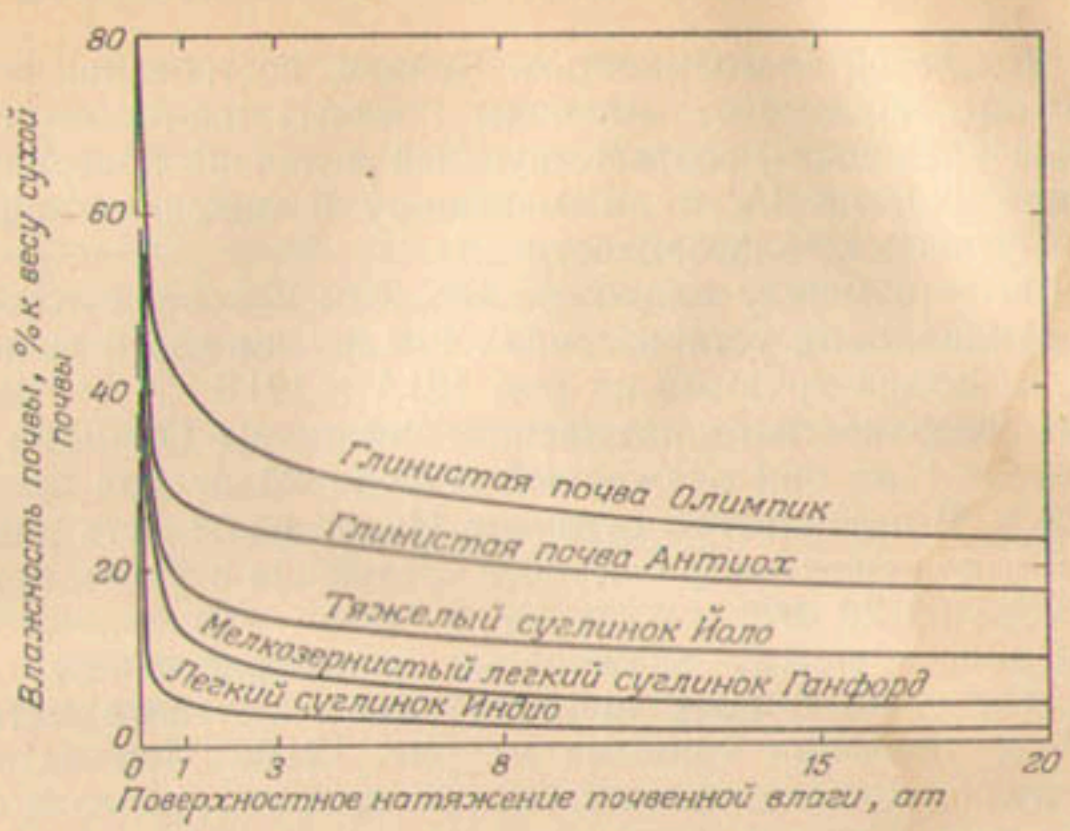


Рис. 121А. Поверхностное натяжение почвенной влаги в пределах 20 *ат* при различных величинах влажности для 5 видов почв Калифорнии.

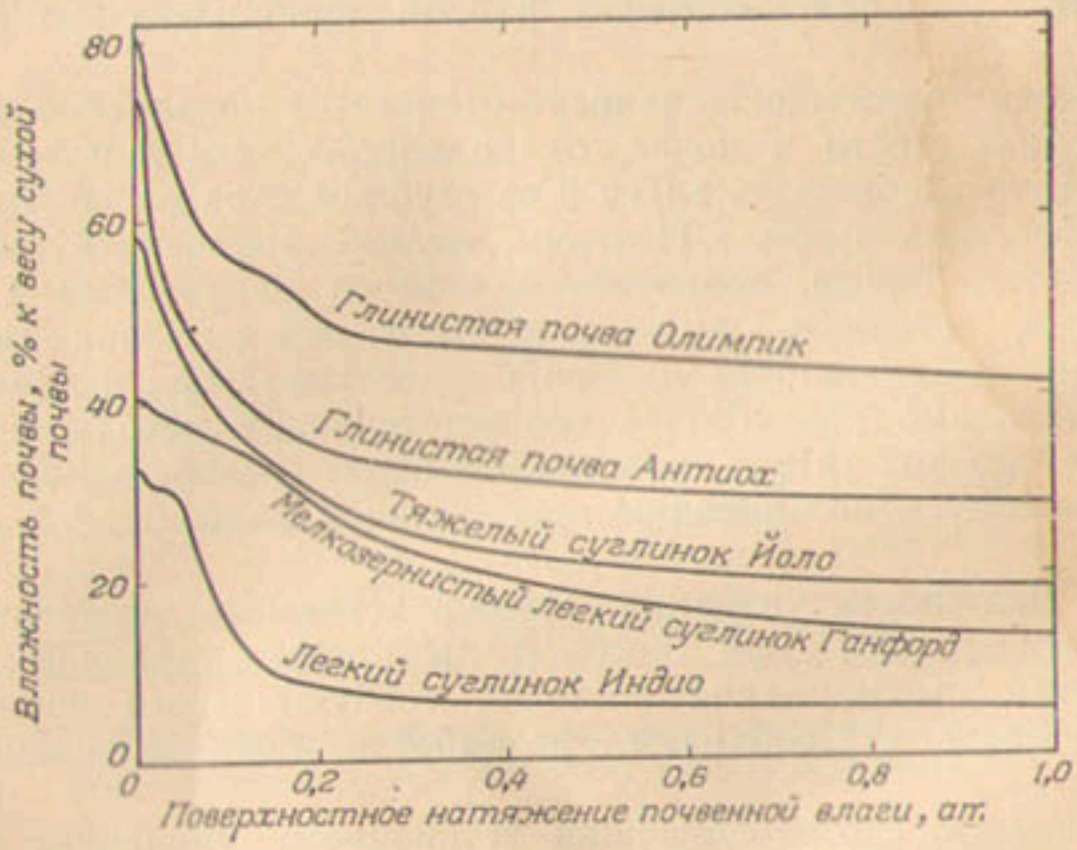


Рис. 121В. Поверхностное натяжение почвенной влаги в пределах 1 *ат* при различных значениях влажности для 5 видов почв Калифорнии.

столба, и полевой влагоемкостью. Кривая, построенная по опытным точкам, показывает величины полевых влагоемкостей при почвенной влажности, соответствующей величине поверхностного натяжения больше $^1/_3$ *ат* и меньшему натяжению при более высоких величинах влагоемкости.

Зависимость между влажностью почвы и поверхностным натяжением жидкости, установленная Ричардсом для 5 почв Калифорнии, показана кривыми на рис. 121А и 121В.

Сила поверхностного натяжения для глины Олимпик увеличивалась от 1 *ат* при влажности 41% до 20 *ат* при влажности около 23%. В песчанистом суглинке Индио влажность равнялась только 5% при силе поверхностного натяжения в 1 *ат* и приблизительно 2% при 20 *ат*.

Зависимость между влажностью и поверхностным натяжением для тех же 5 почв при силе поверхностного натяжения менее 1 *ат* показана кривыми на рис. 121В. При натяжении, равном нулю, величина влажности находится в пределах от 32% (приблизительно) для песчанистых суглинков Индио и до 80% для суглинков Олимпик. Приняв величину поверхностного натяжения в $^1/_3$ *ат* (или высоту его в 345 *см* вод. ст.) при разных полевых влагоемкостях, можно видеть, что почвы, обозначенные на рис. 121В тремя верхними кривыми, обладают полевой влагоемкостью, соответственно равной приблизительно 46, 32 и 25%.

Полевая влагоемкость зависит отчасти от начального распределения влажности в почве, от водопроводимости почвы и ее способности удерживать влагу и от глубины слоя воды, поданной на поверхность почвы. Поэтому трудно определять полевую влагоемкость почвы, пользуясь для этого ее пробами в нарушенном ее состоянии. Однако для облегчения измерения полевой влагоемкости, влажности увядания и доступной влаги для растений необходимо разработать соответствующие методы, не требующие больших затрат средств. Это будет способствовать более эффективному использованию оросительной воды.

147. Влажность увядания. Непосредственные измерения той влажности почвы, при которой наступает увядание растений, путем выращивания растений требуют много времени и затраты средств. Необходима разработка иных, косвенных методов.

Влажность, соответствующая устойчивому увяданию, может быть определена одним из трех методов: а) методом непосредственного выращивания растений, б) методом непосредственного измерения поверхностного натяжения и в) теоретическим путем, основанным на вычислении процента влажности почвы при данной величине поверхностного натяжения.

Первый метод — выращивание растений — требует от 2 до 3 недель времени и не может применяться повсеместно ввиду его высокой стоимости. Определения влажности увядания косвенным методом — путем измерения силы натяжения — составляет только небольшую часть стоимости выращивания растений. Пил и его сотрудники сообщают, что, пользуясь методом поверхностного натяжения, можно в течение суток сделать 6 определений влажности.

При пользовании теоретическим методом — вычислением — применяется следующее уравнение:

$$P_{wp} = 0{,}97P_{15} + 0{,}99, \qquad (37)$$

где P_{wp} — влажность почвы в процентах при устойчивом увядании растений;

P_{15} — процент влажности почвы при поверхностном натяжении 15 *ат*.

Разница между величинами влажности увядания, вычисленной при поверхностном натяжении 15 *ат* по уравнению (37) и путем применения метода выращивания растения, составляла 0,41%.

148. Доступная растениям влага в почве. Пользуясь уравнением [36] для определения величины полевой влагоемкости почв

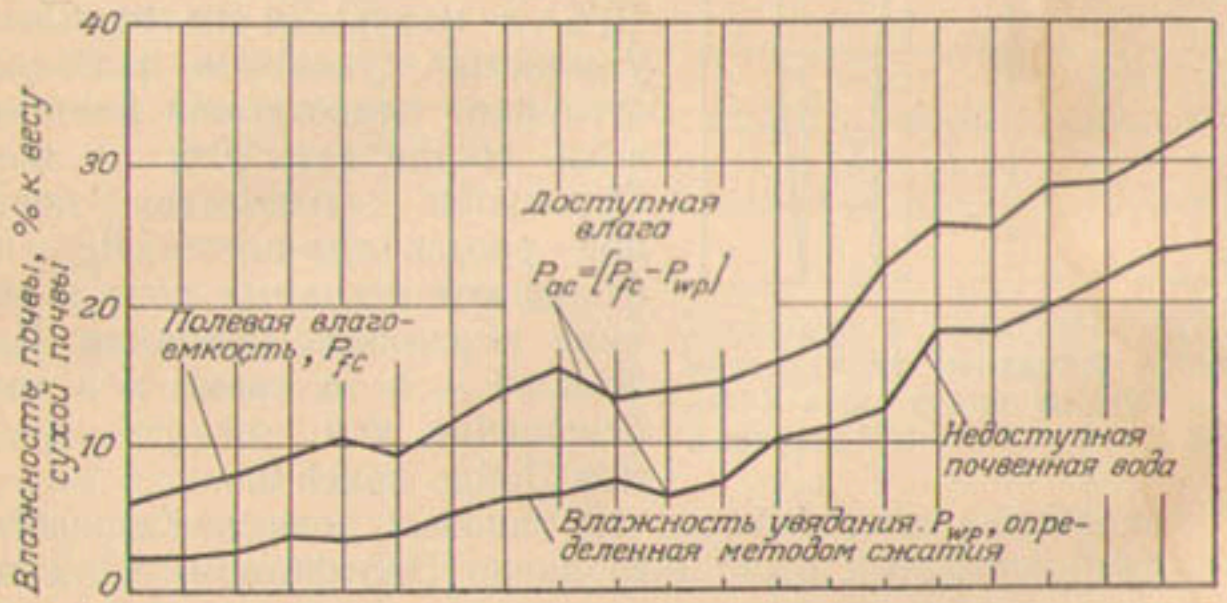


Рис. 122. Полевая влагоемкость, влажность увядания и доступная влага почвы в 21 пункте штата Южная Каролина.

на основе определения эквивалентов влажности и влажности увядания, а также использовав результаты опытов по определению влажности, Пил и его сотрудники вычислили доступную растениям или полезную влагоемкость в виде слоя воды, требуемого при каждом поливе, в качестве добавки к почве для

обеспечения необходимого количества доступной растениям влаги в каждых 30 *см* корнеобитаемого слоя мощностью 90 *см*. Результат определения ими объема доступной растениям влаги посредством указанного метода показывает, что доступная влагоемкость 12 разных почв находилась в пределах: 1) от 2 до 6 *см* воды на 30 *см* глубины почвы; 2) от 5 до 8,5 *см* на 60 *см* мощности почвенного слоя и 3) от 7 до 12 *см* для слоя почвы высотой 90 *см*. Средняя величина доступной влаги для верхних 90 *см* почвы находилась в пределах от 2,5 до 4 *см* на 30 *см* высоты почвенного слоя. Необходимость и выгодность дополнительного орошения указанных почв очевидны ввиду ограниченной способности корнеобитаемых слоев накоплять доступную для растений воду.

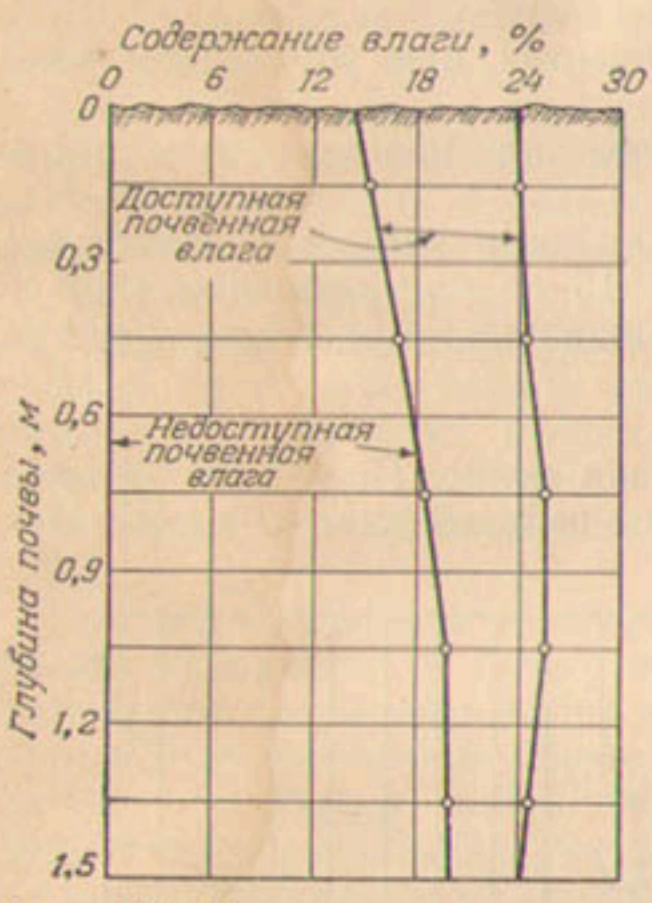


Рис. 123. Доступная и недоступная влага в верхнем 1,5-метровом слое одного из видов почв Калифорнии, по определению Эдлефсена.

На рис. 122 графиками показано влияние механического состава почвы на полевую влагоемкость, на величину влажности увядания при поверхностном натяжении жидкости 15 *ат*, а также и на доступную для растений влагу. Песчаные почвы обладают только небольшими количествами недоступной для растений воды (5% и менее), в то время как у илистых суглинков и тяжелых суглинков недоступная растениям вода составляет 20% и более. Отношение количества доступной растениям влаги P_{ac} норфолькских песчаных почв к величине влажности увядания P_{wp} — больше 3, в то время как то же отношение для тяжелых суглинков Лойдс менее 0,6.

Исследование влагоемкости 10 типовых почв в Калифорнии косвенными методами было выполнено Эдлефсеном. Для этих почв полезная влагоемкость находилась в пределах от 3 до 8 *см* на 30 *см* почвенного слоя. Эквиваленты влажности этих почв находятся в пределах от 26 до 95 *см*, а влажность увядания — от 8 до 48 *см*. Данные, полученные в результате 655 опытов, дают представление о величинах доступной влагоемкости на 30 *см* высоты почвенного слоя в другом районе. Величины влагоемкости находятся в пределах от 4,5 *см* для первых 30 *см* почвенного слоя и до 2 *см* — для горизонта почвогрунтов 1,20—1,50 *м*.

На рис. 123 показана также доступная и недоступная влага в каждом 30-сантиметровом слое почвы, начиная от поверхности до глубины 1,5 *м*.

Прямые и косвенные измерения доступной влагоемкости полезны для практики орошения. Там, где нет возможности провести измерения количества доступной почвенной воды, можно прибегать к приблизительной оценке (табл. 8).

Таблица 8

Глубина слоя оросительной воды, необходимая для накопления в почве, соответствующая полевой влагоемкости почв различного механического состава и типа

Тип почв и их механический состав	Общая влажность почвы, необходимая для растений, %	Количество воды в %, которое должно поступать при поливах в корнеобитаемый слой почвы разной мощности		
		0,6 *м*	1,2 *м*	1,8 *м*
Крупнозернистые песчаные почвы однородного механического состава до глубины 1,8 *м*	4,2—6,2	4,2	3,7	3,5
Крупнозернистые песчаные почвы с плотным подстилаемым грунтом	6,2—8,3	6,3	4,2	4,2
Легкие суглинки однородного механического состава до глубины 1,8 *м*	10,4—12,5	8,3	6,3	6,5
Легкие суглинки с плотным подстилаемым грунтом	10,4—14,6	9,2	6,7	7,0
Иловатые суглинки однородного механического состава до глубины 1,8 *м*	14,6—18,9	12,5	8,3	9,0
Иловатые суглинки с плотным подстилаемым грунтом	16,7—18,9	13,4	8,7	9,3
Почвы тяжелого механического состава или тяжелые суглинки . .	15,0—16,7	10,5	6,7	7,7

149. Заполнение водой пор в почве. Ниже приведено уравнение (30) гл. 6

$$da = qt.$$

Примем глубину d в этом уравнении как глубину слоя воды, необходимого для равномерного покрытия поверхности участка в целях заполнения капиллярных пор в слое почвы данной глубины или для доведения содержания воды в этом слое до величины полевой влагоемкости. Тогда d в уравнении (35) будет равносильно d в вышеприведенном уравнении. Сравнив уравнения (6) и (35), имеем

$$\frac{qt}{a} = \frac{P_{ac} A_s D}{100},$$

откуда следует, что

$$t = \frac{P_{ac} A_s D a}{100 q}. \qquad (38)$$

Если известен кажущийся удельный вес A_s, то можно вычислить число часов, необходимых для введения данного количества воды P_{ac} (в процентах) в почву участка с площадью a и с глубиной пласта D, использовав для этого ток воды в q *л/сек*.

Уравнение (38) можно применять, пользуясь значениями P_{ac}, выражающими полевую влагоемкость почв, если вычесть из них величины влажности почвы для полива. Вимейер и его сотрудники, исследуя некоторые почвы Калифорнии, нашли нецелесообразным добавлять небольшое (в процентах) количество воды в капиллярной форме в слой почвы на большой глубине по тем соображениям, что верхний слой почвы должен быть насыщен до полной капиллярной влагоемкости еще до того, как вода начнет передвижение вглубь почвы. Кроме того, весьма трудно достичь равномерного распределения воды на поверхности участка.

Исходя из этих соображений, можно считать, что уравнение (38) имеет практическую ценность.

150. Коэффициент полезного действия оросительной воды. Коэффициент полезного действия оросительной воды определяется как отношение объема воды, накопленного в корнеобитаемом слое почвы и в конечном итоге потребляемого растениями (путем транспирации или испарения или того и другого вместе), к объему воды, поданному в данное хозяйство.

Все увеличивающимися требованиями в отношении эффективности использования оросительной воды оправдывается внимательное рассмотрение всех факторов, влияющих на полноту использования воды, а равно и изучение других факторов, трудно поддающихся измерению. Высокий к. п. д. воды, поданной в хозяйство, создает уверенность в том, что вода использована рен-

табельно, хотя в величине к. п. д. в том виде, как он здесь определен, не отражены ни стоимость воды, ни размер полученных урожаев, ни ценность культур.

Пусть E_a — к. п. д. воды;
W_f — количество оросительной воды, поступившей в хозяйство;
W_s — количество воды, накопленной в корнеобитаемом слое почвы хозяйства.

Тогда к. п. д.

$$E_a = \frac{100 W_s}{W_f}. \tag{39}$$

Обычные потери оросительной воды в хозяйстве во время полива напуском на участке составляют:

R_f — сток с поверхности полей хозяйства;
D_f — фильтрация вглубь за пределы корнеобитаемого слоя.

Пренебрегая потерями от испарения во время полива и непосредственно после полива, можно считать, что

$$W_f = W_s + R_f + D_f. \tag{40}$$

Поэтому

$$E_a = 100\left[\frac{W_f - (R_f + D_f)}{W_f}\right]. \tag{41}$$

При каждом поливе на участок подается определенный объем воды. Необходимо эту воду сохранить в почве в виде почвенной влаги в корнеобитаемом слое. Однако нет возможности сохранить всю воду, так как некоторые потери воды неизбежны. Аккумуляция в корнеобитаемом слое большей части воды, поданной на участок, уменьшает до возможного минимума ее потери. Наиболее обычные потери оросительной воды обозначены символами R_f и D_f. На увеличение D_f (просачивание вглубь) и на уменьшение E_a (к. п. д.) влияют: неровность поверхности участка, малая глубина почвенного слоя, подстилаемого гравием с высокой водопроницаемостью, малая величина токов оросительной воды, отсутствие наблюдения во время полива, большая длина оросительных участков, чрезмерное количество воды, подаваемой на участок за один полив. На увеличение R_f и на уменьшение E_a влияют также: напоры чрезмерной величины, несоответствующая обработка почвы, уплотненность и малая водопроницаемость почвы, большие уклоны поверхности участков и недостаток внимания при поливе. Количество воды W_f, поданной в хозяйство, и сток можно измерить, исходя из номинальной стоимости воды, но непосредственные измерения D_f (количество воды, просочившейся вглубь) делать нецелесообразно. Для возможности поль-

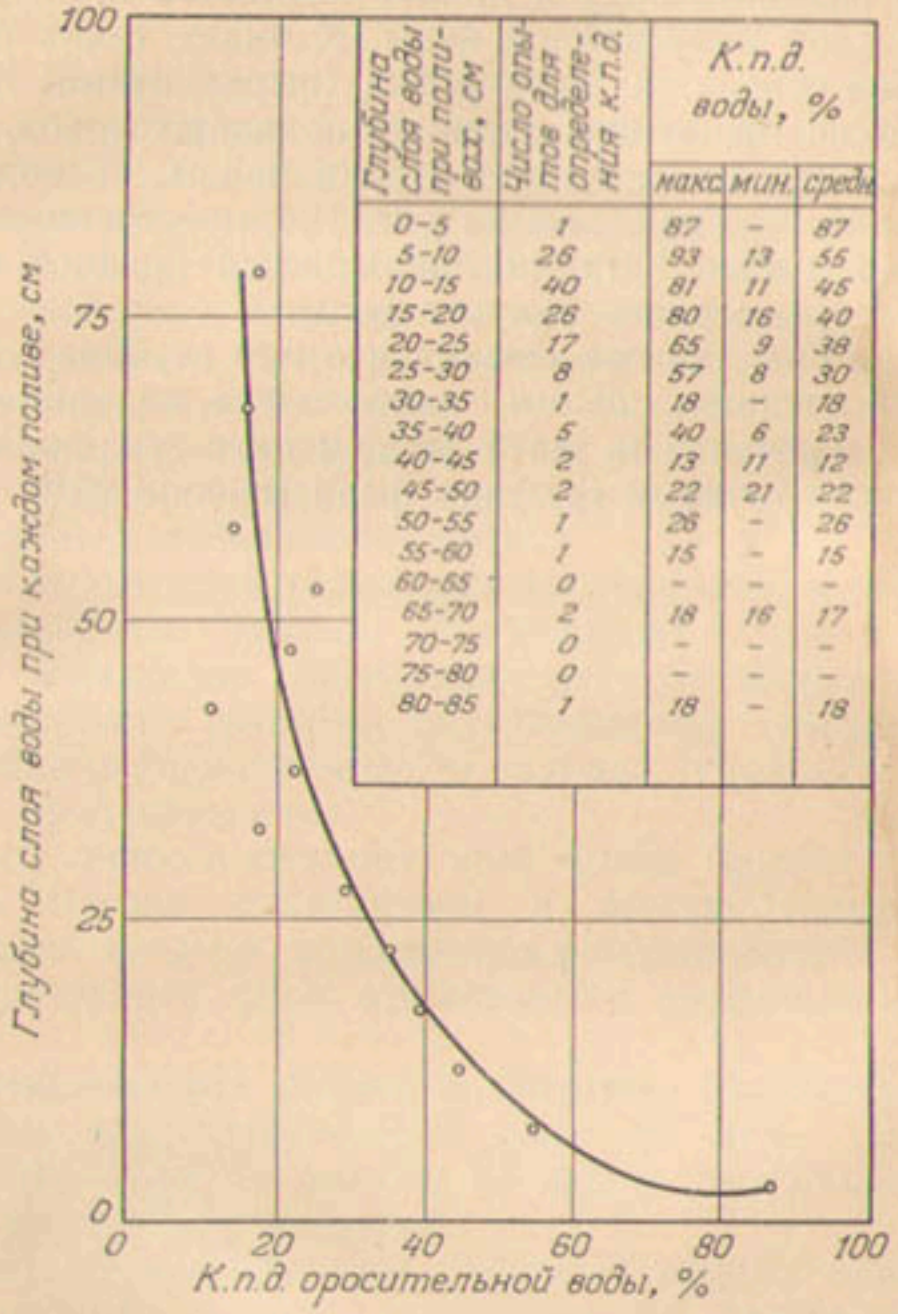
зоваться уравнениями (39) и (41) существенно важно измерить величину W_s (вода, накопленная в корнеобитаемом слое). Обычный метод получения проб до полива и после него и определение влажности почвы взвешиванием проб до и после высушивания являются и дорогими, и утомительными. Пользование тензиометрами для определения увеличения влажности почвы после каждого полива облегчает определение к. п. д. воды, поданной на земли хозяйств.

151. Результаты некоторых измерений к. п. д. оросительной воды. 39 опытами, проведенными в нескольких хозяйствах штата Юта, была установлена величина к. п. д. E_a, равной 28%. Для 30 опытов (77% общего числа опытов) средняя величина E_a определена в 50%.

Основными факторами, обусловливающими малую величину к. п. д. использования оросительной воды (установленную этими тридцатью опытами), являлись: чрезмерные количества воды при поливах (14 опытов), неравномерное распределение воды по поверхности (7 опытов), чрезмерная влажность почвы перед поливами (5 опытов) и комбинированное действие вышеуказанных факторов — при 4 опытах. При каждом поливе на величину к. п. д. влияют и многие другие факторы. 90 поливов, проведенных в другой группе хозяйств, выявило среднюю величину E_a, равной 44%. При 60 поливах, или 67% общего их числа, E_a оказался меньшим 50%. Основными факторами, обусловившими низкие величины к. п. д. E_a при этих 60 поливах, были: неравномерное распределение воды по поверхности участка, высокая влажность почвы перед поливами (15 поливов), чрезмерные количества воды, поданной напуском (13 поливов), и комбинированное действие высокой влажности воды и чрезмерных количеств поданной воды (12 поливов). 16 поливами в третьей группе хозяйств установлена средняя величина E_a, равная 34%. Лишь в 12 случаях (75% общего числа опытов) к. п. д. был менее 50%. Главными факторами, обусловившими малую величину E_a, были: чрезмерно большое количество поданной воды при каждом поливе, распространение поливной воды на слишком далекое расстояние и производство поливов при большой влажности почвы, не нуждавшейся поэтому в орошении. Хозяйства первой группы были расположены в долине вблизи каналов, проходящих выше хозяйств. Мощность слоя почвы на полях хозяйств была здесь мала, и почва обладала большой водопроницаемостью при высоком уровне стояния грунтовых вод. Хозяйства второй группы, расположенные в более высоких местах, обладали почвами средней водопроницаемости при среднем положении горизонта грунтовых вод. Хозяйства третьей группы, находившиеся в низменных местах долин, обладали почвами мелкозернистого меха-

нического состава с малой водопроницаемостью. Горизонт грунтовых вод был расположен здесь на глубине 0,90—1,50 *м* ниже поверхности земли.

Дайболд и Вильямс в 1948 г. сообщили о к. п. д. E_a, установленных опытными поливами затоплением полос и поливом по бороздам на землях штата Нью-Мексико, большинство почв



Глубина слоя воды при поливах, см	Число опытов для определения к.п.д.	К.п.д. воды, %		
		макс.	мин.	средн.
0-5	1	87	–	87
5-10	26	93	13	55
10-15	40	81	11	45
15-20	26	80	16	40
20-25	17	65	9	38
25-30	8	57	8	30
30-35	1	18	–	18
35-40	5	40	6	23
40-45	2	13	11	12
45-50	2	22	21	22
50-55	1	26	–	26
55-60	1	15	–	15
60-65	0	–	–	–
65-70	2	18	16	17
70-75	0	–	–	–
75-80	0	–	–	–
80-85	1	18	–	18

Р и с. 124. Зависимость величины к. п. д. от высоты слоя оросительной воды при каждом поливе.

которых были глины или тяжелые суглинки, подстилаемые речным песком на глубине от 50 до 90 *см*. В сообщении Дайболда и Вильямса говорится о 10 опытах, которыми установлена величина к. п. д. E_a в пределах от 24 до 100% при средней величине 67%. В случаях 25 поливов (из проведенных 32) в течение двух дней после поливов в корнеобитаемом слое было накоплено менее 75 *см* воды.

152. Глубина слоя поливной воды и к. п. д. E_a. Слой воды, подаваемой на участки при поливах,—основной фактор, влияющий на величину E_a. Даже в случае равномерного распределения воды по поверхности чрезмерно большая глубина слоя обусловит в результате малую величину E_a. Много разнообразных факторов влияет на длительность времени, в течение которого необходимо подавать воду в данное хозяйство и, следовательно, на глубину слоя напускаемой воды. К числу таких разнообразных факторов относятся: планировка (выравнивание поверхности земли), методы орошения, размеры поливных токов, длина поливных участков, механический состав почвы, ее водопроницаемость и мощность. Графиком на рис. 124, построенным на основе 133 опытов в штате Юта, подтверждается вредное влияние на величину E_a чрезмерного напуска воды.

Кривая на рис. 124 показывает, что при глубине слоя напуска воды, превосходящем 25 *см*, наибольшая величина E_a была только 30%, наименьшая же — 12%, а пять средних величин E_a из 9 указанных точками графика были меньше 20%.

Глава 10

ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ВОДЫ В ПОЧВЕ

Силы, заставляющие воду передвигаться в насыщенных почвах, сравнимы с силами, вызывающими течение воды в трубопроводах; эти силы являются результирующими разности давлений воды и силы тяжести. Величину и направление этих двух движущих сил как в трубах, так и в насыщенных почвах можно измерять, пользуясь общепринятыми методами.

Изучая передвижение воды в почвах, физики прежде всего интересовались передвижением воды в ненасыщенных почвах, геологи и инженеры главное свое внимание обращали на передвижение воды в насыщенных почвах.

Физики пользуются терминами «потенциал», «градиент потенциала», «области равных потенциалов» (эквипотенциальные области), «факторы проводимости», а инженеры говорят о «гидравлических напорах, обусловленных давлением и высотой», о «линиях гидравлического уклона» (градиента) и о «гидравлической проницаемости».

В гл. 10 первого издания этой книги применялись преимущественно термин «потенциал» и другие термины физики. В настоящем издании использована терминология, общепринятая в гидротехнике (т. е. применяемая инженерами).

153. Механическая работа и энергия. Механическая работа определяется как произведение силы на путь. Для поднятия одного фунта воды на высоту 10 футов необходимо затратить работу, равную 10 фунтофутам.

Принципами механической работы и энергии пользуются для вывода основных формул, определяющих движение жидкости, включая и передвижение воды в почвах. Энергия определяется как способность тела производить работу.

В жидкостях проявляются три вида энергии:

1) кинетическая энергия;
2) энергия как результат разности напоров;
3) энергия (по высоте) положения.

Один фунт воды, текущей со скоростью v *фут/сек*, обладает кинетической энергией, равной $\frac{v^2}{2g}$ фунтофутов. Точно так же один фунт воды, находящийся на высоте 100 фут. над данной

поверхностью, обладает энергией высоты положения, равной 100 фунтофутам. Единица массы жидкости, имеющая запас энергии вследствие разницы напоров, обладает энергией только при условии соприкосновения с другими частицами жидкости, находящимися под меньшими напорами.

154. Уравнения энергии. В механике жидкостей имеют дело с тремя основными единицами: силы, массы и объема, применяемыми при определении энергии жидкости. Фунт обычно применяется как единица измерения силы или веса, «слаг» (slug) (1 фунтофут/сек²) — как единица массы и кубический фут — как единица объема.

Величина механической энергии, которой обладает фунт движущейся жидкости, пропорциональна скоростному напору $\frac{v^2}{2g}$, напору давления $\frac{p}{w}$ и высотному напору z. На этом основано известное уравнение Бернулли, выражающее энергию, отнесенную к единице веса (фунтофутов на фунт):

$$E_w = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{w} + z. \qquad (42f)$$

Каждая часть уравнения (42 f) имеет размерность L — длины. Поэтому при умножении на $\frac{F}{M}$ каждая часть уравнения будет выражать энергию, приходящуюся на единицу массы (размерность $F\frac{L}{M}$). Следовательно,

$$E_m = g\left[\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{w} + z\right] — \text{энергия на единицу массы * жидкости} \qquad (42m)$$

Так как w выражает силу на единицу объема (размерность $\frac{F}{L^3}$), то каждая часть уравнения представляется в виде

$$E_v = w\left[\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{w} + z\right] — \text{энергия на единицу объема жидкости} \qquad (42v)$$

Скорость тока грунтовой воды и кинетическая энергия невелики и во внимание не принимаются. Поэтому напор давления $\frac{p}{w}$ и высотный напор z являются доминирующими элементами. Сумма этих двух напоров называется гидравлическим напором.

---

* Термин „потенциал" применяется некоторыми авторитетами в связи с уравнением, выражающим энергию, отнесенную к единице массы. Некоторые авторы называют выражение $\left(\frac{p}{w} + z\right)$ потенциальным напором.

155. Линии гидравлического уклона. В технической литературе термином «линия гидравлического уклона» (см. гл. 4, рис. 33) определяется кривая, представляющая высоты, до которых поднимается вода в ряде вертикальных трубок, установленных на трубе, в которой течет вода под действием напора. У трубок, в которых напор воды невелик, линия гидравлического уклона проходит относительно близко к трубе, а у трубок с более высоким напором указанная линия проходит выше, на большем расстоянии от трубы. Средняя скорость течения воды в трубе не зависит от положения линии гидравлического уклона над трубой, но зависит от величины уклона.

Схема измерения гидравлического уклона, вызывающего ток воды в насыщенных почвах, показана на рис. 125. В трубе или в колонке почвы, в которых передвигается вода, измеряется потеря напора h_f, относящаяся к расстоянию l между точками, в которых производится измерение, т. е. потеря на единицу длины равна $\frac{h_f}{l}$.

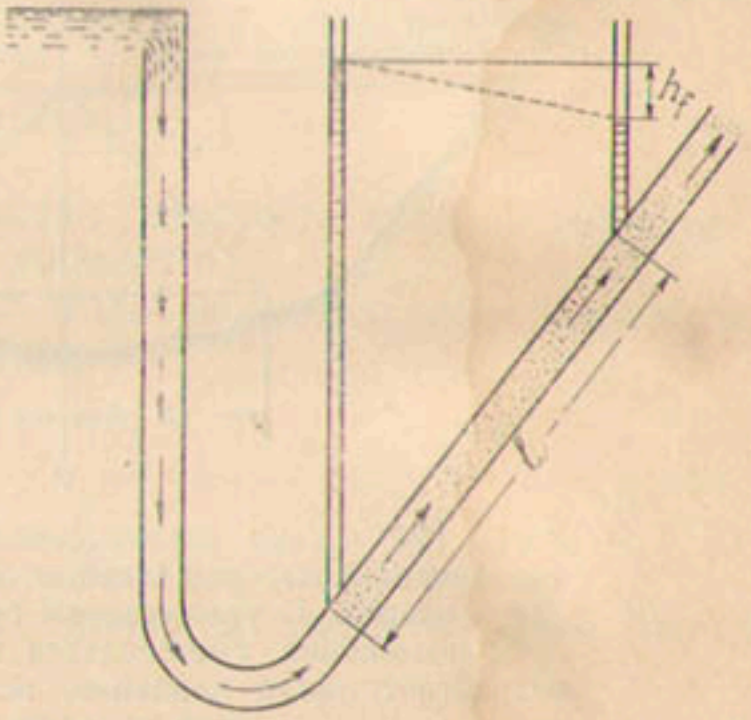


Рис. 125. Схема измерения гидравлического уклона.

Разность гидравлических напоров или потеря напора между двумя точками в трубе, в которой вода движется под давлением, представлена разностью положений по высоте двух точек на линии гидравлического уклона. Эта разность h_f гидравлических напоров, деленная на длину l, определяет уклон линии гидравлического градиента, или иначе — гидравлического уклона.

156. Области одинаковых гидравлических напоров *. Пространство или объем, в котором гидравлические напоры в любых точках имеют одинаковую величину, известен под названием «область одинаковых гидравлических напоров».

Некоторая масса неподвижной воды, не находящаяся под действием ветра — в пруду или в озере (рис. 126), в которые вода не притекает и из которых не вытекает, — является областью одинаковых гидравлических напоров. Поверхность воды

* Автор возражает (см. начало главы) против термина „потенциал", а следовательно, против термина „эквипотенциальная область". — *Прим. ред.*

здесь принимается как плоскость, от которой ведется отсчет (плоскость отсчета); положение этой плоскости обозначается нулем. При продвижении вниз от поверхности воды ко дну пруда или озера напор давления $\frac{p}{w}$ увеличивается при одновременном уменьшении высотного напора z. Отсюда следует, что гидравлический напор $\left(\frac{p}{w}+z\right)$ постоянен и что указанная зона является областью одинаковых гидравлических напоров. Здесь отсутствуют результирующие силы как следствие изменения суммы

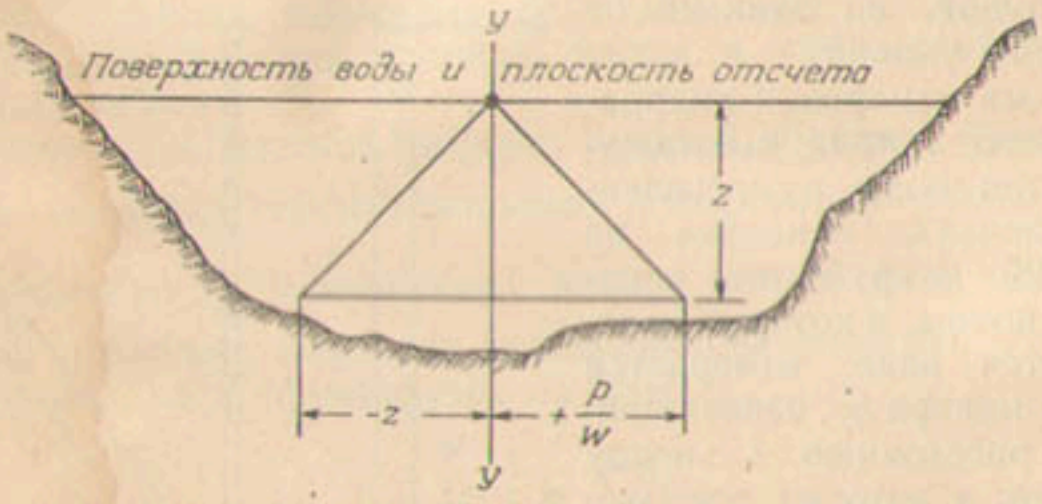


Рис. 126. Схема расположения области одинаковых гидравлических напоров (эквипотенциалей) в водоеме (в пруде или в озере). С увеличением глубины воды напор от высоты положения уменьшается в той же степени, с какой возрастает напор давления, вследствие чего сумма этих двух напоров постоянна.

слагаемых — напора давления и напора высоты. Гидравлический уклон (градиент) равен нулю.

157. Ток воды в водонасыщенных почвах. Скорость v установившегося движения воды в водонасыщенных почвах пропорциональна коэффициенту фильтрации k почвы и гидравлическому уклону в направлении тока воды, что выражается широко применяемым уравнением Дарси

$$v = k\frac{h_f}{l}. \qquad (43)$$

В это уравнение может быть введен удельный вес жидкости w и ее динамическая вязкость μ; в результате оно приобретает вид

$$v = \left(\frac{k'w}{\mu}\right)\frac{h_f}{l}. \qquad (43а)$$

Величина проницаемости k' обладает физической размерностью площади (L^2). На водопроницаемость почвы влияют

только размеры и форма почвенных частичек и пор, т. е. механический состав почвы и структура, но проницаемость не зависит от свойств жидкости, ее удельного веса и вязкости. Большинством исследований тока почвенной воды при орошении и дренировании было установлено, что влияние удельного веса и вязкости относительно невелико; поэтому введение в уравнение (43а) величин w и μ не является существенным условием. В уравнении (43) k равно $k' \frac{w}{\mu}$ [из уравнения (43а)].

Подставляя величину v из уравнения (43) в основное уравнение, выражающее течение жидкости, $q = va$, получим

$$q = \frac{kh_f a}{l}, \tag{44}$$

где a — общая величина площади, плоскость которой перпендикулярна к направлению тока жидкости.

В водонасыщенных почвах вода находится под давлением, величина которого в любой точке

$$p = wh,$$

а напор давления

$$h = \frac{p}{w}.$$

Обозначим гидравлический напор в точке 1 через h_1, а в точке 2 — через h_2. Тогда

$$h_1 = \frac{p_1}{w} + z_1,$$

$$h_2 = \frac{p_2}{w} + z_2.$$

Пусть h_1 больше h_2 и расстояние между двумя названными точками равно l. Тогда

$$h_f = h_1 - h_2 = \left(\frac{p_1}{w} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{w} + z_2\right),$$

а отсюда гидравлический уклон

$$\frac{h_f}{l} = \frac{\left(\frac{p_1}{w} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{w} + z_2\right)}{l}. \tag{45}$$

В уравнении (45) w выражает удельный вес воды, а $\frac{p_1}{w}$ и $\frac{p_2}{w}$ — напоры давления, z_1 и z_2 — высотные напоры, отнесенные к принятой плоскости отсчета.

Применение уравнений (43), (44) и (45) к передвижению почвенной воды в водонасыщенных почвах иллюстрируется двумя нижеприведенными примерами. Первый относится к току

свободной грунтовой воды в песке при небольшом гидравлическом уклоне (рис. 127), второй — к восходящему току через 12-метровый слой глины, залегающей на артезианском водоносном пласте гравия, в котором вода находится под напором или в конечном состоянии (рис. 128).

На рис. 127 показана не ограниченная ничем безнапорная грунтовая вода, проходящая через слой песчаной почвы, подстилаемой плотной глиной. Пьезометр, установленный в сечении *1*,

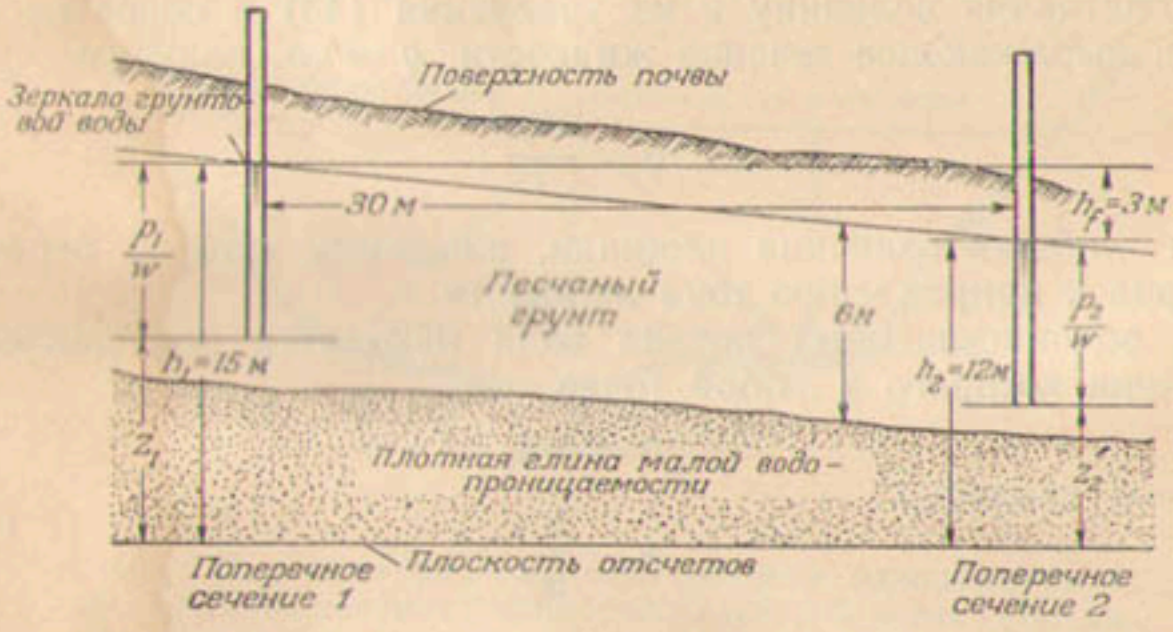


Рис. 127. Ток свободной грунтовой воды в насыщенном водой песчаном грунте, подстилаемом плотной глиной.

показывает гидравлический напор $h_1 = \frac{p_1}{w} + z_1 = 15$ *м*, а пьезометр в сечении *2* — $h_2 = \frac{p_2}{2} + z_2 = 12$ *м*. Поэтому при длине пути перемещения воды, равном 30 *м*, гидравлический уклон, согласно уравнению (43), равен $\frac{10}{100}$, а скорость равна 0,1 k. Приняв среднее значение $k = 360$ *м/год*, или $1{,}14 \cdot 10^{-5}$ *м/сек*, получим приблизительную скорость движения воды через песок $v = 36$ *м* в год; расход воды на протяжении ее пути в 300 *м* и при 6-метровой глубине, согласно уравнению (44), будет

$$q = \frac{1{,}14 \cdot 300 \cdot 6 \cdot 1}{100\,000 \cdot 10} = 0{,}00205 \ м^3/сек \approx 2 \ л/сек.$$

Результаты пьезометрических измерений на 8 различных высотах в глинистой почве, лежащей на водоносном артезианском водопласте гравия, показаны на рис. 128. Поверхность гравелистого грунта принята за плоскость отсчета или за плоскость с нулевым высотным напором. Водопроницаемость глинистой почвы определена скоростью 1,5 *м* в год. Для определения

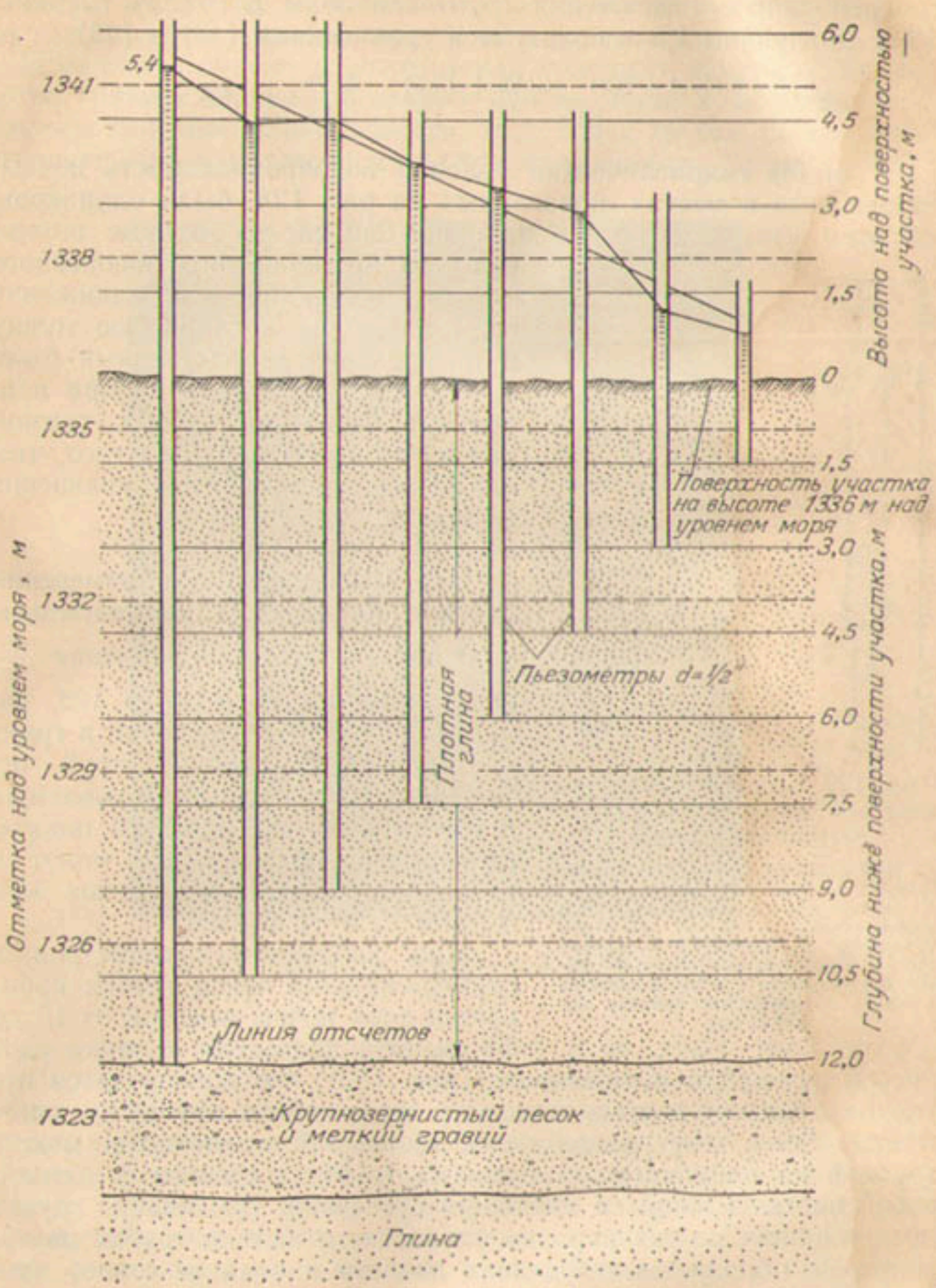


Рис. 128. Схема определения среднего напора давления, построенная на основе результатов 24 измерений на 8 глубинах глинистого грунта, подстилаемого артезианским водоносным слоем.

средней скорости движения грунтовой воды в год из глубины 12 *м* до глубины 1,5 *м* пользуемся уравнениями (43) и (45):

$$v = \frac{1{,}5\,(17{,}4 + 0{,}0) - (2{,}25 + 10{,}5)}{10{,}5} = \frac{6{,}975}{10{,}5} = 0{,}66\ м/год.$$

Если бы гидравлический уклон и водопроницаемость почвы, измеренные в местах, показанных на рис. 128, были одинаковы на всем участке, т. е. на площади 260 *га*, то годовые потери воды из артезианского водоносного пласта вследствие передвижения воды вверх через глинистую толщу и потребления ее растениями были бы 1235 $м^3$. Величины напора давления и высотного напора, указанные выше, приведены для того, чтобы показать применение уравнения Бернулли.

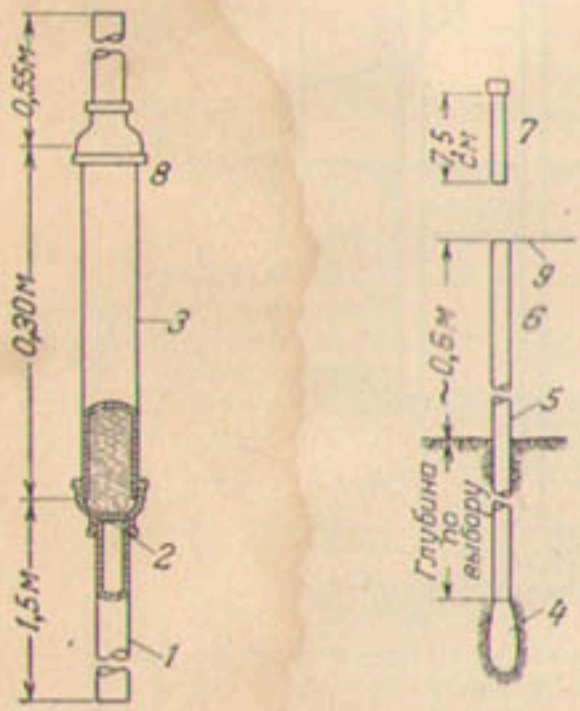


Рис. 129. Детали пьезометра и молота для забивания трубок пьезометра в грунт.

1 — труба диаметром $^3/_4$″; *2* — стальная пробка; *3* — трубка диаметром $1^1/_4$″; *4* — полость в почве, образованная подмывом грунта; *5* — трубка диаметром $^1/_4$″ или $^3/_8$″; *6* — пьезометр; *7* — головка для забивания трубки в почву; *8* — молот для забивания трубок пьезометра в почву; *9* — выбранная отметка поверхности.

158. Пьезометры для измерения напоров давления в водонасыщенных почвах. Напоры давления $\frac{p}{w}$, показанные на рис. 127 и 128, измеряются путем погружения в грунт на требуемую глубину труб небольшого диаметра, называемых пьезометрами. На рис. 129 показаны широко применяемые молот и головка для забивания трубок диаметром $^1/_4$ и $^3/_8$ дюйма.

При забивании пьезометров в грунт в нижний конец трубки набивается слой почвы высотой от 15 до 30 *см*. Эта почвенная колонка удаляется из трубки вымыванием (рис. 130), что производится путем накачивания воды в пьезометр через гибкую трубку из пластмассы. Вода течет вверх через кольцевой промежуток между трубкой из пластмассы и стенками трубки пьезометра, унося с собой частицы почвы в состоянии суспензии. Вымывание грунта продолжается до тех пор, пока у нижнего выхода трубки пьезометра не образуется небольшая полость и вода не станет прозрачной. Длина трубки из пластмассы принимается в соответствии с длиной трубки пьезометра, и ее не следует выдвигать из нижнего конца пьезометра больше чем на 8—10 *см*.

В почвах средней проницаемости вода в пьезометре достигает стабилизации уровня в течение нескольких минут, но в

почвах с малой водопроницаемостью может потребоваться несколько часов для достижения такого равновесия.

Если почвы сильно уплотнены или содержат некоторое количество гравия, который не может пройти через кольцевой промежуток при вымывании полости, то в конец трубки пьезометра вставляют предварительно металлическую пробку. Затем трубку



Рис. 130. Вымывание полости под трубкой пьезометра.

забивают в землю на глубину около 8 *см* ниже требуемого уровня и тянут вверх на 8 *см* так, что пробка легко может быть выбита из трубки при помощи стержня. Таким образом исключается затруднение, встречающееся иногда при удалении почвы, забивающей обычно конец трубки пьезометра. Однако в большинстве случаев эту почву легче удалить из трубки пьезометра промыванием, чем выбить металлическую пробку. Отсчет показаний пьезометра при помощи электрозвукового сигнального прибора показан на рис. 131.

159. Измерение водопроницаемости почвы. Водопроницаемость насыщенных почв весьма разнообразна. При изучении вопросов орошения и дренирования в части, касающейся почв,

водопроницаемость является основным переменным фактором; некоторые почвы обладают водопроницаемостью, в сто тысяч раз большей, чем другие.

Изучение водопроницаемости почвы существенно необходимо для повышения эффективности подачи воды на орошаемые площади и производства поливов, для создания хороших систем



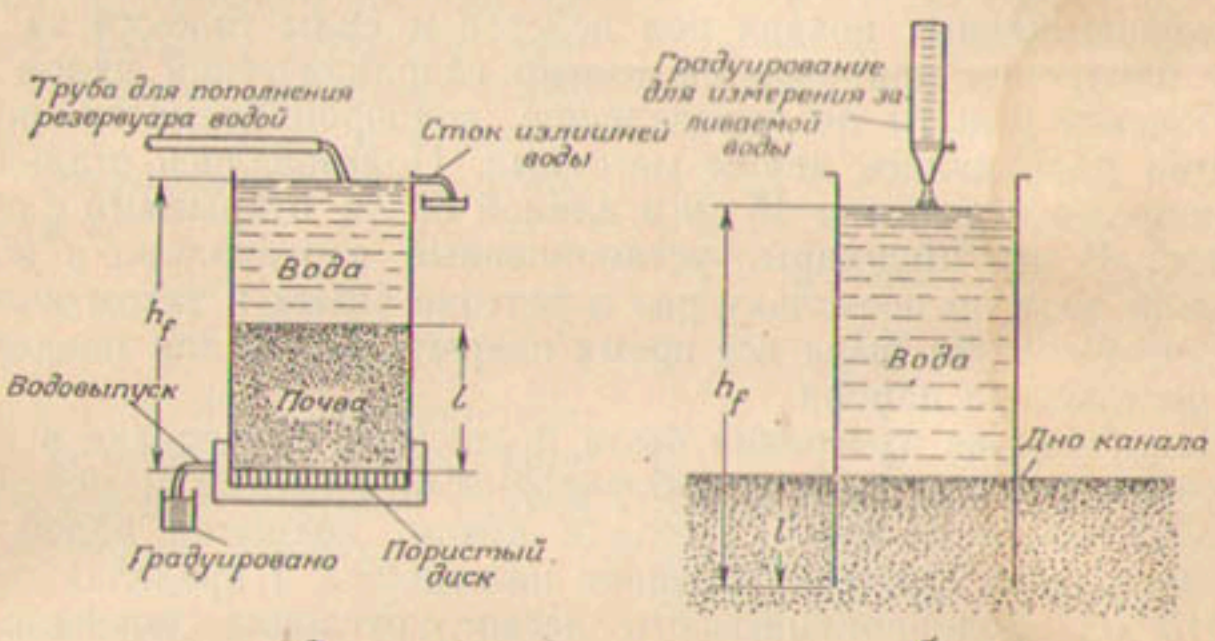
Рис. 131. Измерение напора пьезометром при помощи электрического звукового аппарата.

дренирования и для восстановления плодородия засоленных почв. На водопроницаемость почв влияют размер и форма почвенных пор, по которым движется вода. На водопроницаемость влияют также удельный вес и вязкость почвенной воды, что отражено в уравнении (43а), а также температура воды и некоторые другие факторы. Нет необходимости взвешивать все факторы, влияющие на орошение, но весьма существенно и практически важно определение водопроницаемости почвы как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Из большого числа различных приборов для измерения водопроницаемости почв наиболее важны пермеаметр постоянного напора и пермеаметр переменного напора. Этими обоими приборами можно пользоваться как в лаборатории, так и в поле.

Ниже даны краткие описания обоих приборов с соответствующими чертежами и примерами определения водопроницаемости грунта.

160. Пермеаметр постоянного напора. При постоянном напоре, поддерживаемом или непрерывным притоком или частым добавлением воды, можно установить приблизительно постоянный непрерывный ток воды через почву. На рис. 132 показаны пермеаметры; один (*а*) — предназначенный для лабораторных



а *б*

Р и с. 132. Пермеаметры постоянного напора.

опытов, а другой (*б*) — для работы в поле. Закон Дарси движения воды в грунтах можно применить при вычислении водопроницаемости почвогрунтов, если измерен расход воды q, проходящий в единицу времени, а также если известны общая площадь a поперечного сечения почвы, перпендикулярная к направлению течения, потеря гидравлического напора h_f и длина пути тока l. Потеря напора и длина пути воды иногда могут быть измерены достаточно точно при небольших затратах средств в полевых условиях, если структура почвы не нарушена. Представим себе поверхностный слой почвы, обладающий малой водопроницаемостью и залегающий на породе с высокой водопроницаемостью. В этом случае потери гидравлического напора и длина пути воды могут рассматриваться соответственно как: 1) расстояние h_f от поверхности воды до слоя с высокой водопроницаемостью и 2) как высота l, равная толщине верхнего слоя почвы (рис. 132). Пользуясь указанными обозначениями и решая уравнение (41) относительно коэффициента водопроницаемости k, имеем

$$k = \frac{ql}{h_f a}. \qquad (46)$$

Пример. Площадь поперечного сечения грунта 0,11 $м^2$. В течение 0,4 часа через это сечение протекло 0,0098 $м^3$ воды. Потери гидравлического напора при токе воды через 1 $м$ грунта равны 2,4 $м$. Тогда коэффициент водопроницаемости равен

$$k = \frac{0{,}0098 \cdot 1}{0{,}4 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}11} = 0{,}093\ м/час, \quad \text{или} \quad 815\ м/год.$$

Инженеры — специалисты по орошению при определении водопроницаемости грунта пользуются различными единицами объема, площади и времени. При нисходящем вертикальном токе воды в водонасыщенных почвах под действием силы тяжести за единицу измерения принимается только гидравлический уклон.

Полевые опыты по определению водопроницаемости почвогрунтов проводились двумя методами. Пользовались стальными цилиндрами диаметром 45 $см$ и длиной 50 $см$, открытыми с обоих концов. В эти цилиндры, установленные вертикально в почву, вливали воду по нескольку раз в течение опыта в таком количестве, чтобы почва была все время покрыта водой для поддержания постоянства напора.

Подобные же измерения были проведены на делянке в поле. Основная разница между лабораторными опытами и полевыми заключалась в большей площади почвы, покрытой водой при опытах в поле. Площади делянок находились в пределах от 2,9 до 115 $м^2$. Водопроницаемость легкого суглинка уменьшилась приблизительно на половину в течение 4 час., после чего оставалась постоянной. В суглинке, смешанном с вулканической почвой, наблюдалось постоянство тока. Измерениями, проведенными в глубоких слоях суглинка на делянке А, был установлен быстрый ток воды только вскоре после увлажнения почвы. На делянках *В* и *С* наблюдалась высокая водопроницаемость почвы вскоре после ее увлажнения, меньшая же водопроницаемость при постоянстве тока воды была установлена спустя 12 час. после увлажнения. Через глинистые почвы вода проникает медленно. Полевых определений водопроницаемости таких почв было проведено мало; большая часть измерений проводилась до последнего времени в лабораториях.

161. Пермеаметр переменного напора. Пермеаметр переменного напора применяется для измерения водопроницаемости плотных почв с мелкозернистым механическим составом и малой проницаемостью (рис. 133). Прибор состоит из цилиндра с конической верхней частью, к которой прикреплена стеклянная трубка малого диаметра. Цилиндр вдавливают в почву на некоторую определенную глубину, после чего его заполняют водой. По мере фильтрации воды через почву, вошедшую в цилиндр, уровень воды в стеклянной трубке понижается. Поперечное сечение цилиндра обычно делается в 100 раз большим, чем сечение стеклян-

ной трубы. Поэтому уже небольшой объем воды, просочившейся через почву в цилиндре, регистрируется стеклянной трубкой как относительно большая величина. Коэффициент водопроницаемости k вычисляется исходя из: 1) величин начального и конечного напоров (h_1 и h_2), определяемых по уровням воды в стеклянной трубке; 2) промежутка времени t; 3) толщины колонки почвы в цилиндре, или иначе пути движения воды l и 4) отношения $\frac{a}{A}$ — площади поперечного сечения стеклянной трубки к площади поперечного сечения цилиндра. Ниже приводится формула для вычисления коэффициента водопроницаемости k:

$$k = \frac{2{,}3al}{At} \log \frac{h_1}{h_2}. \qquad (47)$$

Пример. Пусть нужно определить коэффициент фильтрации для облицовки канала глиной при следующих данных:

$a = 1{,}64\ см^2$, $t = 6{,}2$ часа,
$A = 964\ см^2$, $h_1 = 166\ см$,
$l = 13\ см$, $h_2 = 148\ см$.

$$k = \frac{2{,}3 \cdot 1{,}64 \cdot 13}{964 \cdot 6{,}2} \log \frac{166}{148} =$$
$$= 4 \cdot 10^{-4}\ см/час$$

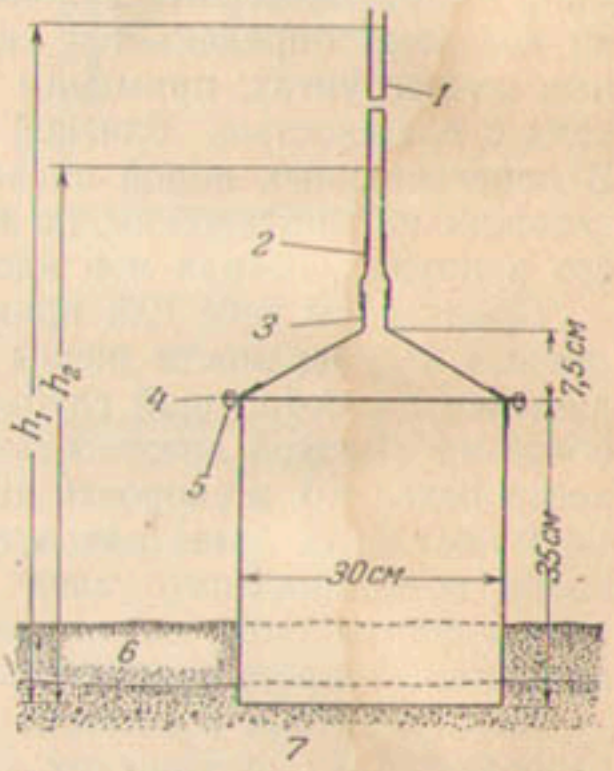


Рис. 133. Пермеаметр переменного напора.

1 — стеклянная трубка; *2* — резиновая соединительная муфта; *3* — оцинкованная трубка с внутренним диаметром 19 *мм*, прикрепленная к конической крышке цилиндра; *4* — резиновая прокладка; *5* — болты через 5 *см*; *6* — облицовка из глины; *7* — дно канала сложено из крупного песка большой водопроницаемости.

Главное затруднение, наблюдавшееся во время опытных работ в поле с описываемым пермеаметром, заключалось в тенденции цилиндра подниматься и выходить из почвы под действием давления, производимого на внутреннюю поверхность столбиком воды в стеклянной трубке. Во избежание этого явления на коническую поверхность прибора помещали груз.

Пермеаметром переменного напора измеряют водопроницаемость дна и откосов каналов, их облицовки, но не скорость фильтрации воды из каналов, уже находящихся в эксплуатации. Для определения последней нужно знать также и величину гидравлического уклона, вызывающего просачивание воды через дно и откосы канала.

162. Движение воды в ненасыщенных водой почвах. В ненасыщенных водой почвах вода передвигается и в форме жидкости,

и в форме пара. Скорость движения воды под действием некоторого принятого уклона больше для почв, влажность которых близка к величине полевой влагоемкости, и меньше для почв с влажностью, приближающейся к влажности увядания. Возможно, что в почвах с влажностью, близкой к полевой влагоемкости, скорость движения воды приблизительно пропорциональна величине гидравлического уклона. Другими словами, закон Дарси, по которому определяется скорость движения воды в насыщенных почвогрунтах, применим также и для многих ненасыщенных почв с влажностью, близкой к величине полевой влагоемкости. В ненасыщенных водой почвах ток воды вызывается силой растяжения или натяжения, но не силой сжатия, как это имеет место в прудах, озерах и в насыщенных водой почвах.

Представим себе для примера восходящий ток воды, направленный к поверхности почвы от горизонта грунтовой воды, находящейся на небольшой глубине. Если поверхностный слой почвы обладает высокой влажностью, то поверхностное натяжение жидкости невелико, а скорость движения воды вверх не только мала, но может быть даже равна нулю. Однако с уменьшением влажности поверхностного слоя почвы вследствие испарения или транспирации сила натяжения жидкости увеличивается и одновременно возрастает скорость восходящего тока воды.

Исследователи в области почвоведения, орошения и дренажа разрабатывают аппаратуру, оборудование и методы для измерения величины напора натяжения * в различных точках ненасыщенных водой почв с различной влажностью. При горизонтальном токе скорость принимается прямо пропорциональной напору от всасывающей силы почвы.

В следующем пункте описан один из приборов для измерения всасывающей силы почвы.

163. Тензиометры для измерения всасывающей силы в ненасыщенных водой почвах. Сила поверхностного натяжения воды в ненасыщенных водой почвах выражается несколькими терминами, как, например: «всасывающая сила», «капиллярное натяжение». Для приборов, предназначенных для измерения этой

---

* Термин „напор" (head) предложен автором, имевшим в виду обыкновение научных работников выражать натяжение (tension) в сантиметрах ртутного столба или в футах водяного. То и другое в технике выражается единицами длины, отвечая понятию „напор", и определяется по уравнению (42*f*). В этом уравнении каждое из трех слагаемых правой части представляет собой энергию, отнесенную к единице веса.

Поверхностное (пленочное) натяжение в жидкостях имеет размерность $\frac{F}{l}$ — сила на единицу длины. Сила натяжения, стремящаяся переместить воду через данное поперечное сечение почвы от мест с большой влажностью к местам с меньшей влажностью, выражается как сила на единицу площади,

силы, были предложены различные названия. Гарднер и Ричардс, измеряя отнесенную к единице массы энергию, вызываемую капиллярным натяжением, называли свой прибор капиллярным потенциометром. В 1935 г. те же авторы предложили название «тензиометр» для приборов по измерению всасывающей силы

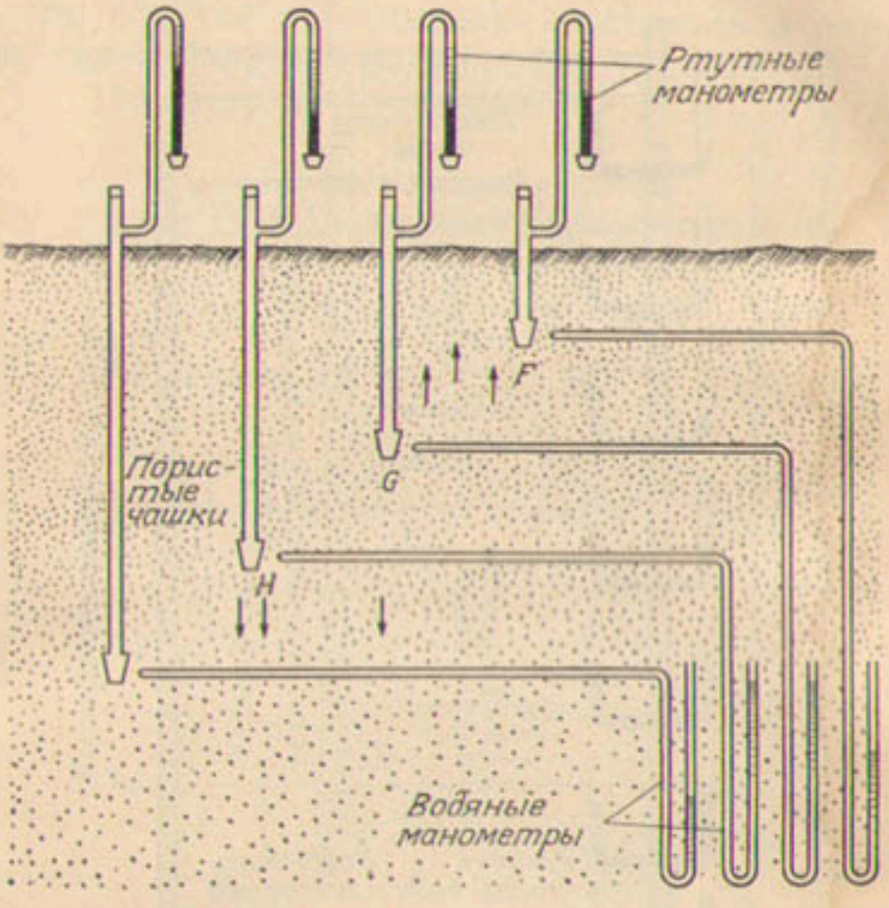


Рис. 134. Установка тензиометра с применением ртутных манометров.

влаги, в конструкцию которых входит пористая вакуумная камера. Конструкция одного из типов тензиометра схематично показана на рис. 134.

Применяя этот прибор, целесообразно пользоваться и ртутными манометрами, как показано на верхней части рис. 134. Отсчеты по манометрам показывают, что вода в слое почвы F движется вверх вследствие более высокого гидравлического напора в верхней пористой чашке. В слое же H вода движется вниз под действием силы тяжести и большей всасывающей силы почвы в нижней пористой чашке. В слое G гидравлический напор $(h_t + z)$ одинаков во всех точках, почвенная вода находится в состоянии покоя, а гидравлический уклон равен нулю.

164. Одинаковые гидравлические напоры в ненасыщенных водой почвах. Если гидравлический напор имеет одинаковую

величину во всех точках данного слоя почвы, то движение воды в почве в каком-либо направлении отсутствует.

На рис. 135 показан некоторый объем почвы, в плоскости вертикального разреза которого гидравлический напор имеет

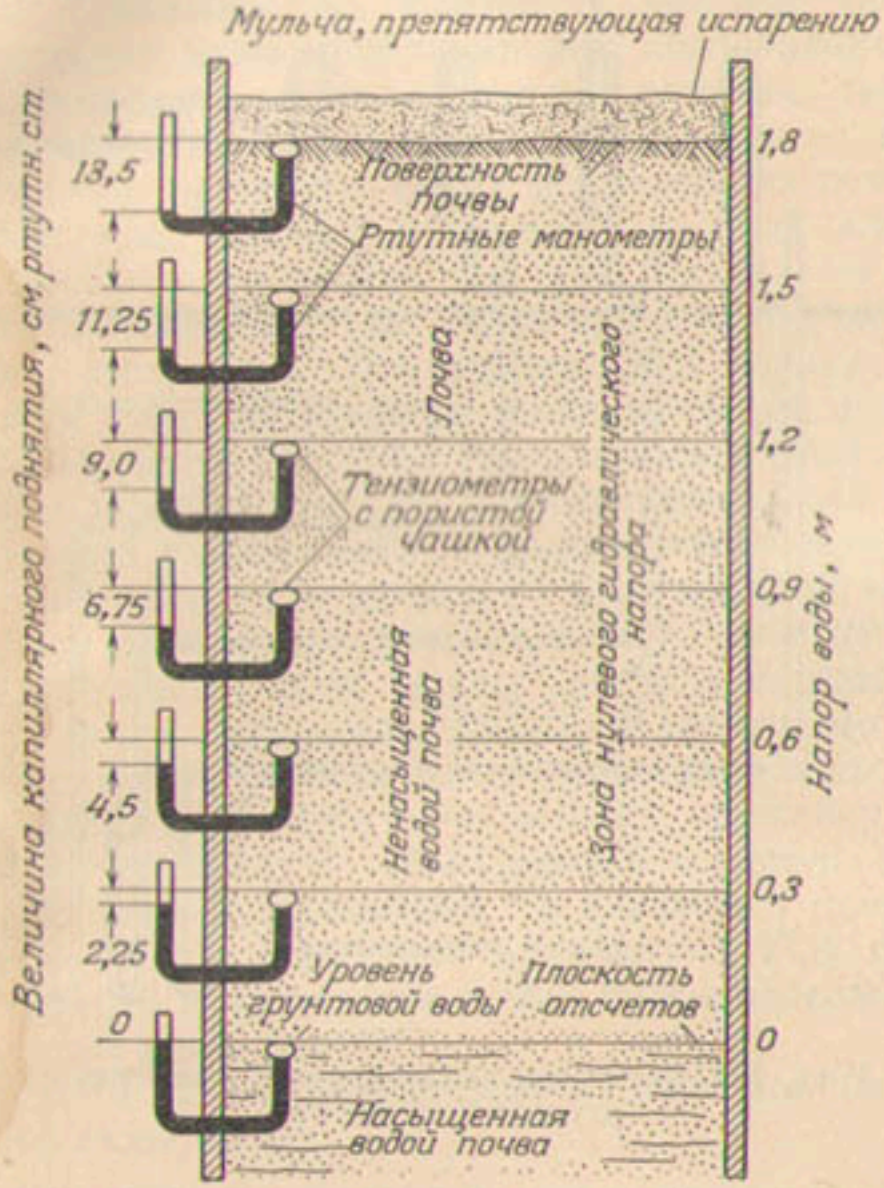


Рис. 135. Схема тока капиллярной воды, находящейся выше насыщенной водой почвы, и положения уровня грунтовой воды в зоне одинаковых гидравлических напоров. Вода в почве находится в состоянии покоя.

постоянную величину. Горизонт грунтовой воды принят за поверхность отсчета. Тензиометры с пористыми чашками, установленные на уровне зеркала грунтовых вод и выше через каждые 30 *см* высоты, показывают, что всасывающая сила почвы имеет ту же величину, что и высотный напор. Так как натяжение — сила отрицательная по направлению или сила всасывающая, то сумма напоров всасывающей силы и высотного на каждом горизонте почвы равна нулю. Выберем, например, горизонт на глубине 90 *см* от поверхности почвы. Тензиометр показывает существова-

ние здесь напора величиной в 6,8 *см* рт. ст., что соответствует 90 *см* вод. ст. Сумма отрицательного напора всасывания и положительного высотного напора равна нулю, т. е. величина гидравлического напора, отнесенного к плоскости отсчета, равна нулю. В каждой точке горизонтальной плоскости над уровнем грунтовых вод высотный напор имеет постоянную величину. Отсюда следует, что, если сила всасывания постоянна в разных точках плоскости, гидравлический напор также постоянен.

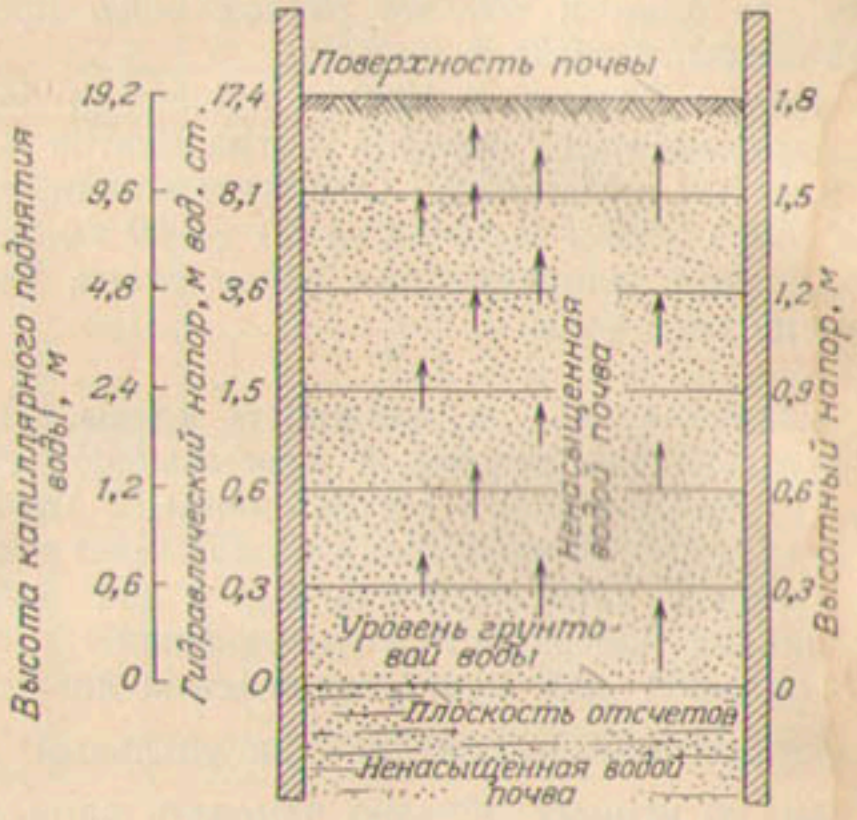


Рис. 136. Восходящий ток капиллярной воды, вызванный быстро увеличивающимся гидравлическим напором.

165. Различные гидравлические напоры в ненасыщенных водой почвах. На рис. 136 показан некоторый объем почвы, находящийся над уровнем грунтовой воды; у поверхности земли всасывающая сила почвы достигает значительной величины. Напор от натяжения почвы, влажность которой равна полевой влагоемкости, может достигать величины 3,6 *м* вод. ст. По рис. 136 видно, что гидравлический напор на любом горизонте почвы равен алгебраической сумме напоров натяжения и высотного. Из того же рисунка следует, что в слое почвы 60 *см* выше горизонта грунтовой воды градиент равен 1, а в слое 30 *см* у поверхности этот градиент равен: $\frac{17{,}5-8{,}1}{0{,}3}=31$; в верхнем же слое почвы высотой 30 *см* он равен $\frac{17{,}5-3{,}6}{0{,}6}=23$.

Если бы водопроницаемость почвы в показанном объеме ее была одинакова повсюду, то не существовала бы такая большая разница в величинах гидравлического напора при установившемся восходящем токе воды.

Пусть k_1 — коэффициент фильтрации (в среднем) слоя почвы в 60 *см*, находящегося непосредственно над уровнем грунтовой воды, а k_5 — коэффициент фильтрации (в среднем) верхнего слоя почвы в 60 *см*. Так как $\frac{hf}{l} = 1$, а $v_5 = 23k_5$, то $v_1 = k_1$. Если $v_1 = v_5$, то один и тот же расход воды проходит через каждый слой почвы, и тогда $k_1 = 23\ k_5$.

Ричардс, Нил и Россель в 1939 г. произвели большое число измерений гидравлических напоров и градиентов в ненасыщенных водой илистых суглинках. Они установили, что градиент равен 23,7 в слоях почвы высотой от 20 до 10 *см*. Это означает, что движущая сила, направленная снизу вверх, равна 23,7 на каждую единицу веса воды.

166. Всасывающая сила и влажность почвы. На влажность почвы, соответствующей некоторой всасывающей силе, влияют три фактора: 1) механический состав почвы, 2) почвенный раствор и 3) температура. Первый фактор оказывает особое влияние на кривизну пленок капиллярной воды, а два остальных фактора — на величину поверхностного натяжения.

В гл. 8 показано, что величина всасывающей силы почвы $h_t = \frac{2T}{wr}$. Поверхностное натяжение T и удельный вес w могут быть измерены, но нецелесообразно измерять радиус r. Поэтому величина h_t измеряется с помощью тензиометра.

Ричардс установил заметное возрастание всасывающей силы при уменьшении влажности почвы, особенно мелкозернистой по механическому составу. Он изучил зависимость между влажностью при состоянии равновесия и всасывающей силой для четырех видов почв, а именно — песчаной Беннет, суглинка Гринвилл, глины Трентон и глины Престон * (рис. 137).

В глинистой почве Престон, например, всасывающая сила при влажности 60% была равна только 30 *см* и увеличилась до 4,5 *м* при влажности 30%. Для суглинка Гринвилл всасывающая сила выражалась 30 *см* при влажности 35% и увеличилась приблизительно до 7,5 *м* при снижении влажности почвы до 15%.

* На рис. 137 размеры по вертикали над свободной поверхностью воды показывают всасывающую силу в метрах водяного столба, а также капиллярный потенциал в грамм-сантиметрах/грамм. В докладе Ричардса, опубликованном в 1928 г., а также в первом издании этой книги не упоминалось о всасывающей силе. Читателям следует знать, что потенциал, выраженный в грамм-сантиметрах/грамм, численно равен всасывающей силе, выраженной в сантиметрах.

167. Равномерное движение капиллярной воды. Когда в канале устанавливается постоянный расход воды, т. е. в единицу времени через поперечное сечение канала протекает один и тот же объем воды по всей длине канала, то такое движение называется равномерным. Равномерный ток капиллярной воды в орошаемых почвах, аналогичный равномерному движению ее в каналах, имеет место в редких случаях. Обычно ток воды в почвах

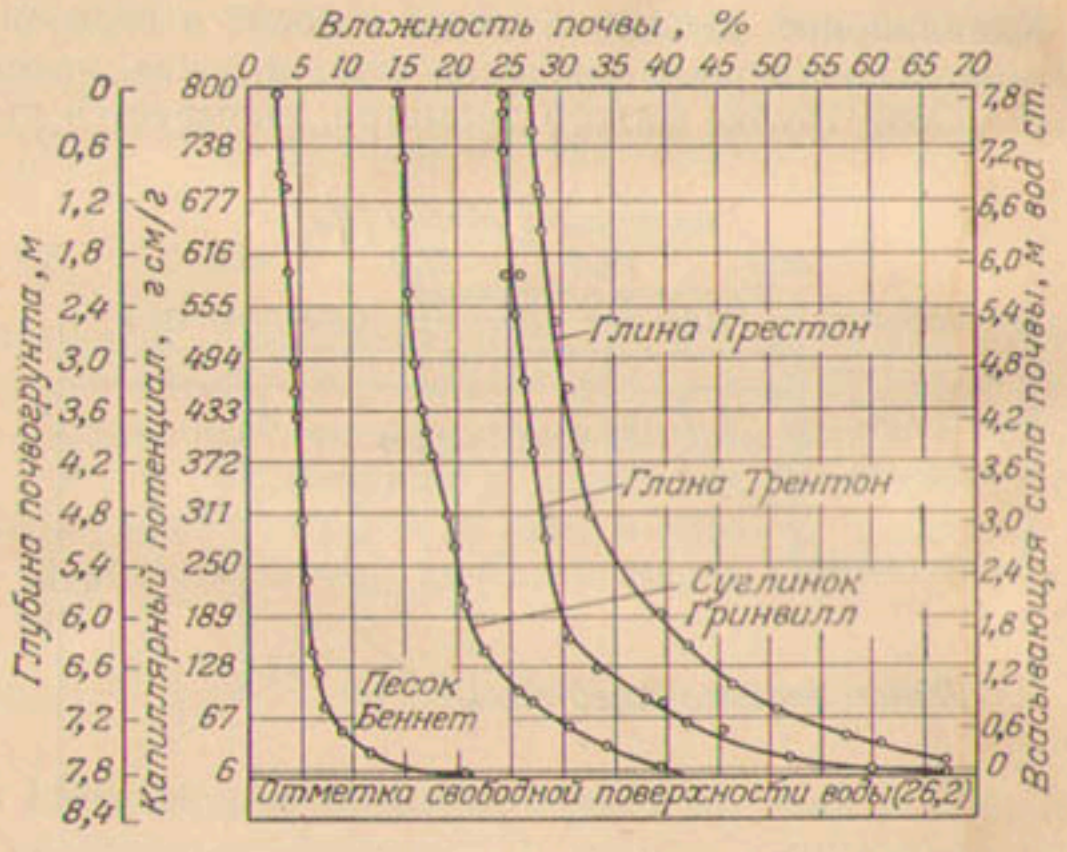


Рис. 137. Капиллярная влагоемкость при состоянии равновесия с грунтовой водой; показана для почв 4 типов (по опытам Ричардса).

носит переменный характер. Однако при некоторых условиях, как, например, при восходящем токе по капиллярам почвы к поверхности от высоко расположенного горизонта грунтовых вод, передвижение ее может приближаться к равномерному движению, если оно происходит достаточно продолжительное время. Представление о количестве воды, участвующей в таком токе, весьма важно для практики орошения. Установившийся капиллярный ток воды вверх может быть полезным для снабжения водой корневой системы растений. Но иногда такой ток может оказаться и вредным не только вследствие испарения воды, поступающей на поверхность почвы, но также в связи с возможностью выноса вместе с водой растворенных в ней солей в верхний слой почвы, что вызывает засоление последней и потерю ею плодородия. В настоящей главе предполагается наличие в почве условий, благоприятных для установившегося тока воды. Однако

капиллярный ток воды часто меняется изо дня в день и даже в течение нескольких часов. Знание этого обстоятельства важно для работников сельского хозяйства. Измерение расхода такого непостоянного тока воды имеет относительно меньшую ценность по сравнению с измерением расхода установившегося движения вследствие разнообразия факторов в первом случае; кроме того, измерение расхода непостоянного тока воды и более трудно.

168. Капиллярное движение воды в почве в горизонтальном направлении. Капиллярное движение воды в почве, находящейся в горизонтальной трубке малого диаметра, вызывается разностью

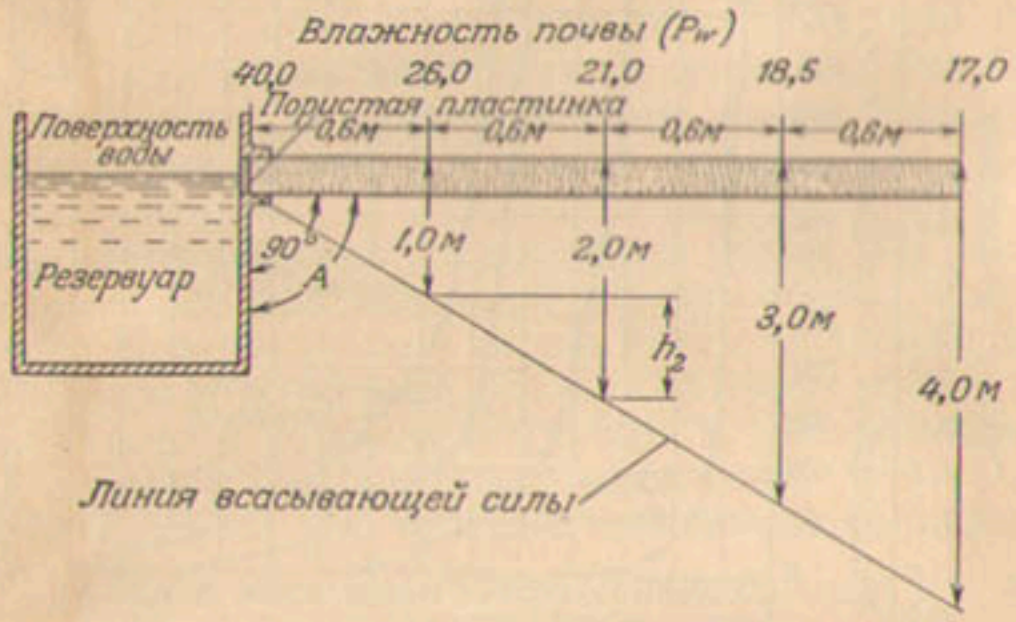


Рис. 138. Установившийся ток капиллярной воды в горизонтальной трубке небольшого диаметра, заполненной почвой с влажностью 40% у левого конца и 17% у правого.

величин капиллярного поднятия вследствие различия во влажности грунта в разных сечениях трубки. Высотный напор постоянен по всей длине трубки.

Для примера представим себе капиллярное движение воды внутри заполненной почвой трубки малого диаметра с водопроницаемыми стенками. В одном конце этой трубки, присоединенной к резервуару с водой, имеется пористая пластинка (рис. 138). Уровень воды в резервуаре постоянно поддерживается на высоте оси трубки, и, следовательно, отсутствует положительное давление в почве. Вода поступает из резервуара в почву, проходя через пористую пластинку. Примем, что внутри трубки находится суглинок с той же температурой, механическим составом и структурой, как у почвы Беннет (рис. 137). Влажность почвы в сечениях трубки, находящихся соответственно на расстояниях 0; 0,6; 1,2; 1,8 и 2,4 *м* от источника воды, определена соответственно в

40, 26, 21, 18,5 и 17%. Величину всасывающей силы почвы, соответствующей данной влажности для любой из четырех различных почв, можно найти на рис. 137. Кривая показывает, что на горизонте почвы, соответствующем уровню свободной воды, где величина всасывающей силы равна нулю, влажность равна 40%. По той же кривой видно, что в точках почвы, где имеется всасывающая сила, измеряемая 1, 2, 3 и 4 *м*, соответствующие влажности выражены величинами 26, 21, 18,5 и 17,0%. Гидравлический уклон (градиент) внутри почвы в трубке выражен отношением $\frac{4,0}{2,4} = 1,65$ (рис. 138). Так как высотный напор постоянен по всей длине трубки, то из уравнения (44) следует:

$$q = ka\frac{h_t}{l} = 1,65ka.$$

Коэффициент водопроницаемости k почвы в трубке для капиллярного тока, вероятно, меньше, чем для движения воды в насыщенной водой почве. Пусть величина k принята $0,45 \cdot 10^{-7}$ *м/сек*. Подставляя в уравнение значение k, находим, что почве в горизонтальной трубке, в связи с принятым изменением ее влажности, можно передать через 1 $м^2$ площади расход воды, равный

$$q = \frac{0,45 \cdot 1 \cdot 1,65}{10^7} = 0,75 \cdot 10^{-7}\ м^3/сек = 6,48\ л/сут.$$

169. Капиллярное движение воды в полевых почвенных условиях. В однородных естественных почвах капиллярное движение воды всегда находится под действием силы тяжести. При изучении установившегося капиллярного движения воды главное внимание уделяется величине расходов восходящих и нисходящих токов. Часто недооценивают значения вертикального нисходящего тока воды по капиллярам. Читатель должен иметь в виду явление (см. рис. 137), заключающееся в том, что при средней и низкой влажности почв однородного механического состава и однородной структуры для предупреждения движения воды вглубь необходимо по мере увеличения глубины значительно увеличить влажность. Например, в суглинке Гринвилл влажность почвы должна увеличиться с 16 до 20% при углублении на 2,4 *м*, чтобы получить градиент напора от всасывающей силы почвы в любой точке, равный градиенту статического напора. При большей влажности необходимо увеличить влажность (на той же высоте 2,4 *м*) с 20 до 40% для получения одинаковых результатов. Изменение почвенной влажности и градиента напора всасывающей силы при указанных выше пределах влажности должно быть более значительным, чем сказано выше, чтобы начала действовать результирующая сила, направленная вверх и заставляющая воду

по капиллярам подниматься к поверхности почвы. Необходимо, однако, иметь в виду, что все сказанное относится только к сравнительно однородным почвам, причем не принято во внимание влияние разницы температур и различие состояния почвенных растворов. Ричардс измерил водопроницаемость трех насыщенных водой почв: легкой песчанистой почвы, суглинка Гринвилл и глинистой почвы Престон.

Он нашел, что величина коэффициента водопроницаемости k быстро увеличивается в песчанистой и глинистой почвах при одновременном снижении величины капиллярного натяжения.

Изменение коэффициента k, наблюдавшееся при изменении всасывающей силы почвы, было относительно невелико для суглинка Гринвилл. Результаты измерений величины k для названной почвы при различной всасывающей силе находились в пределах от величин меньше $1{,}68 \cdot 10^{-3}$ до величин больше $4{,}62 \cdot 10^{-3}$ *м/сутки*.

170. Ограничения при пользовании уравнениями. При пользовании уравнениями, приведенными в настоящей главе, для решения практических задач орошения и дренажа необходимо проявить осторожность и умение делать соответствующий выбор. В естественных почвах условия могут значительно меняться при переходе от одного места к другому. Данных, относящихся к значению k, имеется мало; поэтому добиваться точности при вычислении величины расхода воды в почвогрунтах не рекомендуется. Кроме того, в некоторых насыщенных водой почвогрунтах проницаемость меняется с течением времени. Величина расхода в насыщенных водой почвах пропорциональна гидравлическому уклону, что считается верным для малых уклонов. Крайне необходимо определить водопроницаемость многих почв при разнообразных условиях, особенно почв мелкозернистых, которые, как правило, обладают малой водопроницаемостью. С 1900 г. инженеры значительно усовершенствовали методы точного определения пропускной способности рек, каналов, трубопроводов, лотков, что достигается путем опытного определения величины коэффициентов шероховатости n в уравнении (20) гл. 4. Таких же успехов можно достичь при изучении тока воды в почвах, сосредоточив усилия на определении водопроницаемости почв и на изучении связи водопроницаемости с разными степенями влажности почвы, включая влажность ненасыщенных почв. Расширив пределы изучения фактора k, можно увеличить применимость уравнений, приведенных в этой главе, и уменьшить ограничения в пользовании ими.

Глава 11

СОЛОНЦЫ И СОЛОНЧАКИ

Избыток растворимых солей и щелочей, а также засухи являются причинами бесплодия почв в засушливых районах. Хотя солонцовые и солончаковые почвы характерны для засушливых районов, однако наличие их здесь нельзя считать общим явлением и распространены они неравномерно. Мелиорация солонцовых и солончаковых почв, а также предупреждение засоления плодородных орошаемых площадей имеет исключительное значение для засушливых районов.

В солонцовых почвах имеется избыток растворимых солей, вследствие чего почвенный раствор становится настолько концентрированным, что вредит растениям и нарушает плодородие почвы. Термин «солончаки» относится к почвам, имеющим избыток обменного натрия с содержанием или без него чрезмерного количества растворимых солей. Такое определение солонцовых и солончаковых почв принято и используется солевой лабораторией США по исследованию засоления почв, основанной в 1937 г.

171. Климат и засоление почв. Почвы засушливых районов содержат в себе относительно большое количество растворимых солей. Во влажных районах с большим годовым количеством осадков вода, просачиваясь через почву, выносит в ручьи, реки и океаны большое количество растворимых минеральных веществ. Ничтожные количества воды от ливневых осадков, выпадающих в засушливых районах, не проникают настолько глубоко в целинные сухие почвы, чтобы промыть содержащиеся в них соли. Наибольшая глубина фильтрации воды в почву как при таянии снега, так и от дождя в таких районах равна 0,3—1,2 *м* в зависимости от количества осадков и времени их выпадения, а также от характера почвы. Отсутствие промывок почвы и чрезмерное испарение вызывают накопление в почве засушливых районов растворимых солей, вредных для развития растений.

172. Источники растворимых солей и их накопление в почве. Минеральные почвы произошли в значительной степени в результате выветривания горных пород. Между накоплением солей

в почве и химическим составом горных пород, из которых образовались почвы, существует тесная связь. Исследования геоло-

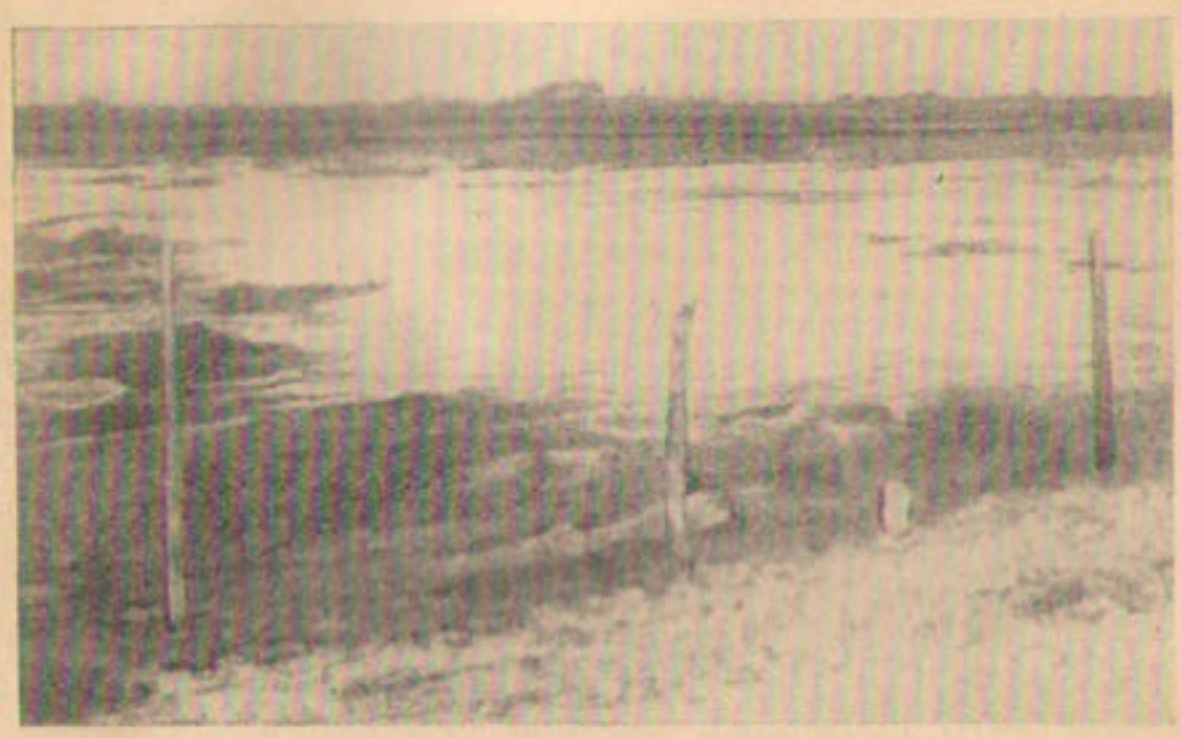


Рис. 139. Накопление солей на поверхности земли вблизи города Дельта (Юта).



Рис. 140. Неудовлетворительное произрастание льна Пенджаб на засоленных почвах (Калифорния).

гических формаций в штатах Юта, Колорадо, Аризона, Вайоминг, Айдахо и Невада показали, что чрезмерно большое количество растворимых солей в почвах образовалось в результате их осаждения из соленой с высокой концентрацией воды доисторического моря, существовавшего на месте засушливого района. Сланцы Манкос в указанных штатах — типичная горная порода,

содержащая большое количество солей. Почвы, образовавшиеся непосредственно из таких горных пород, обычно чрезмерно засолены.

Некоторые почвы засушливых районов не были засолены до их сельскохозяйственного использования и потеряли свое плодородие вследствие орошения их водой, содержавшей значительное количество солей. В воде, получающейся из тающего в горах снега, и в дождевой воде горных районов, где имеются соленосные породы, содержится значительное количество солей.

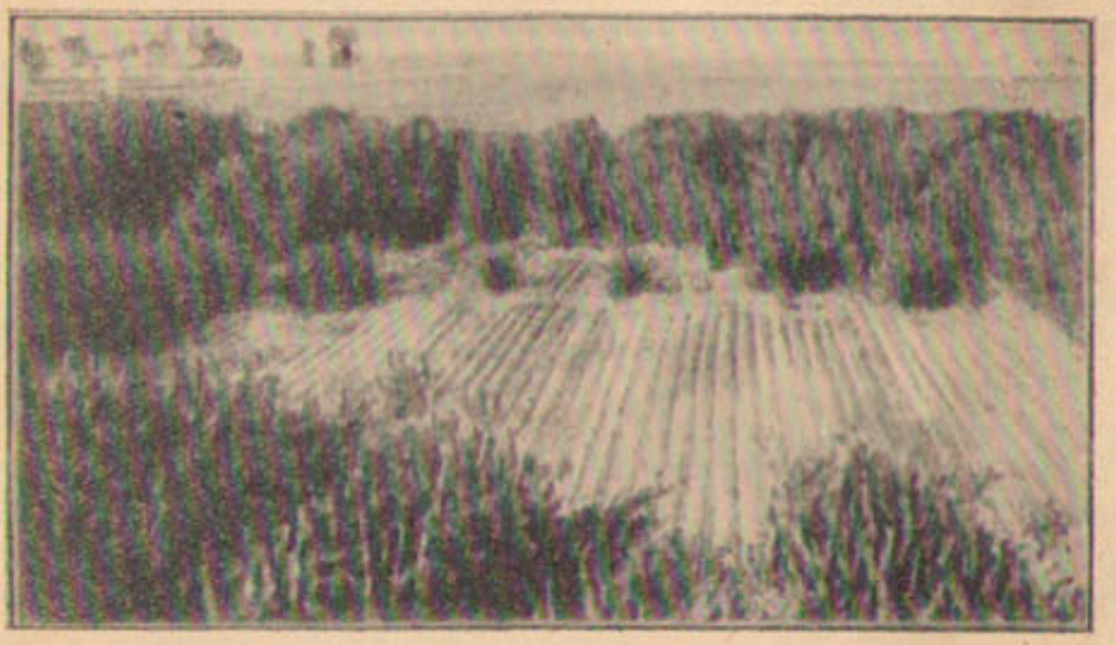


Рис. 141. Сильное засоление почвы препятствует произрастанию ячменя.

На орошаемых площадях происходит накопление солей в том случае, если в почву поступает солей больше, чем удаляется из нее. Оросительная вода содержит от 0,008 до 0,4% солей. В некоторых орошаемых хозяйствах расходуется только 6000 *м*^{3}/*га* воды в течение сезона. Там же, где лето продолжительное и температура летних месяцев высокая, в хозяйствах затрачивают до 15 000 *м*^{3}/*га* воды, а иногда и более. При отсутствии дренажа оросительная вода может каждый год вносить в почву от 2,5 до 25 *т* и более солей на 1 *га*.

Наиболее эффективным средством удаления солей является прохождение воды через корнеобитаемый слой. Однако если промывной водой уносится меньшее количество солей, чем приносится оросительной водой, то будет иметь место накопление солей в почве. Для предупреждения этого накопления солей, вызывающего снижение урожайности возделываемых культур, необходимо, чтобы соли из почвы удалялись в количестве, равном тому, что поступает вместе с водой в почву. В некоторых

районах делаются попытки распределять ограниченные ресурсы оросительной воды на чрезмерно большой площади, в результате чего почва не увлажняется на достаточную глубину. В других районах уровень грунтовых вод настолько близок к поверхности, что не только задерживает вымывание солей из корнеобитаемого слоя, но делает это невозможным. При близком к поверхности уровне грунтовых вод восходящие токи воды способствуют непрерывному накоплению солей в верхнем слое почвы.

На рис. 139, 140 и 141 показаны типичные примеры солончаковых участков почв, плодородие которых утеряно в результате чрезмерного накопления растворимых солей.

173. Некоторые основные термины. Региональная лаборатория по исследованию засоленных почв США (United States Regional Salinity Laboratory) в своем отчете под заглавием «Распознавание и мелиорация солонцовых и солончаковых почв» приводит 60 терминов с соответствующими определениями. Ниже приводятся наиболее употребительные термины:

Солончаковая почва — почва с чрезмерной степенью насыщения обменным натрием при наличии заметных в малых количествах растворимых солей.

Щелочной — химический термин, относящийся к «основным» почвенным реакциям, когда pH больше 7, в отличие от «кислых» реакций, когда pH меньше 7. pH есть логарифм обратной величины концентрации ионов водорода. pH 7 — нейтральная величина.

Электропроводность — понятие, противоположное электрическому сопротивлению. Последнее, выражаемое в омах, является сопротивлением проводника длиной 1 *см* с площадью поперечного сечения 1 *см*^{2}. Отсюда следует, что электропроводность выражается величинами, обратными количеству омов на 1 *см* длины, или в сименсах на сантиметр. Термины «электропроводность» и «удельная электрическая проводимость» равнозначны.

Эквивалентный вес (или вес вместе с водородом) — атомный вес или вес, указанный в формуле, деленный на валентность. Например:

$$Na^{+} = \frac{23}{1} = 23, \qquad Ca^{++} = \frac{40}{2} = 20,$$

$$Cl^{-} = \frac{35{,}5}{1} = 35{,}5, \qquad SO_4^{=} = \frac{96}{2} = 48.$$

Процентное содержание обменного натрия. Степень насыщения натрием почвообменного комплекса определяется из следующего:

$$ESP = \frac{\text{обменный натрий (миллиэквивалентов на 100 } г \text{ почвы)}}{\text{способность обмена катионами (миллиэквивалентов на 100 } г \text{ почвы)}} \cdot 100.$$

Не солонцово-солончаковая почва — почва, у которой процент обменного натрия больше 15, а проводимость насыщенного раствора меньше 4 сименсов (мо) на сантиметр (при 25°). Величины pH для таких почв находятся обычно в пределах между 8,5—10.

Солонцово-солончаковая почва — почва, для которой проводимость насыщенного раствора больше 4 сименсов на сантиметр (при 25°), а процент обменного натрия больше 15; pH пасты из насыщенной солями почвы может несколько превосходить 8,5.

Солонцовая почва — почва, для которой проводимость насыщенного раствора больше 4 сименсов (мо) на сантиметр (при 25°), а процент обменного натрия меньше 15; pH пасты из насыщенной почвы обычно меньше 8,5.

Реакция почвы pH. Количество pH является мерилом эффективной концентрации водородных ионов и с давних пор применяется как показатель кислотности или щелочности почв. Значения pH в пределах от 7,5 до 8,0 обычно указывают на присутствие углекислого кальция и углекислого магния, а pH, равное или большее 8,5, обычно указывает на присутствие заметного количества обменного натрия.

Знакомство с вышеприведенными терминами и определениями полезно при ознакомлении с содержанием настоящей главы.

174. Солонцовые почвы. Для солонцовых почв электропроводность насыщенного раствора более 4 сименсов (мо) на сантиметр, а процент обменного натрия менее 15. Такие почвы соответствуют «белым солончаковым» почвам Хилгарда. При соответствующем дренаже и по удалении растворимых солей с помощью промывок эти почвы приходят в нормальное состояние, т. е. становятся плодородными.

Обычные почвы могут превратиться в солонцы в результате накопления солей, принесенных оросительной водой, или вследствие восходящих токов грунтовой воды, или в результате совместного действия обоих процессов.

Химическая характеристика солонцовых почв определяется родом солей и их количеством, отчего зависит концентрация почвенного раствора и его осмотическое давление. Натрий в редких случаях содержит более половины растворимых катионов и вследствие этого не абсорбируется сколько-либо заметно. По относительному содержанию кальция и магния почвенные растворы могут значительно различаться. Растворимый и обменный калий присутствует обычно в малых количествах, но временами может оказаться и в избытке. Главными анионами являются хлорид, сульфат и иногда нитрат (соль азотной кислоты). Может появиться и небольшое количество двууглекислой соли, но так как pH равно 8,5 или менее, то растворимые карбонаты

Таблица 9

Анализы почв Запада США, произведенные районной лабораторией США по исследованию засоленных почв

Глубина, *см*	Реакция pH насыщенного раствора почвы	Процент насыщения	Обменный натрий в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г*	Обменная емкость (способность в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г*)	Обменный натрий, %	Гипс в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г*	Водопроницаемость, (в лабораторных условиях), *см/час*	
							начальная	конечная
Нормальные почвы засушливых районов								
0—30	7,8	28	0,1	12,5	0,8	0,0	—	—
0—30	8,2	41	0,2	6,9	2,9	0,0	—	—
0—30	8,0	59	2,7	22,6	11,8	0,0	—	—
Солонцовые почвы								
0—15	8,0	46,5	1,3	17,0	7,7	0,0	0,38	0,2
0—20	7,8	50	1,1	9,7	11,4	0,0	2,9	0,22
0—30	8,0	40	1,9	18,6	10,2	—	—	—
Солонцово-солончаковые почвы								
0—15	8,4	38,7	5,9	15,7	37,6	24,4	1,5	1,35
0—15	9,1	46,9	8,6	22,0	39,0	0,0	0,13	0,13
0—20	8,9	43,3	6,3	10,8	58,5	0,0	0,03	0,002
0—30	9,3	34,8	16,4	26,2	62,6	0,0	0,15	0,05
Не солонцово-солончаковые почвы								
6—30	9,2	61,9	12,5	31,7	39,4	0,0	0,55	0,63
0—30	7,6	44,0	7,4	32,5	22,8	0,0	0,20	0,02
0—30	8,7	25	4,2	18,8	22,5	0,0	—	—

Анализы насыщенного почвенного раствора

Электропроводность в сименсах (мо)/*см*	Растворимые катионы, м. э/л.				Растворимые анионы, м. э./л.				
	Ca	Mg	Na	K	CO_3	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3
Нормальные почвы засушливых районов									
0,9	6	2	1	1	0	4	2	2	Следы
1,3	8	1	4	1	0	4	7	3	Следы
2,4	2	2	18	1	0	5	15	3	1
Солонцовые почвы									
12,0	37	34	79	1	0	7	62	47	32
12,2	57	32	56	1	0	2	44	73	48
8,8	28	23	53	1	0	5	74	29	Следы

Продолжение табл. 9

Электропроводность в сименсах (мо)/*см*	Растворимые катионы, м. э/л				Растворимые анионы, м. э./л				
	Ca	Mg	Na	K	CO_3	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3
Солонцово-солончаковые почвы									
47,9	30	62	668	3	0	12	524	180	50
20,4	2	1	188	42	0	16	131	93	Следы
19,3	7	6	234	2	0	3	222	38	4
5,6	1	1	59	2	5	20	22	46	Следы
Не солонцово-солончаковые почвы									
2,8	2	1	28	2	1	15	14	3	Следы
1,6	1	1	14	1	—	—	—	—	—
1,2	2	1	11	2	1	10	1	1	Следы

обычно отсутствуют. В добавление к легкорастворимым солям в солонцовых почвах могут содержаться некоторые сравнительно нерастворимые соли, как, например, сернокислый кальций (гипс) и углекислые кальций и магний.

Вследствие присутствия избытка солей и отсутствия заметных количеств обменного магния коллоиды, содержащиеся в некоторых видах солонцовых почв, осаждаются в виде хлопьев, создавая благоприятную структуру почвы и увеличивая ее проницаемость для воды и воздуха. Все же некоторые солонцовые почвы обладают весьма низкой водопроницаемостью. Лабораторные анализы засоленных почв представлены в табл. 9.

175. Почвы солонцово-солончаковые. Солонцово-солончаковыми почвами считаются те, у которых проводимость экстракта насыщения более 4 сименсов (мо) на сантиметр, а процент обменного натрия больше 15. При наличии избытка солей внешний вид и свойства таких почв обычно подобны свойствам солонцовых почв. При таком же избытке солей величина pH редко превосходит 8,5, а коллоиды осаждаются в виде хлопьев. Если избыток растворимых солей временно уменьшить путем промывок, то свойства солонцово-солончаковых почв могут заметно измениться, уподобляясь свойствам не солонцово-солончаковых почв. При уменьшении содержания солей в почвенном растворе некоторое количество обменного натрия под действием воды образует едкий натр. Вступая в реакцию с углекислотой, едкий натр может превратиться в углекислый натрий. В таком случае почва может сделаться сильно щелочной (солончаковой) (с pH более 8,5), коллоиды диспергируют и образуется структура,

не благоприятствующая инфильтрации и просачиванию воды и не пригодная для вспашки. Хотя появление вновь в почве растворимых солей может понизить величину pH и восстановить коагуляцию коллоидов, тем не менее возделывание культур на солонцово-солончаковых почвах является трудно разрешимой задачей до тех пор, пока из корнеобитаемого слоя не будут удалены избытки солей и обменного натрия.

176. Почвы не солонцово-солончаковые. Почвы называются не солонцово-солончаковыми в том случае, если в них процент обменного натрия более 15 и электропроводимость насыщенного раствора менее 4 сименсов (мо) на сантиметр, а pH обычно находится в пределах между 8,5 и 10. Такие почвы соответствуют черным солончакам Хилгарда. Подобные почвы часто встречаются в засушливых и полузасушливых районах на небольших площадях с неправильными очертаниями. Такие площади известны под названием гладких пятен (slick spots). При отсутствии гипса или другого источника растворимого кальция дренаж и промывка солонцово-солончаковых почв превращают последние в не солонцово-солончаковые. Удаление избытка солей из таких почв способствует гидролизу обменного натрия и ведет к образованию наибольших количеств углекислого натрия. Органические вещества в таких почвах находятся в дисперсионном состоянии и распределяются между частицами почвы, что придает им темную окраску. Поверхность почвы, содержащей заметное количество органического вещества, может быть очень темной, откуда и произошел термин «черный солончак».

Глина, частично насыщенная натрием, при отсутствии коагулирующих солей может находиться в состоянии значительной дисперсности в почве, обладая тенденцией перемещаться вниз сквозь почву и аккумулироваться в нижних ее слоях. В результате поверхностные слои почвы глубиной в несколько сантиметров могут быть относительно крупнозернистыми по механическому составу и хрупкими. Однако ниже, где накопилась глина, в почве образуется более плотный маловодопроницаемый слой. Солончаковые почвы обычно образуются в долинах в результате орошения. Физические и химические свойства не солонцово-солончаковых почв определяются преимущественно наличием обменного натрия. По мере увеличения пропорции обменного натрия наблюдается тенденция почв к большей дисперсности, причем величина pH увеличивается, доходя до 10.

Почвенный раствор не солонцово-солончаковых почв, хотя и содержит сравнительно мало растворимых солей, но имеет состав, значительно отличающийся от состава нормальных и солонцовых почв. Содержащиеся в нем анионы состоят по большей части из хлоридов, сульфатов и двууглекислых солей, но имеются

и небольшие количества обычной соли угольной кислоты. При высоких значениях pH и в присутствии обычной соли угольной кислоты кальций и магний выпадают так, что в почвенных растворах солонцово-солончаковых почв обычно содержатся только следы этих катионов, причем преобладает натрий. В некоторых солонцовых почвах содержатся значительные количества обменного и растворимого калия.

177. Движение солей в почвах. Если бы можно было поддерживать в орошаемых почвах такое распределение воды, при котором ее токи были непрерывными и нисходящими, то орошаемые хозяйства не испытывали бы особых затруднений от засоления орошаемых земель. Непрерывный нисходящий ток воды при соответствующем дренаже постепенно уменьшил бы количество растворимых солей в нескольких футах верхнего слоя почвы, из которых растения получают бóльшую часть влаги и пищи. Но при отсутствии соответствующего дренажа просачивающаяся через почву вода заполняет поры между частицами почвы нижних слоев и повышает уровень грунтовых вод. В межполивные периоды высокий уровень грунтовых вод способствует появлению токов воды, восходящих к поверхности почвы, где вода испаряется. Растворимые соли, вынесенные на поверхность почвы восходящими токами воды, не могут испариться и поэтому откладываются на поверхности или вблизи нее. Эти соли поднимаются вверх от горизонтов, расположенных значительно ниже поверхности земли и содержащих большое количество солей. Концентрация солей на поверхности земли в количестве, которое при нормальных условиях распределяется в слое почвы высотой до 1 *м*, может вызвать серьезное засоление почвы.

178. Влияние уровня грунтовых вод. Влияние уровня грунтовых вод на восходящие капиллярные токи воды аналогично влиянию увеличения уклона канала: в обоих случаях скорость течения воды повышается. При высоком положении уровня грунтовых вод увеличивается влажность верхнего слоя ненасыщенной водой почвы, вследствие чего увеличивается ее водопроницаемость и величина восходящих токов воды. Растворимые соли, находящиеся в верхних слоях почвы, могут легко увлекаться восходящими капиллярными токами, выноситься на поверхность почвы и отлагаться на ней по испарении воды.

При понижении уровня грунтовых вод некоторое количество солей, оставшееся в воде, задерживается почвой, а вода становится менее соленой. Род и количество солей, находящихся в почвенном растворе, обычно отличаются от количества и рода солей в безнапорных грунтовых водах и от солей, отложившихся на поверхности почвы. Вследствие разницы в растворимости

некоторые из ионов растворимых солей абсорбируются почвой, другие же ионы продолжают двигаться свободно. Сернокислый кальций может в избытке находиться в почвенном растворе, в котором сернокислый магний занимает второе место, а сернокислый натрий образует значительную часть рыхлого вещества на поверхности, а также входит в состав солей, находящихся в почве близко от поверхности земли. Хлористый натрий не выделяется так легко, как некоторые другие соли.

Некоторые фермеры, применяющие орошение, указывают на выгодность положения уровня грунтовых вод в нескольких футах от поверхности земли, ссылаясь на высокие урожаи, полученные в годы подъема этого уровня с большой глубины. Достаточное увлажнение почвы, получаемое за счет высокого уровня грунтовых вод, может быть причиной значительного повышения урожая, но, как правило, на площадях со щелочными солями за временным повышением урожайности после подъема уровня грунтовых вод следует серьезное снижение урожайности и даже, возможно, полная потеря плодородия почвы в результате концентрации таких солей. Крайне необходимо принимать меры, предупреждающие чрезмерную фильтрацию воды из каналов, о чем говорилось в гл. 4. Необходимо осторожное и рациональное использование оросительной воды в хозяйствах для того, чтобы задержать на возможно более долгий срок подъем уровня грунтовых вод. Необходимо также применять искусственное дренирование почв в случаях, когда естественный дренаж оказывается недостаточным для удержания грунтовой воды на значительной глубине ниже поверхности.

179. Уменьшение испаряемости. Первым и наиболее важным шагом для уменьшения испаряемости воды с орошаемых почв является удержание уровня грунтовых вод достаточно глубоко от поверхности поля путем или рационального пользования оросительной водой, или дренированием почвы, или тем и другим.

Однако есть еще некоторые отрицательные факторы, которые могут способствовать чрезмерному испарению воды; наиболее важны из них следующие: а) частые, без необходимости, поливы, поддерживающие поверхность почвы во влажном состоянии в течение сравнительно долгого времени, и б) непосредственное воздействие солнечных лучей на поверхность почвы, лишенной растительности. Как правило, для всех орошаемых почв благоприятной является подача воды за один полив в количестве, полностью увлажняющем слой почвы, из которого до полива растения получали воду. Такой слой почвы находится приблизительно на глубине от 0,6 до 1,8 *м* в зависимости от рода культуры, механического состава почвы, ее структуры и мощности. В случае со-

лонцовых и солончаковых почв особенно важно увлажнять их на всю глубину слоя, требующего дополнительных количеств воды. Такая практика позволяет производить поливы реже и, таким образом, уменьшить восходящие токи води и ее испарение.

Значительно способствует уменьшению испаряемости хорошее мульчирование почвы нанесением на ее поверхность значительных количеств навоза, соломы и других растительных остатков. Особенно ценно использование на солонцовых почвах навоза, эффективного как удобрение, дополнительно к уменьшению испаряемости влаги. Задержание испарения воды из солонцовых почв чрезвычайно важно. Полезно также оставлять на поверхности поля растительность (насколько это практически допустимо), поглощающую воду из почвы и затеняющую поверхность.

180. Способы временной борьбы с засолением почвы. Временными мероприятиями по борьбе с засолением орошаемых почв являются следующие методы, которыми можно пользоваться каждым в отдельности или несколькими одновременно:

а) запашка поверхностного слоя, пропитанного солью, глубоко в почву;

б) удаление солей, накопившихся на поверхности земли;

в) нейтрализация некоторых солей путем применения других солей или кислот.

181. Способы мелиорации. Постоянные мероприятия по мелиорации солонцовых почв требуют соблюдения четырех основных условий:

а) достаточного снижения уровня грунтовых вод;

б) удовлетворительной инфильтрации воды;

в) вымывания избытка солей из почвы;

г) разумного отношения к солонцовым и солончаковым почвам.

182. Понижение уровня грунтовых вод. Все заболоченные земли, независимо от того, пропитана ли их почва щелочными солями или нет, могут быть мелиорированы путем понижения уровня грунтовых вод и стать пригодными для возделывания на них сельскохозяйственных культур. Здесь имеется в виду постоянное наблюдение и забота о достаточно низком уровне и принятие мер, предупреждающих подъем грунтовых вод даже на короткое время выше определенного уровня. Первым шагом в этом отношении является выявление причин, вызывающих повышение уровня грунтовых вод. В отдельных случаях выявление причины такого подъема, обнаружение источника воды и его

изоляция посредством отводных каналов возможны для одного сельского хозяина или для небольшой группы хозяев. Обычно в орошаемых районах образование небольших заболоченных площадей вызывается стоком воды на такие участки с орошаемых земель, расположенных выше, или воды, просачивающейся на участки подземным путем из каналов, прудов и водоемов.

На большой площади и сравнительно ровной поверхности заболоченной земли сельский хозяин, как правило, не может понизить уровень грунтовых вод собственными средствами. В таких случаях необходимо применение коллективного начала.

183. Удовлетворительные скорости инфильтрации. Количество воды, просачивающейся в почву в единицу времени (инфильтрация), зависит от механического состава почвы, величины ее дисперсности, а также от уровня грунтовых вод. При условии хорошего дренирования преобладающее влияние на инфильтрацию оказывают структура почвы и ее другие свойства. Время, требуемое для просачивания данного количества воды через почву, может явиться критерием целесообразности мелиорации данного участка земли.

Солончаковые почвы диспергируют во время их промывки и часто после удаления растворимых солей становятся водонепроницаемыми. В таких случаях требуется добавлять некоторые химикаты для улучшения состояния почвы, заменяя этими химикатами обменные натрий и кальций. Для этой цели можно пользоваться гипсом, а при некоторых условиях и серой. Однако мелиорация таких почв протекает быстрее при внесении гипса. Значительные количества гипса встречаются в почвах некоторых земель в естественном состоянии, но его количество меняется в различных местах почвенного профиля.

Рив, Аллисон и Петерсон в течение двух лет исследовали промывки солонцово-солончаковых почв в штате Юта. Они нашли, что количество воды, просочившейся через почву (инфильтрация), в течение первого часа при измерении на трех различных опытных делянках колебалось в пределах от 3 до 16 *см/час*. После 48 час. промывания скорость инфильтрации уменьшилась и находилась в пределах от 0,5 до 1,4 *см/час*. Лабораторией по исследованию засоления почв скорости просачивания от 2,5 *мм* до 7,5 *мм/час* считаются неудовлетворительными (близкие к нижнему пределу); скорости просачивания от 7,5 *мм* до 7,5 *см/час* считаются хорошими, а выше 7,5 *см/час* весьма большими.

Сведения о скоростях просачивания воды в почву и фильтрации через нее в течение определенного времени необходимы для выбора способов поливов, а также для мелиорации солонцовых и солончаковых почв. Многие факторы, еще недостаточно понят-

ные и взаимно увязанные, влияют на величину инфильтрации. Однако нетрудно произвести необходимые расчеты, имеющие практическое значение. Инфильтрация и водопроницаемость почв выражаются скоростями движения воды в сантиметрах в час или в метрах в год. Скорость инфильтрации, как правило, измеряется в полевых условиях. Основным способом ее определения является затопление поверхности почвы или полив напуском. Величина скорости инфильтрации определяется при поливах напуском в отдельные бассейны и при вымывании растворимых солей.

Для полевых опытов по определению скорости инфильтрации необходимо пользоваться такой же водой, как и для орошения или промывки, иначе результаты определения могут быть неполноценными. Длительность проведения опытов и глубина слоя воды, поданной на поверхность почвы, зависят от целей, преследуемых при проведении опытов, и от данных, которые хотят получить в результате опытов. Если ставится вопрос об организации орошения, то для проведения опытов с целью определения скорости инфильтрации достаточно взять количество воды, соответствующее одному поливу. Если необходимо получить данные об инфильтрации для планирования мероприятий по основательной промывке солей, то в этом случае следует принимать всю норму воды, необходимой для промывки. Часто случается, что подпочвенный дренаж действует относительно медленно, чтобы отводить воду с достаточной скоростью инфильтрации. Хотя опыты, проведенные на небольших площадях, и дают полезные сведения о скорости инфильтрации при промывке почв, но полученные при этом данные об инфильтрации могут быть использованы применительно к большим площадям только при условии достаточной эффективности подпочвенного дренажа.

На определение водопроницаемости почвы в лабораторных условиях влияют многие факторы. Некоторые из них, как дисперсность почвы, характер подстилающего грунта, влажность воздуха и микробная среда, исследовались каждый в отдельности, и влияние их было частично учтено. Структура и уплотнение образцов почвы также учитываются при проведении измерений. Очевидно, что образцы почвы, высушенной на воздухе и просеянной через решето, могут быть использованы как материал для определения инфильтрации культурного слоя почвы. Для определения же инфильтрации через нижележащие слои необходимо сохранять ненарушенной структуру почвогрунтов для получения достоверных данных.

184. Промывка избытка солей. Для удаления излишних солей из почв на солончаковые почвы обычно необходимо подавать воду слоем большой высоты и заставить ее просачиваться глубоко в почву. Почвы крупнозернистого механического состава,

как правило, обладают сравнительно высокой водопроницаемостью, благодаря чему промывка щелочных солей производится относительно легко после того, как уровень грунтовых вод достаточно снижен. В низких местах на заболоченных землях преобладают тонкозернистые почвы с малой водопроницаемостью. Следовательно, водопроницаемость почвы является фактором первостепенного значения для промывки избытка растворимых солей из большинства заболоченных почв. На водопроницаемость влияют не только механический состав почвы и ее плотность, но также способность ее к коагулированию, или дисперсность почвенных частиц. На дисперсность и, следовательно, на водопроницаемость почвы оказывают большое влияние некоторые химические соединения. В результате вымывания щелочных солей водопроницаемость почвы иногда становится весьма малой, что вызывает снижение ее плодородия вследствие слабого проникновения в почву воздуха и воды.

Керри сообщает, что в результате опытов с промывкой супесчаных и суглинистых почв, произведенных в 11 хозяйствах вблизи Эль Пазо, было значительно снижено содержание солей в них и повышены урожаи люцерны, кукурузы, хлопка и сахарного тростника. Опыты проводились на участках с площадями от 2 до 12 *га;* общая подопытная площадь всех 11 хозяйств равнялась 70 *га.* Глубина слоев воды, поданной на участки, находилась в пределах от 0,6 до 1,5 *м.*

Рив, Аллисон и Петерсон при изучении мелиорации засоленных почв в дельте реки Миссисипи нашли, что промывка их оказалась весьма эффективной в тех случаях, когда уровень грунтовых вод позволял воде, подаваемой на участки, просачиваться глубже корнеобитаемого слоя мощностью 1,2 *м.* На рис. 142 приведены графики, показывающие влияние промывки почв на опытном участке при напуске воды слоями в 0,3, 0,6 и 1,2 *м.* Поверхностный слой почвы толщиной в 0,3 *м* до промывки содержал 2,2% солей, после же промывки напуском слоя воды 1,2 *м* — менее 0,3%.

На рис. 143 показано влияние промывки на величину урожая зерна в *ц/га* для 3 опытных участков. На участке *А*, например, урожайность повысилась с 8 *ц/га* при промывке слоем воды в 30 *см* до 26,7 *ц/га* при промывке слоем в 1,2 *м.* До промывки почва была совершенно неплодородна.

Поддержание в почве необходимого количества солей, благоприятного для возделывания культур, требует применения эффективных способов орошения. Орошение должно обеспечить подачу воды на земли в количестве, необходимом не только для развития культур, но и достаточном для фильтрации вглубь почвы и вымывания избытка находящихся в ней солей. Однако чрезмерная промывка засоленных почв может оказаться вредной в

смысле удаления из почвы питательных веществ; особенно легко могут быть вымыты нитраты. Излишне обильная подача воды

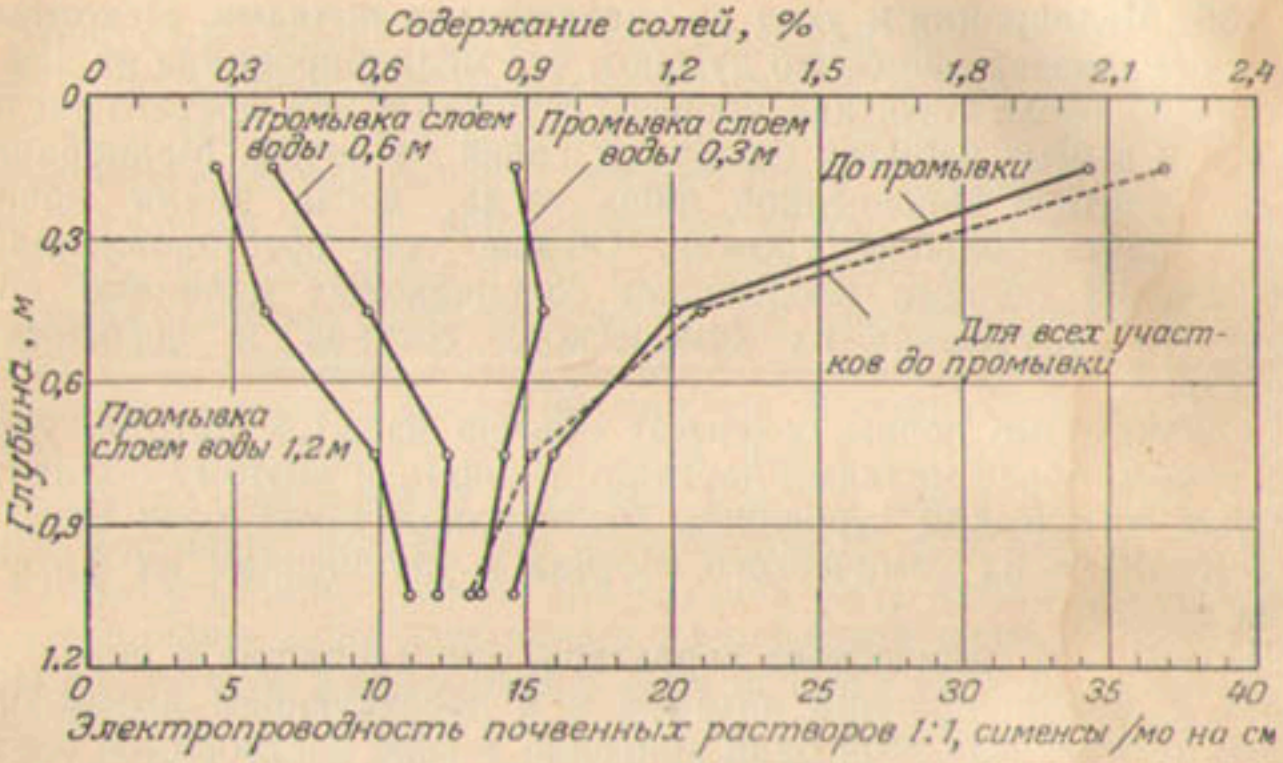


Рис. 142. Распределение солей в почве по глубине до и после ее промывки. Показаны результаты 3 промывок разными количествами воды

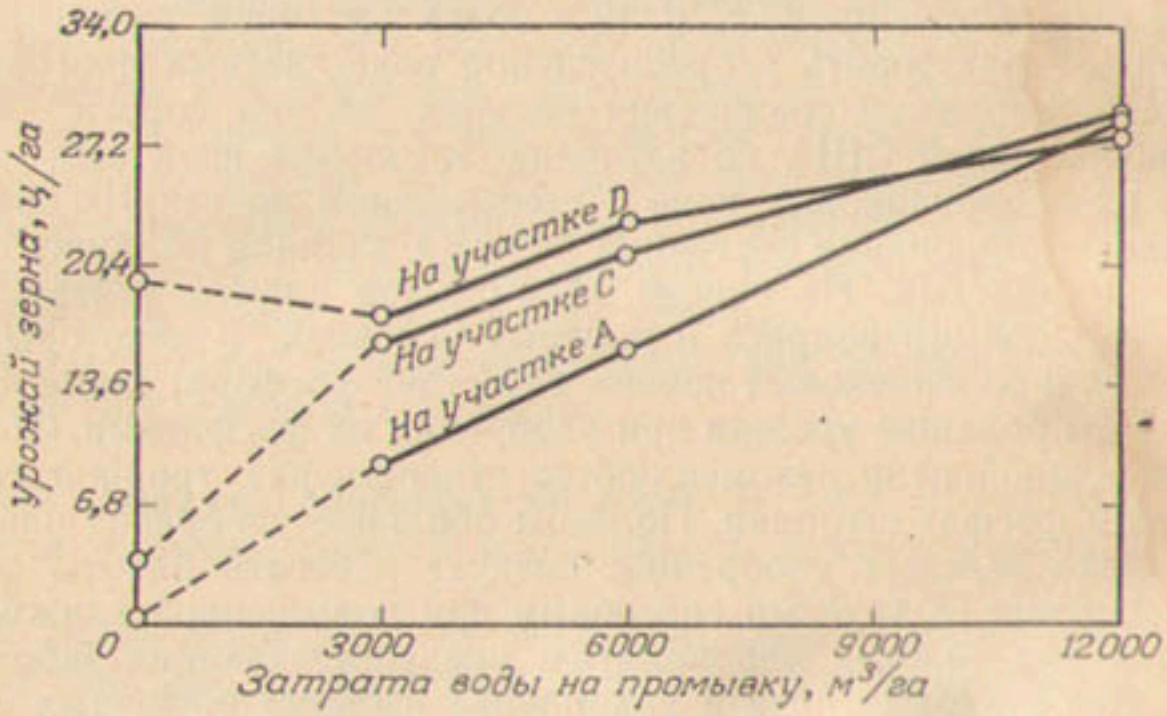


Рис. 143. Зависимость урожая зерновых культур от количества воды, использованной для промывки почвы.

может также усложнить задачу дренирования почвы. «Золотая середина» достигается применением эффективных способов орошения количествами воды, достаточными для поддержания в почве равновесия солей. Следует избегать подачи воды в количестве,

опасном в отношении вымывания питательных веществ и усложняющем задачу дренирования почв.

185. Мелиорация и уход за засоленными почвами. Некоторые сельские хозяева ошибочно думают, что мелиорирование их земли закончено после того, как уровень грунтовых вод достаточно понижен и вымыт избыток щелочных солей из почвы. Мелиорацию можно считать законченной лишь тогда, когда земля начнет обеспечивать большие урожаи. Обычно для восстановления и обеспечения полного плодородия солончаковых целинных почв требуется улучшение их химического состава и физических свойств.

Солончаковые почвы содержат обычно избыток натрия, удерживаемого более мелкими частицами почвы, и поэтому обладают плохим физическим строением. Мелиорация таких почв связана с изменением их химического состава и улучшением их физических свойств.

Изменения химического характера, происходящие в почве, состоят в замене кальция натрием и в последующем вымывании солей натрия. Для этой цели пригодно всякое растворимое соединение кальция; чем больше концентрация кальция в воде, использованной для мелиорирования почвы или в почвенном растворе, омывающем частицы почвы в процессе их мелиорации, тем быстрее протекает этот процесс. Если в почве нет гипса, то его можно добавить и растворить в оросительной воде. Весьма пригодны и другие растворимые соединения кальция, но они дороги.

Лабораторией США по изучению засоления почв был исследован ряд солончаковых почв с применением почвенных сосудов для диагносцирования состояния почвы и влияния на почву обработки химикатами. На основе этих опытов даются указания по изучению данного вопроса в полевых условиях. В некоторых солонцовых и солончаковых почвах недостает фосфора; такие почвы давали бы большие урожаи при удобрении их фосфатами. Обычно для указанной цели рекомендуются суперфосфат, тройной суперфосфат и фосфат аммония. Полезны обильное удобрение навозом и запашка зеленых удобрений; следует избегать пахоты земли или рыхления ее другими способами при повышенной влажности. Имеется ряд важных мероприятий, предупреждающих заболачивание солончаковых почв и накопление избытка щелочных солей и обеспечивающих поддержание продуктивности почвы. К числу таких мероприятий относятся наблюдение за поливами и недопущение излишнего количества воды, фильтрующей в зону ниже корнеобитаемого слоя. При подаче количества воды больше, чем нужно, переполняются дрены, перегружаются насосы, и в результате повышается уровень грунтовых вод. Необходимо подавать ровно столько воды, чтобы она проникала в тяжелые плотные

почвы на достаточную глубину и дрены оставались в хорошем состоянии. Следует бороться с излишним испарением.

186. Содержание солей в оросительной воде. Возможно, что растущие потребности населения и забота о благосостоянии общества потребуют использования для орошения всей имеющейся воды в засушливых районах земного шара. Важнее всего снабжение населения хозяйственно-бытовой водой, а затем использование воды для орошения и для промышленных целей. Для удовлетворения бытовых потребностей и для орошения весьма важно иметь воду хорошего качества. Во всем мире в настоящее время орошается площадь около 80 млн. *га*. В одних районах потребность в оросительной воде бóльшая, чем в других; однако только в немногих засушливых районах земного шара общие ресурсы воды настолько велики, что представляется возможным орошать все обрабатываемые земли при условии сооружения необходимых водохранилищ и регулирования потребления воды. В некоторых районах штатов Калифорния и Юта использованы все возможные ресурсы воды, и земли орошаются до состояния так называемого предельно возможного использования воды.

Когда для орошения использованы все ресурсы пригодной воды, возникает необходимость пользоваться и водой, содержащей соли. Однако чрезмерное содержание солей в воде, потребляемой для орошения, приводит орошаемые культуры к гибели и причиняет материальный ущерб хозяйствам, пользующимся такой водой. С другой стороны, умеренное содержание солей в воде не только безвредно, но при некоторых условиях способствует росту и развитию растений. Изучение вопроса о предельном содержании солей в воде, позволяющих использовать ее для нужд орошения, а также условий, при которых такую воду можно вообще потреблять, весьма необходимо для разумного ее использования в засушливых районах.

187. Анализы оросительной воды. В табл. 10 приведены типичные примеры состава оросительной воды в разных районах США.

В пробе воды № 1 из реки Рио Гранде общее содержание солей невысоко, но имеется большой процент двууглекислой соли. Проба № 2, взятая из той же реки южнее, указывает на повышение концентрации солей на пути между штатами Колорадо и Нью-Мексико с увеличением содержания натрия, хлоридов и сульфатов.

Проба воды № 3 является примером оросительной воды с наибольшей концентрацией солей. Этой водой орошаются земли с высоким содержанием гипса. На таких почвах получают удовлетворительные и хорошие урожаи хлопка и люцерны.

Таблица 10

Состав оросительной воды, получаемой из рек США

№ пробы	Источники воды (реки)	Удельная электропроводность, $K \cdot 10^6$ при 25°	Содержание твердых веществ, частей на миллион	Составляющие в миллиграмм-эквивалентах в литре воды								Натрий, %	Бор, частей на миллион
				катионы (основные)				анионы (кислотные)					
				Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	NO_3		
1	Рио Гранде (Колорадо)	8,5	81	0,56	0,27	0,30		0,70	0,32	0,12	(2)	26	
2	Рио Гранде (Нью-Мексико)	87,0	641	3,76	1,34	4,03		2,97	4,69	1,53		44	
3	Пекос Ривер (Техас) .	915,0	6,198	30,62	17,19	53,62			44,52	54,00		52	
4	Снейк Ривер (Айдахо)		380	2,60	1,80	1,74	0,14	3,28	1,69	1,18	0,04	28	
5	Колорадо (Аризона) .	113,5	795	5,08	2,21	4,54		2,56	6,97	2,31	0,04	35	0,14
6	Колодец в долине Коачелла (Калифорния)	174,0	910	2,14	0,08	12,67		1,02	1,80	12,04	0,14	85	0,71

Проба воды № 4 характерна для оросительных вод северо-западных штатов США; общее содержание солей в этой пробе невелико.

Проба воды № 5 выбрана, чтобы показать характерный состав воды, применяемой для орошения сравнительно тяжелых почв в штате Аризона. Такая вода содержит 0,09% солей, что на немного превышает среднее содержание солей в обычной оросительной воде.

Проба воды № 6 взята из оросительного колодца как пример воды с высоким содержанием натрия. Такой водой пользуются на песчаных почвах, но поливы ею виноградников вредны. В этой воде сравнительно высоко содержание бора.

188. Стандарты оросительной воды. Высокая концентрация солей в почвенном растворе и неудовлетворительные физические свойства почвы наносят вред растениям, произрастающим на солончаковых почвах. Оросительная вода может влиять на концентрацию солей и на физическое состояние почвы. Вода с высоким содержанием натрия с течением времени будет способствовать образованию почвы с большим содержанием натрия в коллоидальном состоянии. Такая почва часто называется «черной солончаковой». Даже песчаные почвы, хорошо дренированные при поливах водой, содержащей 85% натрия * и выше, могут стать с течением времени водонепроницаемыми. При общем более вы-

* Процент натрия в почве равен $\frac{100\,Na}{Ca + Mg + Na + K}$.

соком содержании солей имеет место осаждение частиц в виде хлопьев, чем до известной степени уравновешивается плохое физическое состояние почвы, вызванное высокой концентрацией натрия в воде. Даже для тяжелых почв с высоким содержанием обменного натрия наиболее плохой является оросительная вода, хотя и содержащая малое общее количество солей, но с большим количеством натрия.

Концентрация солей в почвенном растворе также изменяет характер развития растений; она обычно превышает концентрацию солей в оросительной воде в 2—100 раз, а иногда и больше. Концентрация почвенного раствора обильно орошаемых песчаных почв может приблизиться по величине к концентрации солей в оросительной воде. В тяжелых почвах, где испарение может значительно превысить количество воды, отводимой из них дренажем, концентрация солей в почвенном растворе может в 100 раз превосходить концентрацию их в оросительной воде и быть препятствием для развития растений.

В табл. 11 приведено стандартное содержание солей в оросительной воде, которое может быть полезно для оценки и устройства систем орошения и дренажа в соответствии с качеством воды.

Таблица 11

Стандарты оросительной воды

Класс воды	Электропроводность $K \cdot 10^3$ при 25°	Общее содержание солей, частей на миллион	Натрий, %	Бор, частей на миллион
1	0—100	0—700	60	0,0—0,5
2	100—300	700—2 000	60—75	0,5—2,0
3	Более 300	Более 2 000	75	Более 2,0

Вода класса 1 оценивается Лабораторией по исследованию засоленных почв как вода высшего и хорошего качества, пригодная для большинства растений.

Вода класса 2 по своему составу считается находящейся в пределах от хорошего до вредного качества; эта вода, очевидно, вредна для наиболее чувствительных к солям культур.

Вода класса 3 оценивается лабораторией как вода от вредного до неудовлетворительного качества; эта вода, вероятно, вредна для большинства культур. Вода класса 3 считается непригодной в большинстве существующих условий.

Если в общем содержании солей преобладают сульфаты, то содержание солей в каждом классе воды может быть увеличено на 50%. Характер почвы, возделываемые культуры, климат, наличие дренажа, уход за почвой — все эти факторы влияют на

пригодность воды для орошения. Поэтому нет такой простой классификации, которая могла бы быть пригодной для всех случаев.

Некоторые авторитеты указывают, что при содержании 70% натрия вода в большинстве случаев непригодна для орошения. Другие же считают, что этот процент натрия вообще высок. Однако на некоторых песчаных почвах в штате Калифорния сельские хозяева пользуются для орошения водой, содержащей более 80% натрия, и не терпят от этого убытков. Поэтому в таблице 11 для вод 3 класса 75% указано как минимальный предел содержания натрия. Скофилд, Уилкокс и Магистад считают удельную электропроводность $(K \cdot 10^5) = 300$ — верхним пределом, обусловливающим хорошую производительность для большинства типов почв и воды. Заметное исключение имеет место в местности Пекос Валли, где наблюдалось хорошее развитие люцерны и хлопчатника на землях, орошавшихся водой с электропроводностью, равной 915. Однако почва этого района представляет собой особый случай ввиду большого содержания в ней гипса и извести.

Для многих культур чрезвычайно важно соответствующее содержание в воде бора. Некоторые культуры, в частности бобы, весьма чувствительны к избытку бора, другие же, как, например, сахарная свекла, выносят большее содержание в воде этого элемента. Вода, содержащая более 0,0002% бора, с течением времени приносит вред многим возделываемым культурам.

189. Источники солей в воде. Большое содержание солей в воде, получаемой из оросительных каналов, объясняется тремя нижеуказанными причинами, действующими как в отдельности, так и совместно:

а) естественный грунтовый сток с вышележащих местностей, где почва содержит большое количество щелочных солей и минеральных веществ;

б) прохождение рек и каналов в почвах и горных породах с высоким содержанием щелочных солей;

г) поступление в каналы воды из нижнего течения рек и ручьев, получающих значительные количества фильтрационной и сбросной воды с орошаемых земель.

Количество солей в воде, просачивающейся из рек, настолько мало, что не может причинять какого-либо вреда растениям. Однако воды одной небольшой реки Малад в штате Юта содержат так много солей, что использование их для орошения причинило серьезный вред деревьям и разным сельскохозяйственным культурам. В том же штате оросительная вода, получавшаяся из бассейна Уинта, совершенно не содержала солей, но после отвода воды и прохождения ее по каналам, проложенным в глинистых сланцах, соленость ее оказалась исключительно высокой.

Таблица 12

Увеличение содержания солей в некоторых реках Запада США вследствие фильтрации и стока воды с орошаемых земель (по Гаррису)

Реки	Штаты	Содержание солей, частей на миллион		Увеличение содержания солей, частей на миллион	На протяжении участка реки, *км*	Увеличение содержания солей на одну милю течения, частей на миллион
		минимум	максимум			
Колорадо	Колорадо	110	1 178	1 068	32	53,4
Иордань	Юта	890	1 970	1 080	22	77,0
Севир	Юта	205	831	626	96	10,4
Севир	Юта	205	1 316	1 111	240	7,4
Пекос	Нью Мексико	760	2 020	1 260	48	42,0
Пекос	Нью Мексико	760	5 000	4 240	289	24,1
Арканзас	Колорадо	Следы	2 200	2 200	193	18,3

Таблица 13

Сезонные колебания содержания солей в воде некоторых рек Запада США

Солт Ривер (Аризона)	Содержание солей, частей на миллион	Джила Ривер (Аризона)	Содержание солей, частей на миллион
1 авг. — 1 сент. 1899 г.	724	28 нояб. 1899 г. — 18 янв. 1900 г.	1 168
2 сент. — 9 сент. 1899 г.	1 100	1 февр. — 7 марта 1900 г.	1 136
10 сент. — 9 окт. 1899 г.	1 142	1 авг. — 14 авг. 1900 г.	541
10 окт. — 17 окт. 1899 г.	952	15 авг. — 28 авг. 1900 г.	925
18 окт. — 30 дек. 1899 г.	1 026	1 сент. — 28 сент. 1900 г.	471
17 февр. — 30 мая 1900 г.	1 069	29 сент. — 5 нояб. 1900 г.	1 085
1 июня — 4 авг. 1900 г.	1 391		

Севир Ривер (Юта)	Содержание солей, частей на миллион
29 июля	958
12 августа	1 104
24 августа	1 268
18 сентября	1 190
21 сентября	1 426
5 октября	1 406
19 октября	1 436
9 ноября	1 376

Более значительными и опасными источниками накопления солей в оросительной воде являются фильтрация воды через почву и сток сбросных вод с орошаемых полей. Это обстоятельство подтверждается изучением содержания солей в пробах воды, взятых в различных местах по течению рек, пересекающих орошаемые поля и принимающих воду, просачивающуюся с орошаемых полей. В табл. 12 приведено общее содержание солей в пяти реках западных штатов. Пробы воды брались в местах, находящихся один от другого на расстояниях от 22 до 290 *км*, причем обнаружилось заметное повышение содержания щелочных солей вниз по течению рек. Наибольшее увеличение содержания солей на протяжении одной мили (1,61 *км*) — 0,0077% было найдено в реке Иордань в штате Юта и наименьшее — в реке Севир в том же штате. Поэтому при отводе оросительной воды в низовьях рек необходимо установить содержание солей в воде и, если нужно, принять предупредительные меры во избежание гибели возделываемых культур и ухудшения почвы полей.

Содержание солей в оросительной воде некоторых рек Запада значительно меняется в течение года, что видно из табл. 13.

190. Соленость воды, допустимая для возделываемых культур. Некоторые растения могут в течение короткого времени развиваться на заболоченных почвах, для других же подобные почвенные условия совершенно неприемлемы. Для возделывания на почвах с высоким уровнем грунтовых вод, в значительной мере соленых, следует выбирать растения, которые способны развиваться и на заболоченных почвах, и при избытке содержания в них солей.

Некоторые виды клевера и бермудской травы получили распространение отчасти благодаря такой их способности.

Выбор культур, выносящих присутствие солей в почве и в воде, зависит от дальнейшего использования данной культуры, влажности почвы, климата, от методов ведения хозяйства и от других местных факторов.

Региональная Лаборатория по исследованию засоления почв делит сельскохозяйственные культуры и деревья на три группы. В группу I входят растения, хорошо выносящие засоленность, в группу II — растения, удовлетворительно реагирующие на засоленность, а в группу III — растения, не выносящие засоления почвы и воды или развивающиеся при весьма малом содержании в них солей.

Растения, перечисленные в табл. 14, соответственно разделены на 3 подгруппы в каждой из групп I — III: подгруппа 1 — обычные фруктовые деревья и виноградники; подгруппа 2 — полевые и овощные культуры и подгруппа 3 — фуражные культуры — травы, бобовые культуры и зерновые культуры, предназначенные

Таблица 14

Солеустойчивость сельскохозяйственных культур и деревьев. Растения делятся на три группы; в группе I — наиболее выносливые, в группе III — наименее выносливые в отношении засоления почвы

Группы	Солеустойчивость			
	хорошо выносят засоленность почвы (группа I)	удовлетворительно выносят засоленность почвы (группа II)		плохо выносят засоленность почвы (группа III)
Плодовые деревья	Финиковая пальма	Гранатовое дерево Фиговое дерево Виноград Масличное дерево		Грейпфрут Груша Миндаль Абрикосовое дерево Персиковое дерево Слива Яблоня Апельсиновое дерево Лимонное дерево
Полевые и овощные культуры	Сахарная свекла Столовая свекла Сорговые разные Рапс Кормовая капуста Хлопчатник	Люцерна Лен Томаты Спаржа Лисохвост Сорго (зерно) Ячмень (зерно) Рожь (зерно) Овес (зерно) Рис	Дыни-канталупки Латук Подсолнечник Морковь Шпинат Тыква столовая Лук Перец Пшеница (зерно)	Вика Горох Сельдерей Капуста Артишоки Батат Картофель Зеленый горошек
Фуражные культуры	Трава солончаковая Бермудская трава Канадская дикая рожь Безостая дикая рожь Пырей	Белый сладкий клевер Желтый сладкий клевер Многолетний райграсс Горный костер Ячмень (сено) Лядвенец (рогатый) Клевер Суданка калифорнийская Люцерна Овсяница Рожь (сено)	Пшеница (сено) Овес (сено) Ежа сборная Овсяница луговая Канареечник Клевер Гладкий костер Высокий луговой овсюг Кислый клевер	Белый датский клевер Луговой лисохвост Шведский клевер Красный клевер Клевер Ладино

для скармливания скоту на пастбищах или убираемые на сено.

В каждой подгруппе каждой группы растения расположены в порядке их отношения к засоленности. Каждое последующее в перечне растение более чувствительно к засоленности, чем предыдущее. Считаем, что дальнейшее исследование вопроса о заболоченности почв и их засоленности дополнит данные, приведенные в табл. 14.

Глава 12

ДРЕНАЖ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Дренирование земель, на которых возделываются сельскохозяйственные культуры, применяется для понижения высокого горизонта грунтовых вод. Некоторые читатели не знают, что дренирование почвы может быть существенно необходимым и в засушливых районах, где вообще для возделывания сельскохозяйственных культур необходимо орошение. Опыт с достаточной ясностью показал необходимость устройства дренажа на орошаемых землях. На более повышенных землях в некоторых равнинных районах дренаж никогда не применяют, но необходимость дренирования земель, расположенных ниже, часто возникает в результате орошения вышележащих площадей. От 10 до 20% площадей орошаемых земель в засушливых районах нуждается в дренаже для поддержания их продуктивности. Мелиорация солонцовых и солончаковых почв проходит через ряд важных этапов, но первой и основной необходимой стадией является снижение горизонта грунтовых вод дренированием почвы.

Орошение и дренаж в засушливых районах — взаимнодополняющие практические мероприятия; потребность в дренаже в значительной мере зависит от недостаточной эффективности сооружений, подводящих воду к орошаемым землям и распределяющих ее на поверхности обрабатываемых участков.

191. Польза, приносимая дренажем. Хороший дренаж улучшает структуру почв, увеличивает и поддерживает их плодородие. Дренаж прежде всего существенно необходим для мелиорации заболоченных, солонцовых и солончаковых почв. Если иметь в виду только эти почвы, в прошлом обрабатывавшиеся, то станет очевидной польза, приносимая дренажем сельскому хозяйству и населению страны. Применение дренажа: 1) позволяет производить раннюю вспашку и посев; 2) удлиняет сроки возделывания культур; 3) сохраняет большее количество влаги, доступной растениям, и способствует лучшему их питанию, увеличивая глубину корнеобитаемого слоя; 4) способствует вентиляции (аэрации) почвы; 5) уменьшает эрозию почвы и противодействует образованию оврагов, повышая инфильтрацию воды в почву; 6) способствует развитию почвенных бактерий; 7) выщелачивает излишек солей из почвы; 8) способствует повышению температуры почвы.

Кроме того, улучшая санитарные условия, дренаж благотворно влияет на здоровье населения и делает жизнь в сельских условиях более привлекательной.

192. Площади дренированных земель в западных штатах США. В дренировании орошаемых земель в 11 западных штатах США наблюдается значительный прогресс. В табл. 15 приведены данные о величине дренированных земельных площадей; они отражают прогресс в дренировании земель в каждом из 11 штатов. В ведении предприятий, занятых дренажем земель, находится более 2,4 млн. *га*. Согласно данным 1940 г., опубликованным Бюро переписи США, 2,16 млн. *га* были мелиорированы дренажем настолько, что на них стало возможным нормальное земледелие. Почти во всех штатах с орошаемыми землями имеются значительные площади, не пригодные для земледелия из-за отсутствия дренажа. Общая площадь таких земель в 1940 г. равнялась 112 тыс. *га*. Особенно интересны последние две графы табл. 15, показывающие наличие 19 200 *км* открытых дрен и около 5600 *км* дрен с трубами.

Таблица 15

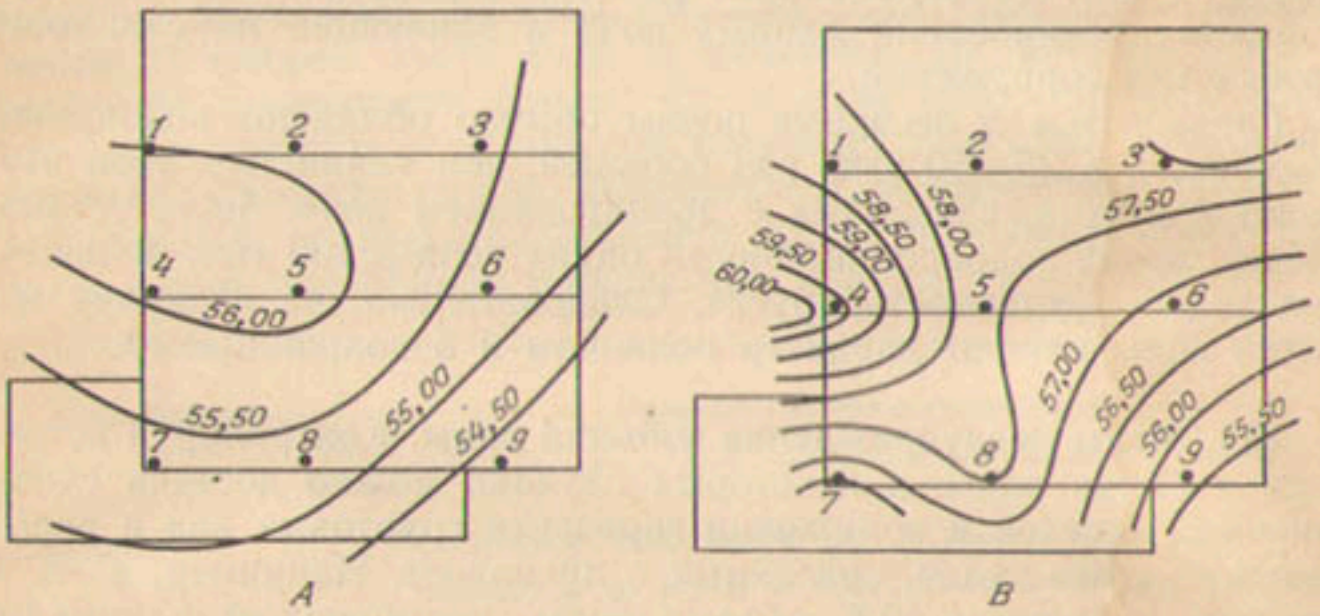
Дренированные площади в 11 штатах Запада США (по данным 1940 г). Показана общая протяженность открытых осушительных дрен и дренажных систем с гончарными трубами

Штат	Всего дренировано, *га*	Хорошо дренировано, *га*	Плохо дренировано, *га*	Протяженность открытых дрен, *км*	Протяженность дрен с трубами, *км*
Аризона	121	120	1,2	178	145
Калифорния . . .	1080	919	55	9 802	525
Колорадо	190	180	4	1 464	586
Айдахо	267	245	8	1 456	281
Монтана	151	142	7	677	118
Невада	62	54	—	685	—
Нью-Мексико . .	124	115	5	1 005	496
Орегон	141	121	12	1 255	243
Юта	82	50	16	431	2 589
Вашингтон . . .	164	149	2,5	1 423	287
Вайоминг	127	116	5,2	1 034	422
Всего . . .	2 509	2 211	115,9	19 410	5 692

193. Источники образования избытка воды в почве. Главными источниками и причинами образования в почве излишков воды, вызывающих необходимость дренажа орошаемых земель, являются потери воды при ее фильтрации в почву из водоемов и

каналов, а также при глубоком просачивании излишней оросительной воды в почву при поливах. Рациональное проведение поливов земель, расположенных на повышенных местах, уменьшает необходимость дренирования нижележащих земель. Затопление территории во время разливов рек, сопровождающееся переполнением дренажных каналов, и повышение уровня воды в реках являются также в большой степени причинами избытка воды в почвах некоторых равнинных местностей.

Токи грунтовых вод к заболоченным почвам в засушливых районах могут иметь любое направление. В некоторых почвах



Р и с. 144. Уровень грунтовых вод на опытном поле.
А — до полива (14 апреля 1946 г.); *Б* — после полива (12 мая 1948 г.).

преобладают преимущественно нисходящие токи через поверхностные слои с высокой водопроницаемостью в направлении к водонепроницаемым подстилающим грунтам. В других местностях безнапорные грунтовые воды могут течь под действием небольших гидравлических уклонов, как показано на рис. 127 (гл. 10). В иных районах главным источником избытка воды может быть восходящий ток воды из артезианского водоносного пласта, как показано на рис. 128, что характерно для больших земельных площадей в нескольких западных штатах. Наличие в некоторых почвах горизонта грунтовых вод на небольшой глубине от поверхности земли обусловлено двумя, а возможно, и большим числом названных источников избыточной воды. Для проектирования и устройства эффективных дренажных систем необходимо тщательное исследование грунтов, подстилающих почву.

Широкое применение пьезометров, описанных в гл. 10, дает возможность установить границы грунтовых вод или форму и направление их движения. На рис. 144, *А* и *В* показаны направления токов воды до поливов и после. В апреле до орошения

разность между наиболее высоким и наиболее низким горизонтами грунтовых вод была лишь 0,45 *м*, при значительных расстояниях между водяными жилами. В мае же 1948 г. верхний горизонт находился на 1,35 *м* выше нижнего. За время, протекшее между указанными двумя датами измерений, горизонт грунтовых вод поднялся на 1,2 *м* в одном месте поля и на 0,45 *м* в другом. Для рационального проектирования дренажных систем важно изучить состояние грунтовых вод, как оно отражено на рис. 144 *A, B*. Очень полезно изучить водопроницаемость почв ввиду их значительного разнообразия. Водопроницаемость почвы — главный переменный фактор, определяющий целесообразность дренирования данных почв и влияющий на стоимость дренажных сооружений.

Гравелистые и песчаные почвы обычно обладают водопроницаемостью, в 25—50 тыс. раз большей, чем глинистые. При изучении вопросов, связанных с дренированием почв, были установлены случаи водопроницаемости одних почв в 100 тыс. большей, чем водопроницаемость других. Следовательно, на величину избытка воды влияют характер подпочвы и водопроницаемость.

194. Меры предупреждения избытка воды. Контролируя источники избытка воды, в некоторых случаях можно достичь существенных успехов в понижении горизонта грунтовых вод и решении некоторых задач, связанных с дренажем. Например, в гл. 4 сказано, что почти 40% объема воды, поступающей в каналы, теряется на пути к месту ее потребления. Миллионы кубометров ежегодно теряемой воды, просачиваясь через почву, достигают горизонта грунтовых вод и являются причиной его повышения. Необходимо принять меры к ликвидации и уменьшению этих потерь воды путем покрытия водонепроницаемой одеждой дна и откосов многих тысяч километров каналов, к устранению причин, вызывающих необходимость устройства дренажа.

Контроль над другим источником избытка воды вследствие потерь на глубокую фильтрацию при поливах также связан с затруднениями и нелегко осуществим. В некоторых районах, где не наблюдается чрезмерного засоления или солонцевания почвы, снижение горизонта грунтовых вод достигается дренированием.

Покрытие каналов одеждой для предупреждения потерь воды при просачивании и поливы способом дождевания уменьшают возможность потерь на глубокую фильтрацию, а иногда и полностью устраняют просачивание. В результате этого горизонт грунтовых вод в почве может снизиться до приемлемой глубины и отпадет надобность в дренаже. Но в некоторых других районах указанные способы контроля над источниками избытка воды могут оказаться не имеющими практического значения и дорогостоящими, отчего и возникает потребность в дренаже. Для боль-

шинства заболоченных почв в засушливых районах выщелачивание растворимых солей — необходимое условие для возможности возделывания сельскохозяйственных культур. Поэтому достаточное понижение горизонта грунтовых вод путем дренирования должно предшествовать выщелачиванию солей из почвы.

195. Положение уровня грунтовых вод. Для обеспечения достаточной производительности почвы и сохранения ее плодородия необходимо, чтобы горизонт грунтовых вод находился на глубине не менее 1,8 *м* от поверхности. Во многих случаях даже при наличии дренажной системы горизонт грунтовых вод в продолжение некоторой части года поднимается до глубины 0,9 *м* и менее от поверхности земли, что крайне нежелательно. Ниже приведены данные о положении горизонта грунтовых вод, разработанные авторитетами по орошению и финансовыми организациями США, заинтересованными в предоставлении долгосрочных займов для мелиорации орошаемых земель.

Состояние почвы	Положение уровня грунтовых вод
Хорошее	Устойчивое положение на глубине ниже 2,1 *м*; поднимается до 1,8 *м* в течение около 30 дней в году
Удовлетворительное	На глубине 1,8 *м*; на уровне до 1,2 *м* — в течение 30 дней в году. Общий подъем грунтовых вод не наблюдается
Неудовлетворительное	Некоторое засоление, наблюдаемое на поверхности. Положение горизонта 1,2—1,8 *м* и до 2,4 *м* в течение 30 дней в году
Плохое	Горизонт на глубине 1,2 *м*; наблюдается повышение. Естественные и искусственные дрены расположены далеко и не могут быть использованы

196. Понижение уровня грунтовых вод. Горизонт грунтовых вод на землях в засушливых районах можно понизить, уничтожив источники избыточной воды или регулируя их, а также путем улучшения природных средств дренирования почвы и устройством искуственных дренажных сооружений.

Крайне необходимым является уменьшение потерь воды из подводящих каналов путем покрытия их ложа соответствующей одеждой и применения современных водонепроницаемых устройств для отвода воды из канала в распределительную сеть. Предварительная планировка орошаемых полей и рациональная система подачи воды в хозяйства уменьшают просачивание ее до

уровня грунтовых вод. Такие мероприятия особенно необходимо проводить на землях, находящихся в повышенных местах, на землях с маломощными почвами высокой водопроницаемости.

Забота о средствах естественного дренирования почвы предохраняет орошаемые земли от чрезмерного просачивания вглубь воды атмосферных осадков, а также от повреждений, причиняемых наводнениями.

Искусственный дренаж нужен во многих засушливых районах для понижения уровня грунтовых вод, что достигается одним из трех методов: а) прокладкой открытых дрен; б) устройством закрытых дрен с гончарными или бетонными трубами; в) откачкой грунтовых вод.

При открытых дренах и дренах с трубами вода поступает из влажной почвы в дрены под действием силы тяжести, и та же сила заставляет воду течь в дренах. При применении насосов необходимы затрата электроэнергии или пользование двигателями. Откачкой грунтовых вод в некоторых местах засушливых районов достигается одновременно и орошение, и дренаж.

197. Конструкция открытых дрен. В некоторых дренажных системах устроены преимущественно открытые дрены, которые отводят воду к водовыпускам, расположенным на значительных расстояниях. Грунтовые воды поступают в дрены непосредственно из грунта или во многих системах из линий дренажных труб. Проектант намечает устья дрен, определяет высоту положения их и уровня воды в дренах при максимальном их наполнении. Затем определяется общий уклон дрен, находящийся в пределах от 0,0005 до 0,0015. Уклоны открытых дрен на низменных землях с ровной поверхностью должны быть одинаковыми с уклоном поверхности участков, если только это не будет причиной образования больших скоростей движения воды в дренах и эрозии почвы. Обычно выгодно иметь дно дрен с одинаковым уклоном по всей их длине, хотя следствием этого бывает иногда различная глубина на разных участках дрены. Назначение величины откосов открытых дрен зависит преимущественно от механического состава почвогрунта; крутизна откосов принимается в пределах от 0,5 : 1 в плотных, вязких суглинках, до 3 : 1 — в рыхлых, песчаных почвах. Глубина открытых дрен — от 1,8 до 3,6 *м* и более.

В 1930 г. Джессоп сообщил, что в течение 25 лет наблюдалась тенденция в сторону выполнения более глубоких дренажных систем и что нередко встречались дрены глубиной 3,6—4,5 *м*. Высокая стоимость глубоких дрен является оправданием применения при дренировании насосов для откачки грунтовой воды, если применять насосы позволяют стоимость энергии и механический состав почвогрунтов.

198. Способы сооружения дренажных систем и их стоимость. В настоящее время для рытья открытых дрен пользуются моторизованными экскаваторами, снабженными ковшом драглайн (рис. 145). Для рытья глубоких открытых дрен требуются полосы земли шириной от 23 до 30 *м*.



Рис. 145. Экскаватор драглайн в работе по прокладке осушительного канала.

Такая большая ширина отчуждения является причиной возражений против сооружения открытых дрен в тех местностях, где земля имеет большую ценность.

На рис. 146 показана типичная открытая дрена средней глубины в штате Нью Мексико.

Для подрывных работ при сооружении открытых дрен в некоторых грунтах пользуются нитроглицерином. При применении одинаковых по величине нитроглицериновых зарядов в насыщенной водой почве взрыв одного заряда передается другому и постепенно взрывы распространяются по всей линии будущей дрены.



Рис. 146. Обычный открытый канал в штате Нью Мексико. Ширина канала по дну приблизительно 6 *м*; пропускная способность его 3,5 $м^3/сек$.

Этот способ, требующий только одного запала, экономичен. Взрывчатыми веществами пользуются как легким способом очистки заиленных протоков и канав, а также и для сооружения

новых канав. Однако рыхлое дно, получаемое в результате взрывов, не пригодно для укладки на нем дренажных труб.

199. Дренажные системы. Существуют две наиболее известные системы дренажа: 1) систематический дренаж с почти одинаковой глубиной по всей длине дрен и с приблизительно равными расстояниями между ними; системами таких дрен пользуются в местностях с равнинным характером поверхности; 2) перехватывающие дрены на территории участков с разнообразной поверхностью и на косогорных участках.

В первой системе на величину расстояний между дренами сильно влияют механический состав и водопроницаемость почвогрунта. В глинистых почвах с малой водопроницаемостью при положении труб на глубине 1,5 *м* малые расстояния (около 60 *м*) между дренами могут в достаточной мере обеспечить удовлетворительное дренирование. В обычных суглинистых почвах при положении труб на глубине около 1,8 *м* приемлемое расстояние между дренами 120—180 *м*. Обычное расстояние между дренами в песчаных и гравелистых почвах — около 240 *м* и более. При наличии длинных магистральных дрен с короткими собирающими дренами-крыльями дренажная система называется системой косоугольной. Система в виде сетки состоит из длинных параллельных дрен-крыльев, присоединенных к главному короткому коллектору. Люки, пескоуловители и смотровые колодцы, расположенные в удобных местах по линии дрены с расстояниями между ними от 200 до 400 *м*, облегчают наблюдение за состоянием дрен, их очистку и эксплуатацию.

Существуют дрены с неодинаковыми расстояниями друг от друга; они служат для перехвата на косогорах фильтрующей воды и для предупреждения ее стока на нижерасположенные земли. Глубина и положение таких дрен зависят преимущественно от топографических условий и от механического состава почвы. Ловчие дрены должны задерживать ток воды в песчаных и гравелистых почвогрунтах. Скорость движения воды в таких почвогрунтах значительно больше по сравнению со скоростью в суглинках и глинистых почвах.

200. Укладка дренажных труб. На рис. 147 показана одна из машин, устранивших необходимость пользоваться ручным трудом для строительства закрытых дрен.

Обычно гончарные или бетонные трубы доставляются на место работы непосредственно с завода и укладываются на поверхности вдоль линии запроектированных дрен. При движении канавокопателя в прорытую траншею закладываются трубы, причем каждая следующая труба укладывается в стык с предыдущей. Такие машины оборудованы гидравлическими устройствами, ока-

зывающими давление на трубы и прижимающими конец одной трубы к другой. Засыпка траншеи производится с помощью специального экскаватора с двумя щитами. Вода проникает внутрь труб через стыки, но не через стенки. Для предупреждения проникновения частиц грунта в трубы стыки рекомендуется оборачивать полосами просмоленной бумаги с засыпкой вдоль него слоя гравия толщиной 7,5 *см* и шириной 15 *см*. В нижней части рис. 148 виден

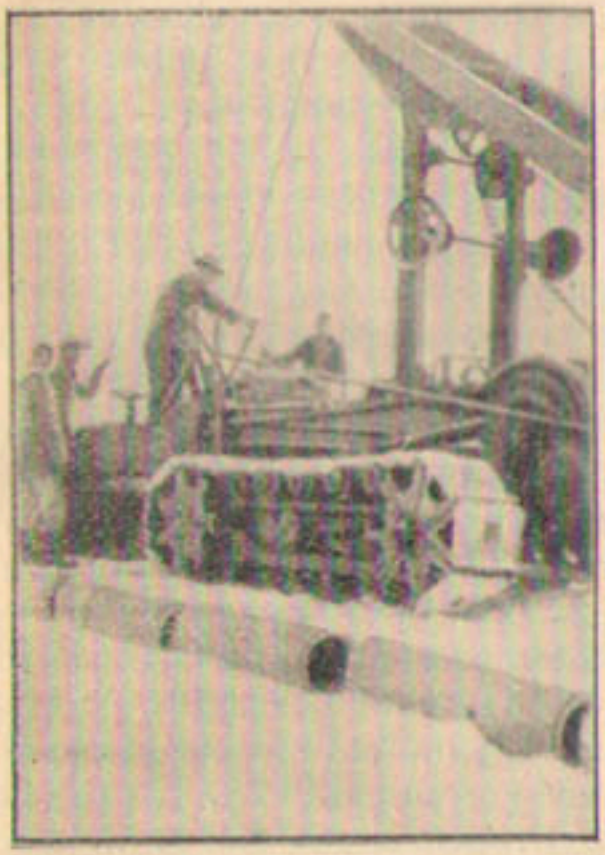


Рис. 147. Бетонные дренажные трубы перед укладкой в траншею.



Рис. 148. Канавокопатель на тракторной тяге, прокладывающий траншею глубиной 1,8 *м* в песчаной почве.

лоток, по которому к каждому стыку скатывается гравий. Для грунтов с высокой вязкостью и с небольшой влажностью засыпку стыков гравием можно производить, следуя за экскаватором на расстоянии 3,0—4,5 *м*, если засыпка траншеи производится не сразу после укладки труб. Как только гравий насыпан на стыки, его следует покрыть слоем грунта толщиной 30 *см*, использовав для этого рабочих, чтобы предохранить трубы от смещения и от повреждения падающей землей при засыпке траншеи.

На рис. 149 показано устье дрены длиной 1100 *м*. На ее нижнем участке на протяжении 480 *м* уложены бетонные трубы диаметром 20 *см*, а на остальной длине 600 *м* — трубы диаметром 15 *см*. Для строительства системы применялись машины, показанные на рис. 147 и 148. Все стыки дрен были защищены гравием. Вскоре после устройства дренажа через дрены протекало только 135 *л/мин* с участка дрены длиной 30 *м*. Во время поливов максимум отводимой воды достигал 450 *л/мин*.



Рис. 149. Устьевой конец бетонного дренажного трубопровода длиной 1100 *м* и диаметром 20 *см*.

201. Уход за дренажными системами. Уход за дренажными системами в основном заключается в очистке дрен от ила и в уничтожении в них растительности.

Корни некоторых видов деревьев и растений в поисках воды проникают на большую глубину. К таким видам деревьев принадлежат, например, ива, тополь. Корни проникают в стыки труб закрытых дрен и продолжают развиваться внутри труб, препятствуя течению в них воды. Даже частичное забивание трубы корнями может уменьшить скорость течения в ней настолько, что начнется оседание частиц грунта в трубе, что окончательно засорит ее.

В мелкозернистых песчаных грунтах трудно устроить дрены с такими соединениями труб, через которые грунтовые воды могут поступать в трубу, но все частицы грунта задерживаются. При засыпке стыков труб гравием, как описано выше, количество грунта, попадающего в дрены, невелико.

Наблюдается значительное разнообразие как в количестве, так и в скорости течения воды в закрытых дренах.

Во время проливных дождей и в период поливов в дрены попадает наибольшее количество воды и наблюдается наибольшая скорость течения. Частицы грунта, поступившие в дрены, при большой скорости течения могут уноситься с водой в состоянии суспензии и попадать в песколовку или выходить к устью дрен. По мере уменьшения в дрене расходов воды и ее скорости частицы грунта начинают осаждаться в трубах. Эти осевшие частицы грунта могут перемещаться внутри трубы током воды с малой скоростью, но при дальнейшем уменьшении скорости течения

перемещение частиц прекращается. Осевший в трубе грунт может настолько уплотниться, что будет в состоянии затем противостоять большой скорости течения воды, что создаст еще большее накопление грунта и постепенную закупорку трубы, если только не будут приняты меры для ее очистки.

Термин «промоина» распространен среди фермеров в некоторых районах дренированных земель. Этим словом пользуются для обозначения ям, вымытых оросительной водой, текущей вниз, в засыпанную дренажную траншею. Вода увлекает значительное количество грунта, попадающего затем в трубы через их стыки. Промоины образуются чаще всего вскоре после сооружения дренажных систем и реже после того, как засыпанная земля осядет в траншее и уплотнится.

Образование промоин следует приписать отсутствию достаточного внимания, которое должно уделяться поливам. Чрезмерный расход оросительной воды, напускаемой на поля, и лужи на поверхности почвы после полива очень способствуют образованию промоин, причиняющих двойной вред: размытая почва попадает в дрены и забивает трубы, а образовавшиеся понижения на поверхности не позволяют продуктивно использовать эти места для возделывания растений.

Установлено, что в песчаных почвах дренажные трубы могут повернуться на 90% от их первоначального положения, что вызывается недостаточно плотными стыками между концами труб. При укладке труб без соблюдения технических требований дренажная вода, протекая через широкие зазоры между концами труб, вымывает почву из-под стыков, и трубы в стыках оседают. В результате оседания концы труб раздвигаются, в стыках образуется завихрение воды и размыв почвы водой увеличивается. Это явление продолжается до тех пор, пока трубы окончательно не закупорятся в стыке накопившейся почвой или илом или же дренажная линия не закупорится в ее нижнем конце.

202. Глубина дрен, расстояние между ними и движение грунтовых вод. Чтобы выяснить влияние глубины дрен, расстояний между ними и других факторов на расход воды, поступающей в дрены и текущей в них, необходимо рассмотреть два профиля почвогрунтов.

На рис. 150 показан ток грунтовых вод в горизонтальном направлении к дренам, что может быть в песчаных почвогрунтах с высокой водопроницаемостью, подстилаемых на глубине от 1,8 до 3,0 *м* плотной глиной малой водопроницаемости.

Для простоты изображения источник воды, откуда вода поступает в дрену, представлен в виде резервуара в левой части рис. 150. В резервуаре и в прилегающей к нему почве поддерживается определенный уровень воды на высоте H над поверхно-

стью глины. Движение воды к дрене носит установившийся характер; для простоты примем, что резервуар является единственным источником воды. Грунтовые воды в действительности поступают в дрену с обеих сторон. Пусть $2q$ выражает расход воды, притекающей к дрене на ее протяжении L. Тогда приток грунтовых вод к дрене с одной стороны выразится:

$$q = av,$$

а по закону Дарси

$$v = k\frac{h_f}{R} = k\left(\frac{H-h}{R}\right).$$

Среднюю глубину насыщения водой почвы примем в точке посредине между резервуаром и дреной. Тогда средняя величина

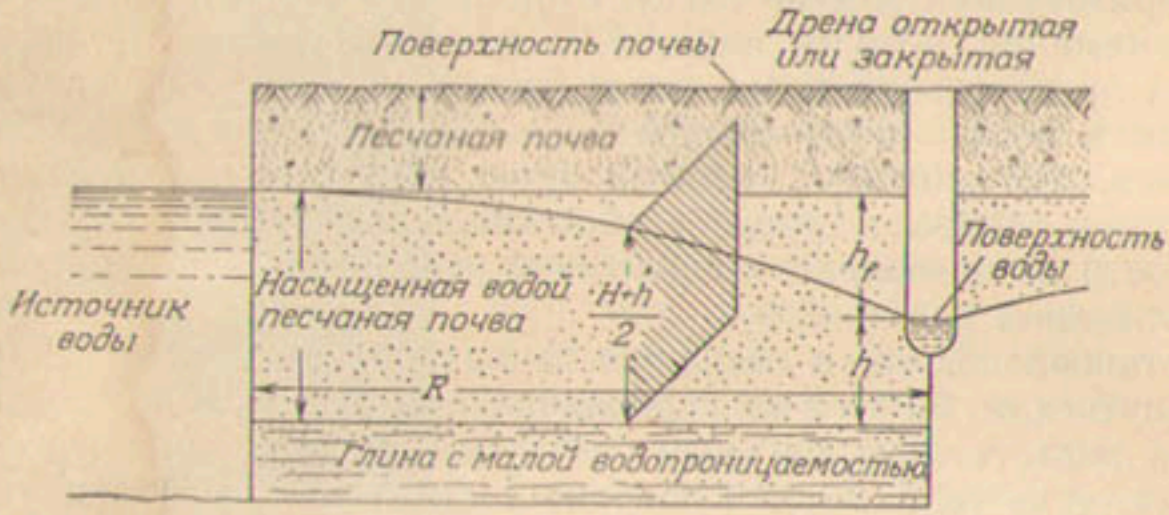


Рис. 150. Схема прямолинейных токов грунтовых вод в направлении к дренам с расстоянием между ними $2R$. Уровень грунтовых вод находится на $H-h$ выше горизонта воды в дренах, проложенных в песчаной почве, подстилаемой глиной.

площади поперечного сечения слоя насыщенной водой почвы, соответствующая длине L, выразится

$$a = \left(\frac{H+h}{2}\right) \cdot L.$$

Через это поперечное сечение вода поступит в дрену из резервуара с расходом

$$q = \left(\frac{H+h}{2}\right) L \cdot k\left(\frac{H-h}{R}\right) = \frac{kL\,(H^2-h^2)}{2R}. \qquad (48a)$$

Расход воды, поступающей в дрену с двух сторон, выразится

$$Q = 2q = \frac{kL\,(H^2-h^2)}{R}, \qquad (48b)$$

откуда

$$R = \frac{kL\,(H^2-h^2)}{Q}. \qquad (48c)$$

Допустим, что резервуар — единственный источник грунтовой воды, текущей через пласт песка 4,5 *м*, насыщенный водой.

В дрену на протяжении 750 *м* поступает с обеих сторон расход воды $Q = 28{,}3$ *л/сек* по глубине дренирования 4,5 *м*. Уровень воды в дрене 0,6 *м*. Горизонт грунтовых вод между дренами на 1,5 *м* ниже поверхности земли.

Следовательно, в соответствии с обозначениями на рис. 150, для данного примера

$$H = 3{,}0\ м, \qquad L = 750\ м,$$
$$h = 0{,}6\ м, \qquad q = 0{,}0283\ м^3/сек.$$

Средняя величина коэффициента водопроницаемости почвы, измеренная в поле, в этом случае равна

$$k = 0{,}6 \cdot 10^{-3}\ м/сек.$$

Обозначая расстояние между дренами $S = 2R$, имеем

$$S = \frac{2 \cdot 0{,}6 \cdot 750 \cdot (9{,}0 - 0{,}36)}{1000 \cdot 0{,}0283} = 275\ м.$$

Величины H, h и L могут быть всегда точно измерены, расход q можно измерить с точностью до 5%. Результаты наших вычислений расстояний между дренами при помощи уравнения (48c) можно рассматривать только как приближенные по той причине, что коэффициент водопроницаемости k почв в поле меняется в широких пределах.

В насыщенных песчаных почвах с глинистыми подстилаемыми грунтами ток воды по направлению к дрене достигает максимума у самой дрены и уменьшается с увеличением расстояния от дрены. Условно принято, что ток отсутствует в плоскости сечения почвы посередине между двумя дренами и что по обеим сторонам этой средней плоскости токи воды направлены в разные стороны. В действительности же движение дренажной воды в полевых условиях направлено вниз от ненасыщенной водой орошаемой почвы к горизонту грунтовых вод. Для этих условий Доннан предложил уравнение, сравнимое с уравнением (48a). Разница между этими двумя уравнениями заключается в том, что расход воды через почву в уравнении Доннана принят в два раза большим при той же одинаковой водопроницаемости почвы, при той же разнице в положении уровней воды и при тех же расстояниях между дренами.

В мощных почвах, обладающих приблизительно одинаковой водопроницаемостью по всей их массе, вода движется к дрене со всех сторон в радиальных направлениях (рис. 151). При таких условиях можно считать, что ток воды к дрене происходит через

полуцилиндрическую поверхность, охватывающую дрену. Исходя из этого положения, получили уравнение

$$Q = \frac{\pi kL\,(H-h)}{2{,}3\log\frac{R}{r}} = \frac{\pi kL\,(H-h)}{2{,}3\log\frac{S}{d}}, \qquad (49)$$

в котором все обозначения, кроме S и d, те же, что и в уравнении (48b), S — расстояние между дренами, а d — диаметр дрены.

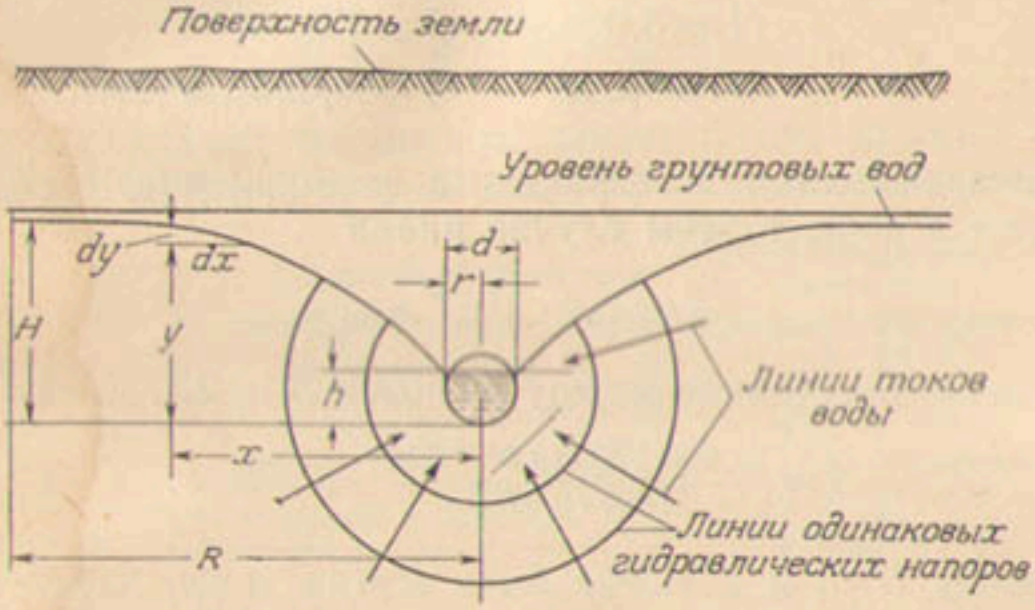


Рис. 151. Схема радиальных токов грунтовых вод в направлении к дренам, прорытым в однородной почве. Уровень грунтовых вод расположен на $(H-h)$ *м* выше горизонта воды в дренах.

Основным различием двух вышеприведенных примеров является следующее. В первом случае величина h мала по сравнению с величиной H и расход воды, поступающей в дрену, приблизительно пропорционален квадрату $(H-h)$, т. е. действующему напору. Во втором случае расход воды пропорционален первой степени $(H-h)$.

203. Применение насосов при дренаже. Невозможность понизить горизонт грунтовых вод в достаточной степени является главным недостатком систем дренажа, основанных на поступлении воды в систему под действием силы тяжести. Действие многих таких систем простирается на небольшую глубину; при некоторых системах велики расстояния между дренами; иногда система страдает обоими указанными недостатками. Более эффективным способом понижения уровня грунтовых вод является в некоторых местностях откачка воды.

В гл. 5 рассмотрено влияние на дебит колодца водопроницаемости почвы, эффективной глубины и диаметра колодца при откачке свободной грунтовой воды. При откачке воды из артезиан-

ского водоносного пласта, находящегося на глубине D, вода движется в радиальных направлениях, проходя через цилиндрические поверхности с общей вертикальной осью цилиндра. Для этого случая действительно уравнение

$$Q = \frac{2\pi R\,(H - h)}{2{,}3 \log \frac{R}{r}}. \qquad (50)$$

Сравнение уравнений (49) и (50) показывает, что если L в уравнении (49) равна глубине водоносного пласта D в уравнении (50), а все прочие данные одинаковы, то поступление воды через цилиндрические поверхности с вертикальной осью будет количественно в два раза большим по сравнению с расходом воды к дренам через полуцилиндрические поверхности с горизонтальной осью.

На успешность откачки воды при дренировании благоприятно влияют соответствующая глубина и водопроницаемость водоносных слоев, достаточно высокая стоимость оросительной воды и малая стоимость затрачиваемой энергии.

Глава 13

СРОКИ ПОЛИВОВ

При определении сроков поливов необходимо руководствоваться двумя главными соображениями: а) потребностью сельскохозяйственных культур в воде и б) доступностью оросительной воды. Потребность культур в воде — основное соображение исключительной важности, определяющее сроки поливов в течение вегетационного периода в хозяйствах, получающих оросительную воду из водоемов или других ее источников. Некоторые орошаемые площади не обеспечиваются водой в должной мере в течение вегетационного периода, но могут получать ее в изобилии ранней весной, поздней осенью и зимой. Сельские хозяйства, пользующиеся орошением, не всегда могут производить поливы в те сроки, когда растения особенно нуждаются в воде; иногда, чтобы использовать подаваемую воду, они принуждены поливать свои поля в то время, когда растения не нуждаются в этом.

205. Потребность растений в воде. Сельскохозяйственные культуры в период вегетации потребляют воду непрерывно, но количество потребляемой воды различно в зависимости от рода культуры, стадии развития растений, температуры, атмосферных условий, т. е. от многих переменных факторов. Для орошаемого земледелия существенно важно использование корнеобитаемого слоя как резервуара для накопления в нем поливной воды. При каждом поливе в ненасыщенной водой почве накопляется запас доступной воды, достаточный для удовлетворения потребности растений в течение времени от нескольких дней до нескольких недель. Большое практическое значение имеет разрешение вопроса о том, как часто следует поливать различные культуры, чтобы полностью удовлетворять их потребность в воде. Эта потребность является фактором, определяющим частоту поливов.

206. Условия, ограничивающие увлажнение почвы. Развитие большинства культур, возделываемых на орошаемых землях, стимулируется умеренными количествами почвенной влаги и задерживается ее излишком или недостатком. Для удовлетворительного роста растений необходимо также определенное количество воздуха в почве. Отсюда следует, что чрезмерным поливом и за-

полнением водой пор почвы из нее вытесняется воздух, что нарушает процесс правильного развития растений, хотя растения и получают воду в изобилии. Но, с другой стороны, почвы с малым влагосодержанием как бы стремятся удержать в себе воду с такой силой, что для извлечения влаги из почвы растениям приходится затрачивать излишнюю энергию. При относительно небольшом дальнейшем уменьшении поступления воды в такие почвы влажность их настолько уменьшается, что скорость абсорбции оказывается недостаточной для поддержания тургора и начинается длительное увядание. При некоторой величине влажности почвы, средней между указанными крайними, наблюдается наиболее быстрое развитие растений, и такая влажность называется оптимальной.

Расширение области знаний, относящихся к этим двум степеням влажности, т. е. влажности длительного увядания и оптимальной, явилось целью многих исследовательских работ. Зная о значительном разнообразии физических свойств различных почв, легко понять, что для глинистой почвы влажность при длительном увядании может быть в несколько раз больше той же влажности песчаной почвы, причем имеются в виду одни и те же растения. Возникают следующие трудно разрешимые вопросы: 1) все ли растения начинают увядать в данной почве при некоторой ее определенной влажности и 2) существует ли какая-то определенная критическая величина влажности (или влажность, колеблющаяся в узких пределах), при которой картофель, свекла, люцерна, колосовые и другие обычные культуры завядают вне зависимости от количества солнечного света, ветра, влажности воздуха и других факторов. Исследования Бриггса и Шанца позволили сделать вывод, что почти все растения, возделываемые на данной почве, увядают приблизительно при одинаковой ее влажности.

Так же интересен и важен вопрос о так называемой оптимальной влажности. Увеличивается ли рост культур с увеличением влажности почвы выше влажности увядания до тех пор, пока влажность не достигнет оптимума? Уменьшается ли скорость развития растений, пока почва не достигла состояния полевой капиллярной влагоемкости? Не является ли скорость развития растений одинаковой в широких пределах влажности, начиная от влажности, несколько большей влажности увядания, и кончая полевой капиллярной влагоемкостью?

Кривая рис. 152 показывает возможное влияние изменения влажности на скорость развития растений; эта кривая является результатом исследовательской работы. Кривая дает приблизительное представление об изменениях в развитии сельскохозяйственных культур по мере увеличения влажности почвы от влажности увядания до влажности насыщения. Предполагалось, что

наибольшая скорость роста культур имеет место при достаточно определенных величинах влажности. Исследования сельскохозяйственной опытной станции штата Калифорния подтвердили существовавшее мнение, что такие процессы протекают в некоторых пределах величин влажности.

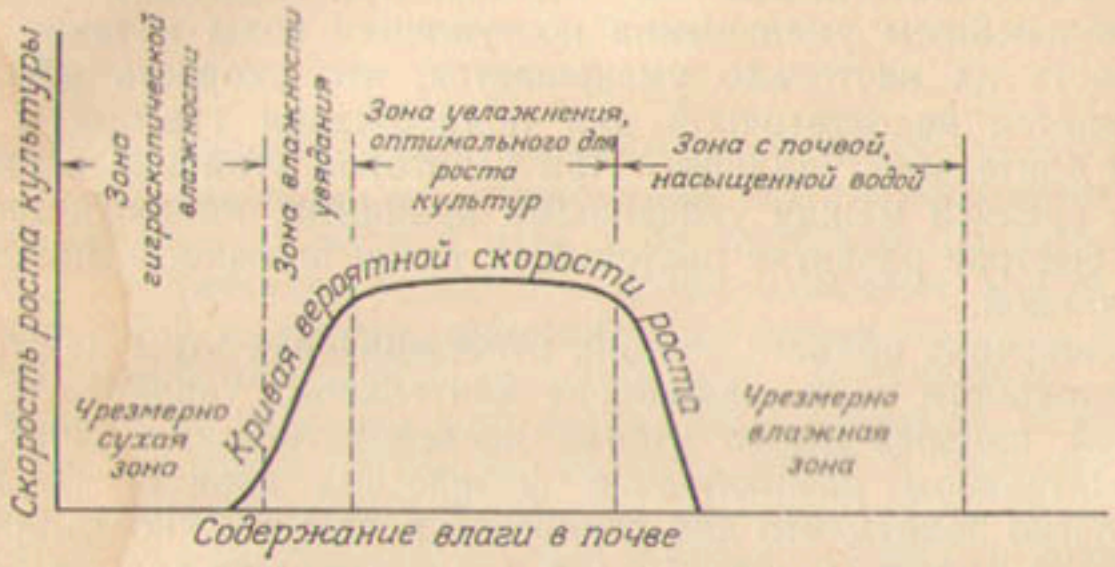


Рис. 152. Кривая, показывающая влияние различного содержания воды в почве на скорость роста сельскохозяйственных культур.

207. Внешний вид растений. Светлозеленая окраска люцерны обычно указывает на достаточную влажность почвы и на удовлетворительное развитие этой культуры, а темнозеленая свидетельствует о недостаточной влажности почвы. Недостаток влаги для сахарной свеклы узнается по временному увяданию ботвы, наблюдаемому в наиболее жаркие часы дня. Временное увядание также зерновых культур является признаком их потребности в воде. В садоводстве определение недостатка воды по виду листьев деревьев ненадежно, так как в этом случае задержка развития фруктовых деревьев наблюдается раньше, чем определится недостаток воды по виду листьев. Поэтому надежнее судить о сроках полива деревьев в садах, исходя из результатов определения влажности почвы. То же возражение против пользования окраской листьев, как признаком недостатка влаги в почве, относится не только к фруктовым деревьям, но и к любой сельскохозяйственной культуре. Рост культур не должен задерживаться недостаточной влажностью почвы. Поэтому вредна существующая практика задержки поливов до тех пор, пока по виду растения не станет очевидным недостаток воды в почве. Такая практика способствует задержке в развитии возделываемых культур.

208. Доступная вода в почве. Для удовлетворительного развития растений существенно важно поддерживать в почве доста-

точный запас воды, легко доступной для корней растений. Вода, находящаяся в почве после наступления периода длительного увядания растений, является недоступной для них. В почвах грубого механического состава количество недоступной воды невелико — от 1 до 3% от веса сухой почвы, а в почвах мелкозернистых количество недоступной воды повышается до 20%. Для каждого вида растений количество недоступной воды в почве различно, причем это различие варьирует в широких пределах в разных почвах. Поэтому небольшая разница в способности тех или иных культур поглощать воду не имеет существенного значения. Наиболее важно знание колебаний количеств недоступной воды в почве в тех случаях, когда по влажности почвы судят о сроках поливов.

209. Коэффициент увядания. Величина влажности, сохраняемой почвой после наступления длительного увядания растений, называется коэффициентом увядания. Бриггс и Шанц установили определенное соотношение между эквивалентом влажности всех почв и коэффициентом увядания. Однако недавние исследования Вимейера и Гендриксона выявили достаточно широкие отклонения от результатов исследования Бриггса и Шанца. Было найдено, что коэффициент увядания равен эквиваленту влажности, деленному на 1,84. Чтобы использовать с достаточной надежностью влажность почвы для установления сроков полива, необходимо знать, хотя бы приблизительно, коэффициент увядания для данной почвы. Коэффициенты увядания, вычисленные на основе эквивалентов влажности, являются только приблизительными указателями сроков поливов. Ими следует пользоваться осторожно, заменяя их по возможности коэффициентами увядания, установленными непосредственными наблюдениями. Вимейер и Гендриксон установили, что величина отношения эквивалента влажности к коэффициенту увядания колеблется в пределах от 1,73 до 3,82. Они пришли к заключению, что отношением 1,84, рекомендованным Бриггсом и Шанцем, нельзя пользоваться для всех почв, «так как, повидимому, растения способны понижать влажность различных почв в различной степени еще до достижения влажности длительного увядания» (т. е. коэффициента увядания). Увядание растений в полевых условиях, повидимому, начинается не при какой-либо совершенно определенной влажности почвы, но при разных влажностях, величина которых находится в некоторых узких пределах. Практическое значение имеет знание верхнего предела влажности длительного увядания для данной почвы. Гендриксон и Вимейер полагают, что растения получают некоторое количество воды из почвы и после перехода за предел влажности длительного увядания, но что количество воды, которое может быть в этом случае получено растениями, недостаточно

для их жизни. Вода, сохраняющаяся в почве за пределом влажности длительного увядания, малодоступна для растения.

210. Скорость роста при влажности, большей влажности увядания. Изучение почвенной влажности и отношения к ней растений, повидимому, подтверждает тот взгляд, что развитие растений не замедляется недостатком доступной воды, если только влажность почвы не понизилась до предела увядания.

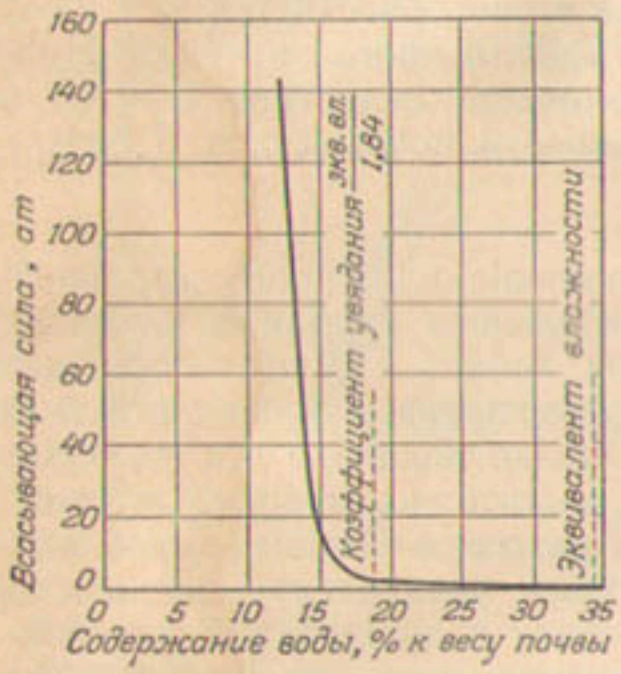


Рис. 153. Кривая всасывающей силы, удерживающей воду в илисто-глинистом суглинке при разных величинах влажности.

Полевые исследования Гендриксона и Вимейера с персиковыми деревьями в Калифорнии привели их к заключению, что «влажность длительного увядания является критической влажностью почвы» и «что деревья или имеют легко доступную влажность или не имеют ее совершенно».

Исследования Шелла, имевшие целью установить пределы колебаний величины поверхностного натяжения, под действием которого вода удерживается в почве при изменении ее влажности, подкрепляют выводы Гендриксона и Вимейера. Шелл нашел, что при влажности выше коэффициента увядания большие изменения во влагосодержании почвы вызывают только незначительные изменения силы поверхностного натяжения. Однако при влажности ниже величины коэффициента увядания даже незначительное изменение содержания влаги в почве вызывает большие изменения величины поверхностного натяжения, удерживающего воду в почве. Исследования Шелла подтверждены работой Томаса по вопросу о давлении водяного пара в почве. Магистад и Бризил своими работами по вопросу о взаимоотношении растений и почв при влажности увядания и при меньших влажностях подтвердили результаты работ Шелла и Томаса. Из рис. 153 видно, что всасывающая сила корней мало уменьшается при возрастании влажности почвы от величины коэффициента увядания (влажность почвы около 19%) до величины эквивалента влажности (около 34%). Поэтому с полным основанием можно считать, что скорость развития растений (поскольку на это может влиять влажность почвы) не изменяется заметно с возрастанием влажности от величины коэффициента увядания до величины эквивалента

влажности; последний же для некоторых мелкозернистых почв выражает приблизительно и полевую влагоемкость.

211. Потребность различных почв в воде. Работами сельскохозяйственной станции штата Нью Мексико было установлено, что понижение влажности в верхних 1,8 *м* почвы в среднем до 7% не отзывается вредно на растениях. На рис. 154 показаны изменения влажности в верхних слоях почвы — 0—0,30; 0,60—0,90

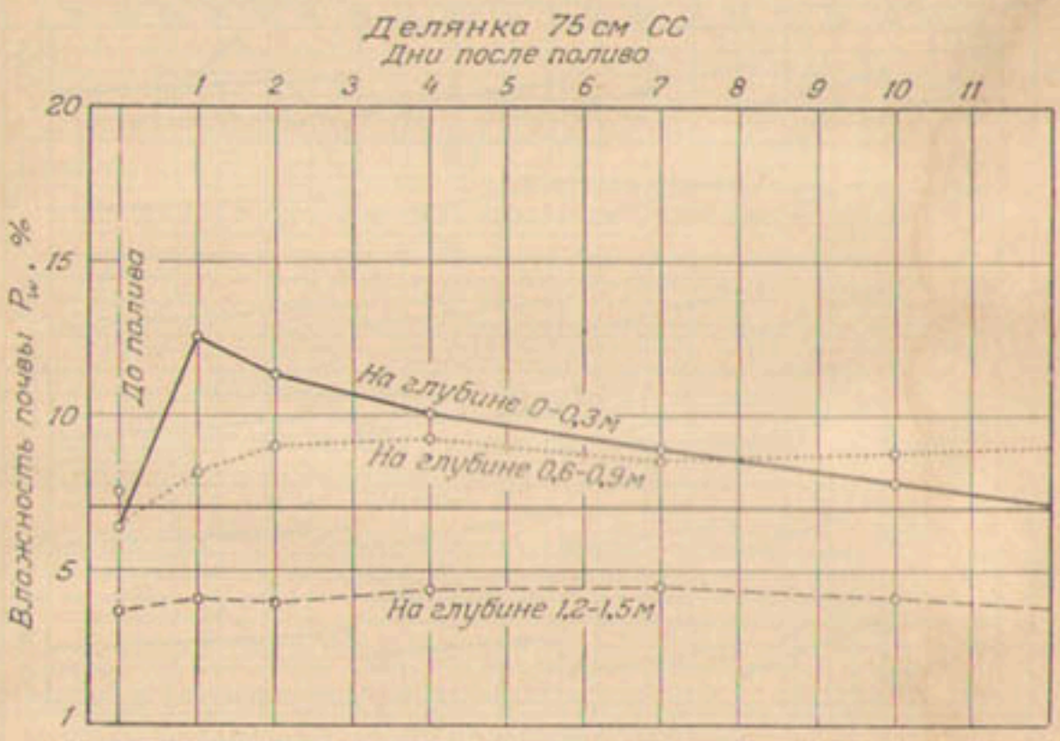


Рис. 154. Графики увеличения влажности почвы вследствие поливов люцерны, подвергшейся культивации, и уменьшения влажности в течение первых 10 дней после полива.

и 1,20—1,50 *м* от поверхности в течение 10 дней после полива на участке, засеянном люцерной и подвергшемся культивации. На участок был дан полив напуском слоем 7,5 *см*. Среднее количество оросительной воды, подаваемой за сезон на участок в течение лет, когда производились определения влажности, составляло 105 *см*. Наибольшие изменения влажности наблюдались в слое 0—0,30 *м*; влажность в горизонтах 0,60—0,90 и 1,20—1,50 *м* продолжала возрастать в течение нескольких дней после полива. Влажность в слоях 0—0,30 и 0,60—0,90 *м* почвы на делянке, подвергшейся культивации, была больше 7% в течение периода наблюдений.

Пауэрс нашел, что полив картофеля лучше производить, когда влажность тяжелых серых илистых суглинков снижается до 20%. Для глубоких суглинков, по данным опытной станции штата Юта, полив желателен при понижении влажности до

12—13%. Эквивалент влажности для почвы штата Юта выражается 22%, исходя из чего вычислен коэффициент увядания 12%.

Адамс и другие установили, что люцерна, возделываемая в штате Калифорния, при благоприятных условиях давала урожай 18,5 *т/га*, несмотря на то, что влажность почвы понижалась до величины коэффициента увядания в слое почвы 0—0,30 *м* перед

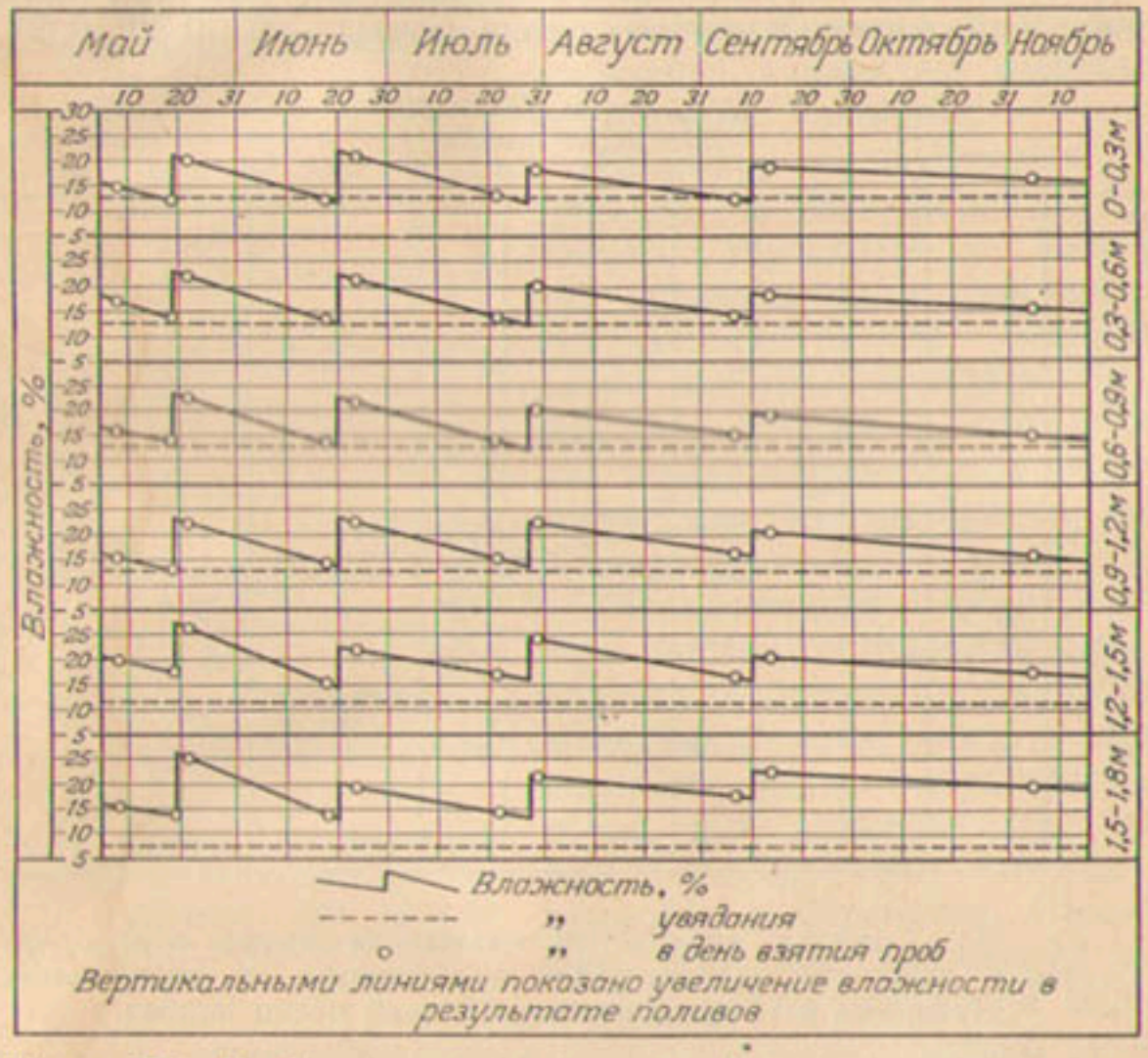


Рис. 155. Графики сезонных изменений влажности почвы на поле под люцерной.

каждым поливом. На рис. 155 показаны величины влажности в каждом футе (30 *см*) почвы в течение 10 различных периодов за время вегетации.

Исследованиями Гендриксона и Вимейера показано, что «хотя наблюдается замечательное постоянство остаточной влажности данной почвы при достижении величины длительного увядания, тем не менее такая влажность не может быть использована как общий фактор для вычисления количества воды, остающейся в почве в период длительного увядания».

Изменения в течение сезона влажности почв различных опытных делянок, подвергшихся поливам, показаны на рис. 156.

Ниже приведены средние глубины слоев воды при каждом из четырех поливов или групп поливов.

При поливах *A* на участки подавалось наибольшее количество воды — в среднем слой 63 *см* (6300 $м^3$) в год. На поливы *D* было затрачено в среднем за год 50 *см* (5000 $м^3/га$). При

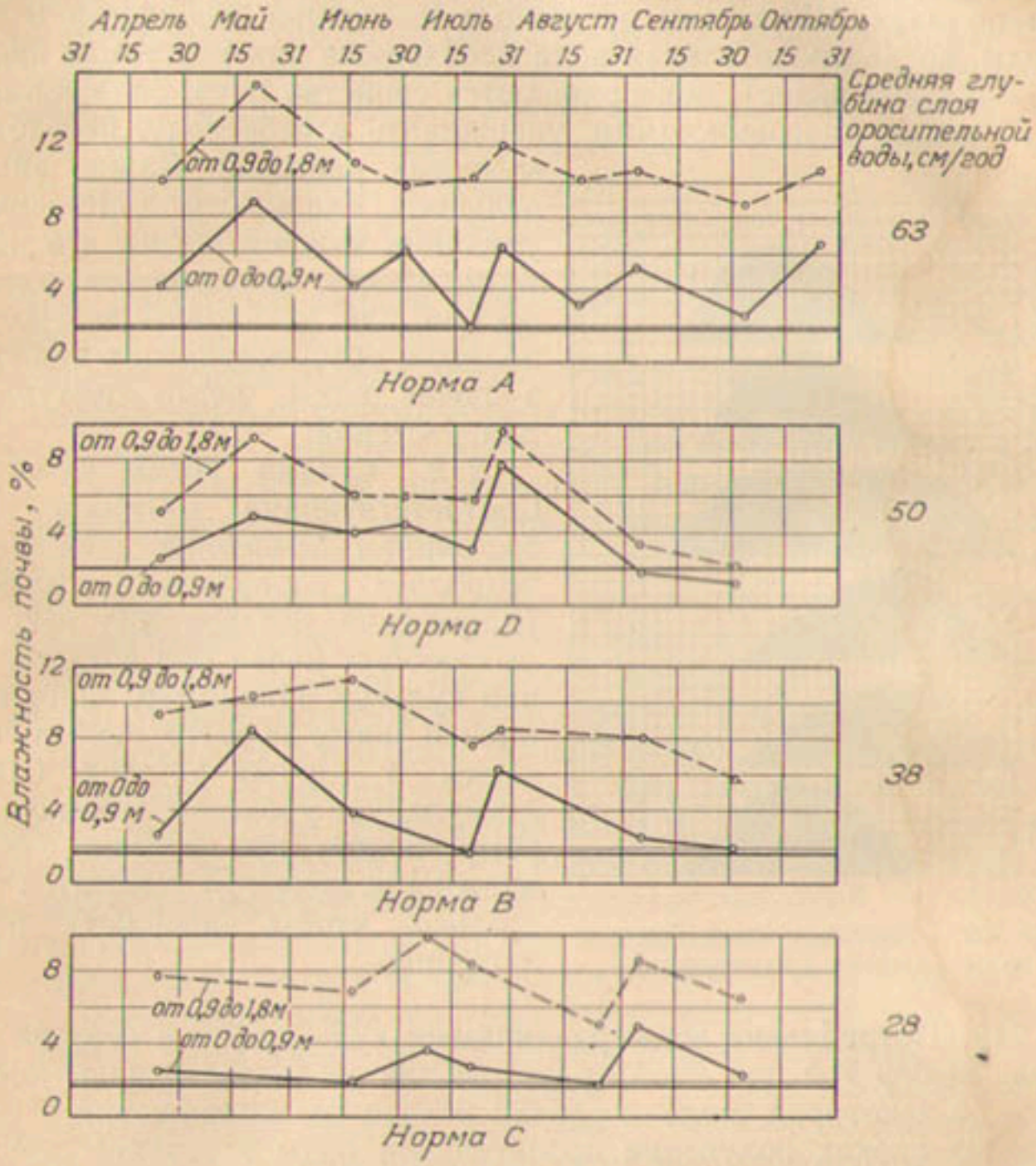


Рис. 156. Влажность почвы в плодовом саду в зависимости от количества воды, расходуемой для полива. Влажность длительного увядания на глубине от 0 до 90 *см* показана сплошными горизонтальными линиями.

поливах *B* почва получила меньше воды, чем при поливах *D* — только 3350 $м^3/га$; при поливах *C* было затрачено приблизительно на 50% меньше воды, чем при поливах *A* и *F* (2800 $м^3/га$) в течение каждого года.

Почва, на которой проводились описываемые исследования, относится к типу песчаных мелкозернистых по механическому со-

ставу почв Окли. Следует отметить малую влажность слоя 0—0,90 *м* почвы в период длительного увядания, что показано на рис. 156 жирной горизонтальной линией, а также высокую среднюю влажность, поддерживаемую большим расходом воды при поливах. Широкими пределами изменения влажности в периоды, когда оросительная вода необходима как доступная влага (как указано выше), подчеркиваются свойства почв, обладающих различными влагоемкостями, удерживать в себе воду, необходимую для растений. Важно знать величину влажности длительного увядания каждой почвы, что дает возможность пользоваться влажностью для установления сроков поливов, обеспечивающих наличие в почве воды, легко доступной для растений.

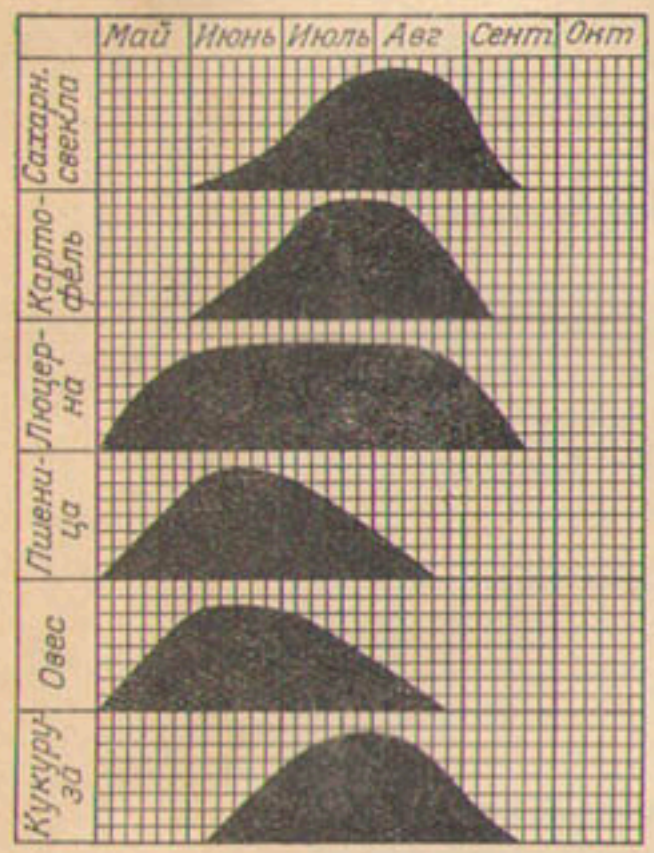


Рис. 157. Сезонное потребление воды разными культурами.

212. Стадии роста культур. Соответствующий контроль над состоянием почвенной влажности позволяет управлять режимом увлажнения посевов для некоторых особых целей при возделывании культур. Например, задержка полива после первого покоса люцерны в горных штатах США стимулирует урожай семян ко второму покосу при условии, если влажность почвы не понизится настолько, чтобы задержать рост люцерны.

213. Потребление воды различными культурами в течение сезона. Выбор той или иной культуры для ее возделывания может быть до некоторой степени сделан исходя из соображения о возможных сроках получения оросительной воды в течение сезона. В долинах, где не устроены водохранилища, в которых накопляется вода, наибольшее количество воды, которую можно использовать для поливов, имеется в самом начале вегетационного периода. От начала этого периода до начала июля реки питаются водой от таяния снега, накопившегося в горах; возможность получения воды в это время значительно больше, чем во второй половине лета. При этих условиях можно успешно возделывать люцерну, пшеницу и овес, так как каждая из этих культур потребляет значительное количество воды в мае и июне. Горох, предназначенный для консервирования, может созреть до того, как будет испытываться сокращение подачи оросительной воды.

Рост люцерны продолжается и в течение второй половины лета, если только имеется вода для поливов. Для сахарной свеклы, картофеля и кукурузы в начале периода вегетации требуется очень небольшое количество воды, но во вторую половину лета потребность этих культур в воде становится большей. Нет смысла возделывать сахарную свеклу и картофель, если нет уверенности в возможности достаточного снабжения их водой во второй половине лета. На рис. 157 показаны периоды, в течение которых наиболее важные культуры в Каш Валли (штат Юта) потребляют воду, а также и относительное количество ее.

214. Доступные запасы оросительной воды. Поливы, производимые в течение невегетационного периода, являются во многих местностях рентабельным способом накопления воды в почве для ее потребления растениями в будущем. В течение вегетационного сезона сельские хозяйства иногда производят обильные поливы после больших дождей, вызывающих повышение уровней воды в реках и ручьях, что обеспечивает получение для орошения в течение короткого времени весьма значительных объемов воды. Желательно устройство больших и малых водоемов на поверхности для накопления в них воды во время внезапных ливней или для сохранения воды от осадков, выпадающих в течение зимы и весны. Можно считать общим правилом, что вода, использованная для орошения в то время, когда растения в ней не нуждаются, израсходована менее полезно, чем при использовании воды в целях орошения в то время, когда в ней особенно нуждаются растения. В тех местностях, где строительство водохранилищ на поверхности нецелесообразно вследствие их большой стоимости и отсутствия благоприятных для этого природных условий, выгодно использовать почвогрунты как источник накопления и сохранения воды. Земельные площади, расположенные террасами, следует орошать с экономным расходованием воды. Особенно это относится к территории с маломощными почвами, подстилаемыми крупнозернистыми песками и гравием, если целью поливов является накопление воды только в капиллярной форме. В условиях некоторых районов полезно в невегетационный период подавать воду на поля в таком количестве, чтобы насытить гравелистую подпочву и заставить горизонт воды подняться почти до поверхности земли. Там, где подача насосами грунтовой воды на поверхность в течение поливного сезона нецелесообразна, чрезмерные поливы в невегетационный период могут причинить значительный вред, заболотить почву.

215. Осенние поливы. Потребность в осенних поливах земель, на которых выращиваются такие однолетние культуры, как колосовые, картофель, сахарная свекла, бобовые, горох, определяется

преимущественно количеством осадков. В некоторых местностях количество осадков осенью и весной достаточно для повышения влажности почвы после уборки урожая до величины полевой влагоемкости по всей высоте корнеобитаемого слоя. В этих районах орошение осенью не дает никаких выгод, за исключением лет, когда количество осадков незначительно. Но таких районов относительно немного, и их общая площадь сравнительно невелика. Во многих местностях количество осенних и зимних осадков недостаточно для полного увлажнения почвы. В большинстве таких районов в течение зимних месяцев вода стекает с поверхности земли в реки, бесполезно теряется. Осеннее орошение здесь является средством экономии воды и создания благоприятных условий для прорастания семян и появления ранних всходов в следующем сезоне.

Люцерна, возделываемая на хорошо дренированных почвах, может быть орошаема осенью; желательно также осеннее орошение фуражных культур на пастбищах — там, где при отсутствии орошения почва может сильно высохнуть. Орошая земли осенью, зимой и ранней весной, важно проявлять осторожность в отношении излишка воды, подаваемой на поля. Как указано в гл. 9, для каждой почвы существуют определенные пределы их влагоемкости. В штатах Скалистых гор некоторые сельские хозяева считают возможным, чтобы осенью вода текла по их полям в течение нескольких дней, а иногда и нескольких недель. Такая практика наносит вред как орошаемым землям, так и землям, лежащим ниже, к которым доходит избыток воды, просачивающейся через почву вышележащих земель.

216. Зимние поливы. В возвышенных местностях и в более холодных частях орошаемых районов зимние поливы имеют малое практическое значение, а иногда и совершенно не нужны. Промерзшая почва или совсем не поглощает воды, или поглощает ее крайне медленно; поэтому очень трудно достичь достаточного использования воды, подаваемой на поле. Кроме того, некоторым культурам зимнее орошение в холодном климате наносит вред.

В местностях с более теплым климатом зимнее орошение может применяться с выгодой как средство сохранения воды, которая иначе была бы потеряна. Для фуражных и пастбищных культур в течение зимних месяцев требуются обычно относительно небольшие количества воды. Орошение садов в течение периода покоя растений рассмотрено в гл. 16.

217. Поливы ранней весной. Земли некоторых засушливых районов нуждаются ранней весной в поливах, увлажняющих почву и обеспечивающих прорастание семян и ранние всходы

однолетних культур. В реках засушливых районов для весеннего орошения в высокогорных местностях, где избыточные воды рек накопляются в водохранилищах, имеется вода от осадков и таяния снега в количестве, достаточном для нужд раннего весеннего орошения. Еще не вполне осознано значение поливов ранней весной как средства накопления доступной воды в корнеобитаемом слое. Ирригаторов часто вводит в заблуждение то обстоятельство, что весенние дожди увлажняют почву на глубину 23—38 *см*. Некоторые ирригаторы считают поэтому почву уже достаточно увлажненной в то время, как в действительности под увлажненным слоем имеется слой от 0,9 до 1,5 *м* сухой почвы.

Применение почвенных буров, описанных в гл. 9, дает возможность определять потребность почв в ранневесенних поливах. Крайне желательно беречь воду, используя ее для орошения недостаточно увлажненных почв. Однако совершенно недопустимо орошать весной почвы, увлажненные уже до состояния полевой влагоемкости.

Ранний весенний полив полностью увлажненных почв с грунтовыми водами на небольшой глубине может оказаться не только бесполезным, но и вредным. При таких условиях выгоднее потерять воду, спуская ее в реки и ручьи, чем пользоваться водой для поливов.

Глава 14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ ПРИ ОРОШЕНИИ

При рассмотрении общего вопроса об использовании оросительной воды возникают частные вопросы о подаче потребителям, как поверхностных, так и грунтовых вод, а также вопросы управления оросительными предприятиями и их экономики. Пользование оросительной водой является часто важным объектом споров, разбираемых в суде, в связи с использованием речных систем для орошения в тех случаях, когда затронуты интересы населения отдельных районов, целых штатов и даже стран.

Важно добиться наиболее полного потребления оросительной воды растениями. В местностях с влажным климатом сельский хозяин, возделывая те или иные культуры, находится в зависимости от запасов доступной воды, накопленной в почве во время дождей. Урожаи культур часто снижаются вследствие недостатка воды в течение критических периодов развития растений. Тем более важно наиболее полное и целесообразное использование воды в засушливых и полузасушливых районах.

Быстрое распространение орошения в сельском хозяйстве США в течение первой половины XX в. возбудило среди населения большой интерес к изучению вопроса об общем расходовании оросительной воды. У пионеров орошения имелись ограниченные возможности для уяснения того, что происходит в конечном итоге с водой, которой они орошают свои поля. Для них было очевидно, что часть воды теряется при стоке с поверхности поля и что какая-то другая часть воды поглощается возделываемыми культурами. Но какое количество воды просачивается вглубь почвы, в горизонты ниже корнеобитаемого слоя, об этом приходилось только догадываться. Однако постепенное повышение уровня грунтовых вод и как следствие этого повышение дебита существовавших ручьев и возникновение новых, просачивание воды из почвы в русла рек — все это с полной очевидностью указывало на большие потери оросительной воды вследствие глубокой ее фильтрации.

В результате многолетнего опыта было также установлено, что для успешного возделывания орошаемых культур требуется воды значительно меньше, чем считалось прежде. Следствием этого явилась возможность расширить посевные площади при

целесообразном использовании на орошение вод данного источника без сколько-нибудь заметного увеличения их расхода. Водой, потреблявшейся прежде дикой растительностью и теряемой при испарении, стали затем пользоваться для поливов сельскохозяйственных культур. Однако увеличение площади орошаемых земель не могло продолжаться беспредельно, так как часть воды все же фактически потреблялась культурами на орошаемых землях.

218. Терминология и анализ. Выражением «расходование воды», специально применявшимся ранее в практике орошения, определялись сезонные потери воды в акрофутах на акре орошаемого поля. Среди первых опубликованных сообщений по вопросу о расходовании оросительной воды следует отметить доклад Комитета американского общества гражданских инженеров, составленный Гардингом, Израэльсеном и другими, озаглавленный «Общий расход воды при орошении».

Комитет предложил некоторые определения для количеств воды, потребляемой при орошении. Эти определения были выработаны применительно к воде, потребляемой в фермерских хозяйствах, оросительными предприятиями и в долинах. Были также пересмотрены прежние определения, относящиеся к использованию вод больших рек.

Отдел орошения Департамента земледелия США и Плановое управление национальных ресурсов (National Ressurces Planning Board) определяли «расход оросительной воды при потреблении» согласно следующему:

«Общий расход воды при ее потреблении для орошения есть сумма объема воды, потребленной растительностью на данной площади путем транспирации или на образование растительных волокон, и той воды, которая испаряется с поверхности окружающей почвы, снега или задержанных осадков на данной площади в течение любого выбранного времени.

Расход может быть выражен в акродюймах на акр (глубина слоя воды в дюймах) или в акрофутах на акр (глубина слоя воды в футах). Расход воды в течение 12 месяцев года обычно выражается в акрофутах на акр (или в футах). В общий расход воды, рассматриваемый с точки зрения жителей долин, следует включить потери воды вследствие транспирации и испарения на землях со всякой растительностью, как занятых сельскохозяйственными культурами, так и дикой растительностью, с добавлением испарения с поверхности обнаженной земли и с водных поверхностей».

Это определение было принято с незначительными изменениями Комитетом по орошению американского общества сельскохозяйственных инженеров.

219. Условия, влияющие на общий расход воды при орошении. На испарение и транспирацию влияют температура, практически применяемые способы поливов, продолжительность периода вегетации, количество осадков и другие факторы. Объем воды, транспирируемой растениями, частично зависит от ее количества, доступного для растений, а также от температуры и влажности воздуха, от ветра и интенсивности солнечного освещения, от стадии развития растений, их облиственности и характера листвы.

По объему затраченной оросительной воды не всегда можно судить о действительной потребности растений в воде, но все же знание количества воды, использованной для полива культур, позволяет подойти к определению величины требуемого общего ее расхода. На величину общего расхода могут влиять многие факторы, каждый отдельно или в комбинации с другими; их влияние не всегда постоянно, но может изменяться из года в год, а также в зависимости от места. Некоторые факторы можно группировать согласно следующему: 1) природные факторы; 2) физические (поскольку они относятся к характеру оборудования, сооружениям и к требуемым способам орошения); 3) системы управления оросительным хозяйством; 4) факторы экономического, правового и административного характера. Иногда на факторах последней группы отражается практика, базирующаяся на давно установленном порядке и навыках.

В число природных факторов входят: климат, источники воды, почва и топографические условия. Колебания температуры в разные годы вызывают обычно колебания количеств воды, потребляемой в те же годы; ненормально низкая температура задерживает развитие растений, а высокая служит причиной состояния покоя растений. Повышенная скорость ветра обычно увеличивает испарение, а повышенная влажность воздуха и облачность снижают его. Град может повреждать растения и тем снижать у них скорость транспирации.

Периодом вегетации часто считают время между последним морозом, способным повредить растения, и наступлением таких же морозов осенью. Но для однолетних растений период вегетации короче периода с отсутствием морозов, так как посев однолетних культур производят, когда морозы кончились, а созревают такие культуры еще задолго до морозов. У большинства многолетних культур рост начинается, когда температура воздуха значительно повысится над точкой замерзания и, не падая, продержится в течение достаточного времени.

В число физических факторов входят: главный канал, подводящий воду к хозяйству, трубопроводы для той же цели, деление площади хозяйства на участки, подходящие для орошения и возделывания на них сельскохозяйственных культур, все по-

стоянные канавы на площади хозяйства, подготовка каждого участка для поливов и способы поливов.

Размер общего годового потребления воды в хозяйстве зависит от системы управления последним, от формы землепользования. На потребление воды оказывают влияние и факторы экономического порядка. Названные факторы могут вызывать изменения в распределении возделываемых культур по участкам хозяйства и влиять на выбор способов орошения. Так, переход от возделывания хлопчатника к люцерне увеличивает транспирацию. Общее расходование воды дикой растительностью на полях, где не возделываются сельскохозяйственные культуры, относительно одинаково из года в год при условии достаточного поступления воды на поля, но в годы с большим количеством осадков значительно увеличивается испарение с водных поверхностей и с поверхности влажной почвы. На орошаемые поля в долинах оросительная вода обычно подается в изобилии, в результате чего увеличиваются потери ее и образуется сток, дающий возможность использовать воду для других целей помимо полива. Увеличивается в этом случае и испарение с полей под возделываемыми культурами. Болезни растений и вредители уменьшают потребление воды, задерживая развитие растений. Распространение сорняков может также уменьшить размеры орошаемых площадей, если только культуры не могут произрастать на полях вместе с сорняками. Косвенными результатами засоренности полей могут быть значительные изменения в распределении культур по площадям.

На расход воды могут сильно влиять размеры орошаемого хозяйства, так как в зависимости от большей или меньшей площади могут быть различные расположения пограничных и оросительных каналов, головных регуляторов, а также и различный состав культур в севооборотах.

В число важных экономических факторов входят такие, как стоимость воды, порядок оплаты за нее и допустимые потери воды. Если фермер оплачивает получаемую оросительную воду исходя из величины поливаемой площади, ему незачем экономить воду. Но если размер оплаты определяется количеством акрофутов или если хозяин поднимает воду насосом из своего колодца, то всякая экономия воды в течение года способствует уменьшению ее расходов.

220. Испарение воды из почв. Площади влажных почв с уровнем грунтовых вод близко от поверхности поля имеются во многих местностях. При таком положении горизонта грунтовых вод количество воды, испаряющееся из почвы, почти равно количеству, испаряющемуся со свободной поверхности воды. При горизонтах грунтовых вод, находящихся на большой глубине, испарение

из почвы уменьшается с глубиной, пока не достигнет нуля на горизонте, от которого ток воды уже не может достигнуть поверхности земли под действием силы капиллярного поднятия.

Слейт сделал сравнение между испарением с открытой поверхности воды и испарением из различных почв и материалов, имеющихся в руслах рек, причем положение уровня воды менялось.

При поливах способом затопления теряется много воды от испарения ее с поверхности почвы раньше, чем вода пройдет через корни, стебли и листья растений. Некоторые авторитеты, говоря о транспирации, имеют в виду испарение воды листьями растения; однако не вся вода испаряется с поверхности листвы вследствие транспирации. Вода, испаряющаяся с листьев после небольших дождей, а также с поверхности почвы, мало полезна, а может быть, и совсем бесполезна для развития растений. Вода, испаряющаяся непосредственно с поверхности почвы после полива, также теряется бесполезно. Поэтому такие потери должны быть сведены к минимуму..

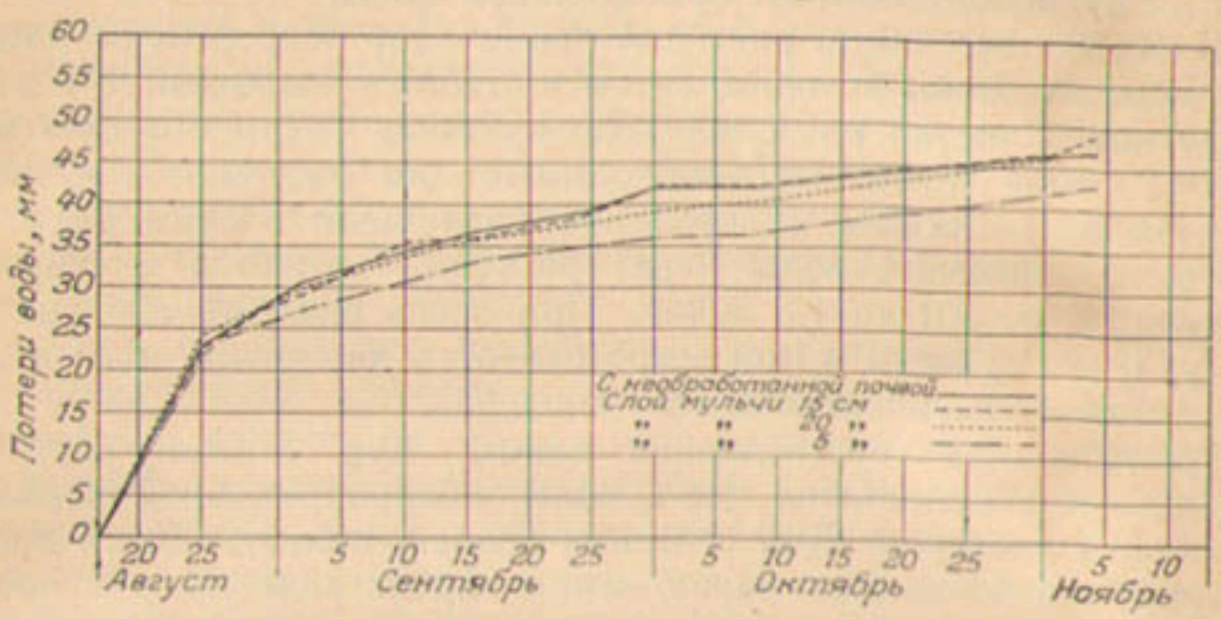
221. Уменьшение потерь от испарения во влажных и засушливых районах. Было проведено много опытов с целью выяснить влияние обработки почвы на испарение воды непосредственно из почв. Однако до сего времени по этому вопросу существует значительная разница в мнениях.

Старые работники в области орошения в США находили, что испарение может быть значительно уменьшено путем создания почвенной мульчи орудиями культивации. Давние представления о большой величине восходящих токов капиллярной воды и о том, что поверхностный слой взрыхленной сухой почвы поля задерживает эти токи, получили широкое распространение и общее признание.

В 1917 г. Колл и Сеуэлл указали, что в прошлом многие опыты, свидетельствующие о сохранении воды путем рыхления поверхностного слоя, были проведены или на участках с горизонтом грунтовых вод, близким к поверхности земли, или в лабораторных условиях, где опыты велись с почвой, насыщенной водой в самом начале опытов или находившейся в соприкосновении со свободной водой. Олуэй и Макдол провели опыты над движением воды в почве при условиях ее независимости от наличия свободной воды или от горизонта грунтовых вод и обнаружили относительно малые вертикальные восходящие токи. Вимейер подверг детальному изучению влияние рыхления почвы на потери от испарения воды из почв, не находящихся в соприкосновении со свободной водой. На рис. 158 показаны потери воды из почвы, помещенной в больших сосудах и обработанной

четырьмя различными способами. Кривые этого рисунка показывают, что потери воды из почвы, не подвергшейся рыхлению, и из почвы, взрыхленной на глубину 15 *см*, приблизительно одинаковы. При рыхлении на глубину 20 *см* отмечено небольшое уменьшение потерь, а при глубине рыхления 25 *см* уменьшение потерь продолжается в несколько большей степени.

Вимейер сделал вывод, что рыхление не влияет на потери воды путем испарения с открытых поверхностей почвы в сосудах и с поверхности делянок в поле.



Р и с. 158. Потери воды на испарение с открытой поверхности почвы в сосудах.

Шоу изучал в лабораторных условиях влияние почвенной мульчи и сделал следующее заключение: «Почвенная мульча может понизить потери почвенной влаги только в том случае, когда в ней постоянно находится вода на глубине от поверхности, допускающей подъем к воде по капиллярам».

Недавние исследовательские работы вызвали значительное сомнение в выгодах пользования почвенной мульчой как средством уменьшения потерь от испарения из почв, не обладающих чрезмерной влажностью или не находящихся в непосредственном соприкосновении с близко расположенным горизонтом грунтовых вод.

Широко распространенный взгляд о влиянии рыхления на величину непосредственных потерь влаги из почвы может быть ошибочным. Представляется рискованным обобщение этого взгляда ввиду большого числа переменных факторов, влияющих на потери от испарения. К числу таких факторов относятся разные расстояния от поверхности до источников свободной воды, начальная влажность ненасыщенных водой почв, разница в их механическом составе, структуре и водопроводимости.

222. Транспирация. Транспирацией называется процесс, посредством которого водяной пар удаляется из живых растений, преимущественно из листьев, и выходит в атмосферу. Часто транспирация является главной составляющей частью процесса, называемого эвапо-транспирацией, т. е. общего процесса испарения и собственно транспирации. Непосредственное испарение из влажной земли, с поверхности воды и дождевой воды, увлажнившей листву, составляет вторую часть эвапо-транспирации. Понимание процесса транспирации способствует более целесообразному использованию оросительной воды.

В период вегетации растений происходит непрерывное движение воды из почвы в корни, затем в стебли с выходом ее в атмосферу через листья растений. Движущаяся таким образом вода несет с собой вещества, необходимые для растений как пища, получая их из почвы и передавая различным частям растения. Скорость движения воды через растения меняется в широких пределах — от 0,3 до 1,8 *м/час*. При очень высокой температуре воздуха, его сухости и при ветре скорость движения воды в растении может быть значительно большей.

Транспирация существенно важна для жизни растений. Только очень небольшая часть воды, абсорбированной корнями, остается в растении. Для сельских хозяев, пользующихся оросительной водой, весьма важно иметь представление о скорости тока воды через растения и о количестве ее, ежегодно испаряющемся с поверхности листьев. Если величина испарения с листьев в течение короткого времени будет больше абсорбции воды корнями, то наступит увядание и развитие растения задержится. С другой стороны, если условия способствуют чрезмерной транспирации, причем растение не получает с водой достаточного количества пищевых веществ и не перерабатывает их быстро в пищу в листьях, то доступная растению вода оказывается неиспользованной эффективно. Рост растений не всегда пропорционален величине транспирации, и это обстоятельство весьма важно для сельского хозяйства засушливых районов.

Транспирация воды цитрусовыми, ореховыми и различными древесными породами, а также люцерной, хлопчатником и другими культурами была измерена некоторыми исследовательскими организациями США совместно с опытными сельскохозяйственными станциями нескольких штатов. При этом пользовались методом измерения влажности почвы. Пробы почв получали с выбранных делянок на глубине от 1,5 до 3 *м* под слоем почвенной мульчи и определяли количество влаги, извлеченной из каждого слоя почвы в 30 *см* в пределах корнеобитаемого слоя.

223. Коэффициент транспирации. Термин «коэффициент транспирации» следует понимать как отношение веса воды, погло-

щенной растением, прошедшей через него и вышедшей из него в атмосферу, к весу сухого вещества растения. Сухим веществом растения является его часть, остающаяся после того, как вся вода удалена из растения нагреванием. При определении веса сухого вещества обычно принято пользоваться только теми частями растения, которые подлежат уборке. Например, корни и ботва картофеля, ботва сахарной свеклы, корни зерновых и кормовых культур не принимаются в расчет при определении веса сухого вещества. Имеются, однако, исключения из этого общего правила. В некоторых случаях принимается сухой вес всего растения в целом — корней, стеблей, листьев, семян. Но если оговорки не сделано, то понимается, что для определения сухого веса пользуются только убираемой частью растения. Для возможности сравнения разных коэффициентов транспирации необходимо, чтобы было указано, как определен вес сухого вещества. Как правило, коэффициенты транспирации определяются путем использования для этих целей растений, выращенных в больших сосудах или цилиндрах, наполненных землей. При применении одной методики сосуды взвешиваются часто для определения количества воды, транспирированной растениями. При другой методике на определенной высоте в почве поддерживается уровень воды и количество транспирированной воды определяют, измеряя объем добавляемой воды, необходимой для поддержания уровня на постоянной высоте. Одни исследователи сконструировали специальную аппаратуру, предотвращающую потери воды от испарения. Другие определяли потери от испарения из сосудов с почвой различными способами и, вычитая эти потери из общей величины потерь воды, получали количества воды, транспирированной растениями. Все исследователи, пользовавшиеся сосудами, стремились устранить потери от глубокого просачивания воды в почву. Величина транспирации находится в пределах от величины меньше 200 до величины больше 1000 веса воды, прошедшей через растения, на каждую единицу веса сухого вещества.

224. Методы определения величины общего потребления воды растениями. Были предложены различные методы для определения общего расхода воды, потребляемой сельскохозяйственными культурами и дикой растительностью. Независимо от того или иного метода, применяемого для этой цели, при проведении такой работы возникает много задач. Выбор метода обусловлен родом источника воды, поглощаемой растениями. Такими источниками могут быть: вода осадков, оросительная вода + вода осадков, почвенная вода + вода осадков. Применяются следующие основные методы: опытный метод с использованием сосудов и лизиметров, метод изучения влажности почвы, метод анализа

климатологических данных, суммарный метод и метод притока и стока для больших площадей.

Эти шесть методов определения общего потребления воды растениями описаны в следующих пунктах, а в таблицах приведены типичные результаты, полученные при применении каждого метода.

225. Опыты с применением сосудов и лизиметров. Надежность определения этим методом общего потребления воды растениями зависит от возможности воспроизведения в лабораторной обстановке условий, в достаточной степени подобных природным условиям. Искусственные условия создаются применением сосудов небольшого размера, ограниченных количеств почвы, регулированием количества воды и др.

Сосуды должны быть установлены в окружении тех же растений, что и в поле, т. е. культура в сосуде должна находиться в природных условиях и, следовательно, общее количество расходуемой для роста культуры воды в сосуде будет, предположительно, таким же, что и для роста тех же растений вне сосуда. Было установлено, что растения в сосудах должны быть защищены от непогоды такими же растениями вокруг сосуда.

Взвешивание является средством точного определения величины общего расхода воды, проходящей через сосуд. Однако условия проведения опытов не всегда дают возможность взвешивания сосудов. Почвенные сосуды, оборудованные резервуарами системы Мариотта с запасом воды, позволяют производить с успехом измерение эвапо-транспирации при разных положениях искусственно созданных горизонтов грунтовых вод. Наилучшими измерительными аппаратами считаются «двойные» почвенные сосуды с кольцевым пространством между наружными и внутренними стенками.

В системе Мариотта вода подается в количествах, позволяющих поддерживать определенную высоту уровня в кольцевом пространстве сосуда. Количество воды, извлеченной из сосуда, определяется разностью уровней воды в трубке сосуда за известный период (дни, недели). Достоинство прибора системы Мариотта заключается в автоматичности действия и в возможности легко периодически измерять количество израсходованной воды.

В таблицах 16 и 17 приведены результаты опытов Блани и Израэльсена, определявших общее количество воды, затрачиваемое на возделывание пшеницы, картофеля и хлопчатника в штатах Колорадо и Нью Мексико.

В табл. 18 показаны некоторые результаты опытов Криддла и Марра в штате Айдахо.

Таблица 16

Общее потребление воды пшеницей и картофелем в лизиметрах, по данным опытной станции Райт в штате Колорадо в 1936 г.

Номер лизиметра	Культура	Потребление воды, *мм*				
		июнь	июль	август	сентябрь	всего
1	Пшеница * . . .	87	168	113	—	368
2	Пшеница	92	170	91	—	353
3	Картофель ** . .	18	201	144	37 ***	400
4	Картофель . . .	43	163	133	42 ***	381

* Уровень грунтовых вод на глубине от 60 до 135 *см*. Убрана 1 сентября.
** Уровень грунтовых вод на глубине от 50 до 137 *см*. Убран 15 сентября.
*** С 1 по 15 сентября.

Таблица 17

Общее потребление воды хлопчатником в лизиметрах по данным опытов в колледже штата Нью-Мексико в 1936 г.

Период	Число дней	Потребление воды в разные периоды, *мм* *				Осадки, *мм*
		западный лизиметр	восточный лизиметр	в среднем		
				за период	в течение 30 дней	
С 6 июня по 5 июля	19	79	150	114,5	183	3,5
С 5 июля по 8 августа	34	219	197	208	191	39
С 8 августа по 5 сентября . .	28	165	168	166,5	179	34
С 5 сентября по 7 ноября . . .	63	195	285	240	115	63
Всего . . .	144	658	800	728	—	139,5

*) Включая осадки. Грунтовая вода отсутствует.

Таблица 18

Сводка среднего годового потребления воды пшеницей и люцерной, выращенной в лизиметрах при высоком положении уровня грунтовых вод

Период опытов, лет	Число сосудов	Тип почвы	Уровень грунтовой воды, *см*	Общее потребление воды, *см*	Урожай, *ц/га* *
Пшеница					
8	3	Минеральная	38— 53	56	25,5
11	3	Минеральная	68— 84	37	29,0
6	3	Минеральная	99—115	34	31,0
9	5	Органическая	38— 53	52	84,0
11	5	Органическая	68— 84	36	29,7
4	5	Органическая	99—115	43	26,1
Люцерна					
1	2	Минеральная	38— 53	69	4,1
4	2	Минеральная	53— 68	77	81
5	2	Минеральная	99—115	73	87
3	4	Органическая	38— 53	98	71
7	4	Органическая	53— 68	80	66
10	4	Органическая	99—115	67	78

* Урожайность в лизиметрах обычно выше, чем в поле, особенно люцерны.

226. Опыты на делянках в поле. Результаты опытов, проводимых при помощи сосудов и лизиметров с некоторыми культурами, не всегда находятся в соответствии с природными почвенными условиями, так как почву можно обрабатывать и подготовлять к посеву различными способами. Более надежно определение общего потребления воды методом изучения влажности почвы в полевых условиях на делянках.

Раньше измерения общего потребления воды культурами производились в поле на выбранных делянках, где горизонты грунтовых вод находились на значительной глубине *. Методика работы заключалась в измерении объема воды, поданной на делянку при каждом поливе, и величины наблюдавшегося стока. Во избежание глубокого просачивания воды ниже корнеобитаемого слоя было необходимо производить напуски небольших количеств воды — слоя не более 12,5 *см* за один полив на обычных почвах. Тем не менее в некоторых опытах все же наблюдалось глубокое просачивание. В большинстве полевых опытов

* Нецелесообразно изменять количество воды, абсорбированной растениями, при высоком горизонте грунтовых вод.

сток или тщательно измерялся или был сведен к нулю соответствующей обработкой делянки. В ранних опытах не производили точных измерений изменения влажности почвы.

Уидсу с 1902 г. начал проводить измерения общего количества потребляемой растениями воды, пользуясь для этого делянками в поле. Его работы велись на участке с грунтовыми водами на глубине 22,5 *м*. Поэтому с достаточным основанием можно было заключить, что растения не абсорбировали грунтовой воды и что источниками всей воды, потребляемой растениями, были дождевые осадки, капиллярная вода почвы и подаваемая на делянки оросительная вода. В опытах Уидсу отсутствовал сток с опытных делянок и не измерялись потери от глубокого просачивания воды в почву, так как такие потери считались ничтожными. Уидсу измерял воду, поступившую из указанных выше источников, в течение 10 лет — с 1902 по 1911 г. включительно, проведя опыты с 14 культурами. Количество дождевой воды за сезон выражалось величиной от 13 до 150 *см*, а количество капиллярной воды, получаемой из верхнего слоя почвогрунтов в 2,4 *м*, было 3 *см* для кукурузы и 25 *см* для люцерны. На делянки поступало от 13 до 150 *см* оросительной воды. Урожаи на протяжении указанных лет сильно колебались. Уидсу построил кривые, выражавшие связь между величиной урожаев и общим потреблением воды; для суждения о величине общего количества расходуемой воды было выбрано несколько наиболее высоких урожаев. Почти для всех культур наблюдалось быстрое повышение урожая до некоторого предела при увеличении общего расхода воды; при дальнейшем же увеличении количества воды замечалось или уменьшение урожая на делянках или весьма медленное возрастание. Соответствующий перелом кривой считался указателем величины требуемого общего расхода воды.

Работа Уидсу свидетельствует о важности применения метода определения урожайности в целях установления величины общего потребления воды растениями. Важно иметь в виду, что потери от глубокого просачивания воды на делянках, где проводил опыты Уидсу, способствовали принятию больших величин для общего расхода воды, чем это могло быть в действительности. Поэтому указанные в табл. 18 цифры, вероятно, скорее завышены, а не понижены.

Снельсон, работавший на делянках в Канаде, производил поливы умеренными количествами воды и тщательно измерял влажность почвы до глубины 1,8 *м* в начале и в конце вегетационного периода. Потери от просачивания, установленные его методом, были, вероятно, весьма низкими, а возможно, и равнялись нулю. Если допустить последнее, то опыты Снельсона с пшеницей на более плодородных почвах показали общий расход

воды от 2600 до 5500 *м*³/*га* при колебаниях урожайности от 6,8 до 34 *ц*/*га*. При возделывании на делянках овса с более плодородными почвами общее потребление воды (в пересчете на 1 *га*) было в пределах от 2200 до 5200 *м*³/*га*, а урожайность колебалась в пределах от 27 *ц* до 92 *ц*/*га*. Общее потребление воды ячменем выражалось величинами от 3750 до 4800 *м*³/*га* при урожайности от 27 до 35 *ц*/*га*; для люцерны общий расход воды был 3000—7900 *м*³/*га* и получен урожай 2,5—14,25 *т* с 1 *га*.

Пауэрс выполнил много измерений общего потребления воды в штате Орегон. При умеренных поливах люцерны он определил общее потребление воды в 4200—6000 *м*³/*га* при урожае 10—13 *т*/*га*. Потребление воды клевером было приблизительно то же, что и для люцерны. Определение влажности производилось до глубины 1,8 *м*, но большая часть проб, полученных бурением, указывала на просачивание воды на глубину только 1,20 *м*. Поэтому в более поздних опытах бурение производилось только до этой глубины, за исключением нескольких случаев особенно обильных поливов.

Гаррис и другие исследователи также определяли количество воды, поданной на делянки, но, повидимому, в некоторых случаях имели место потери от просачивания ее на большую глубину.

227. Изучение влажности почвы. Величина общего потребления воды различными культурами была установлена путем тщательного изучения влажности почвы. Такой метод обычно применим для площадей с достаточно однородной почвой и при уровне грунтовых вод, не вызывающем колебаний влажности в корнеобитаемом слое. Пробы почвы были получены бурением до или после поливов, а некоторые пробы были взяты в промежутках между поливами из каждого фута корнеобитаемого слоя. Обычно следует брать побольше проб. Работа значительно ускоряется при пользовании пневматическим молотом для вбивания в почву трубчатого бура и домкратом для его извлечения. В средних почвенных условиях, когда пробы берутся с глубины не более 2,1 *м*, почвенный бур нетрудно вогнать в землю и ручным молотом.

Для определения влажности проб почвы пользуются обычной лабораторной методикой. Пробы взвешивают и высушивают в электрической печи при 110°, после чего определяется сухой вес. Влажность пробы выражается в процентах от сухого веса почвы. Затем, пользуясь формулой (35) из главы 9 и исходя из полученной влажности, вычисляют количество воды, удаленной из почвы.

Количество воды, извлеченной из почвы, вычисляется для каждого периода наблюдений и затем приводится к эквивалент-

ным потерям в сантиметрах для периода в 30 дней. Эти потери в течение 30 дней можно нанести на бумагу точками и таким образом построить кривую потребления воды в течение всего сезона. Таким методом пользовались Бекет и Блани в Южной Калифорнии в 1925 г. при определении количеств транспирируемой воды цитрусовыми деревьями и авокадо. Позже этот метод применялся для определения общего потребления воды люцерной и другими культурами. В табл. 19 приведены результаты применения этого метода.

Таблица 19

Общее потребление воды орошаемыми культурами по данным исследований влажности почвы в штатах Аризона, Калифорния и Небраска

Месяц	Потребление воды за месяц и сезон, *мм*				
	люцерна [1]	свекла [2]	хлопчатник [3]	персиковые деревья [4]	картофель [5]
Апрель	84	—	28	25	—
Май	170	47	50	86	—
Июнь	137	84	104	170	18 [6]
Июль	183	132	147	213	86
Август	107	174	218	162	147
Сентябрь	142	147	170	79	112
Октябрь	112	28 [7]	68	35	—
Всего	935	612	785	770	373

[1] 1940 г.
[2] 1932—1935 гг.
[3] 1936 г.
[4] 1928 г.
[5] 1932—1935 гг.
[6] (20—30 июня) включит.
[7] 1—15 окт. включит.

Колебания горизонта грунтовых вод являются основой для определения величины общего потребления воды растениями. Потери от эвапо-транспирации обнаруживаются при ежедневных измерениях поднятия и опускания горизонта грунтовых вод в колодцах, оборудованных приборами, регистрирующими положение уровня. Этот метод применяли при геологических исследованиях в штатах Аризона, Юта и в других местах при наличии благоприятных условий; но такой метод, вообще говоря, не

подходит для определения потребления воды сельскохозяйственными культурами.

228. Анализ климатологических данных. Были выработаны формулы для определения общего водопотребления, основанные на климатических факторах. Применение таких формул дает удовлетворительные результаты. Инженеры-ирригаторы использовали температурные данные для установления величин ежегодного общего потребления воды в долинах. Гедке разработал эффективный метод, основанный на измерении тепла. При пользовании этим методом общий расход воды определяется изучением количества тепловых единиц, которое может быть получено культурами, возделываемыми в данной долине. Сделано допущение, что между количеством расходованной воды и количеством получаемого тепла существует линейная зависимость. По этому вопросу с 1937 по 1940 г. проводились исследования сотрудниками Бюро мелиорации США Лаури и Джонсоном, предложившими подобный метод, принятый затем для широкого использования при определении общего потребления воды растениями. Этот метод также основан на допущении прямой линейной зависимости между величиной водопотребления и максимальной температурой (выше 32° Ф), достигаемой ежедневно в вегетационный период.

Несколькими научно-исследовательскими организациями США было найдено, что для установления величины общего водопотребления можно использовать данные об испарении, средней месячной температуре, влажности воздуха, о суммарной продолжительности дневного освещения за месяц (процент дневных часов от общего количества часов за месяц), о продолжительности периода вегетации, об осадках за месяц и количестве оросительной воды. Исходя из результатов своей исследовательской работы, Блани и Морин выработали эмпирические формулы для определения величины испарения в течение года со свободной поверхности воды и для определения общего потребления воды растительностью, питаемой грунтовыми водами. Этот метод применим для районов с большими ресурсами воды, обеспечивающими возможность транспирации и испарения. Блани и Криддл видоизменили указанные формулы, исключив из них фактор влажности воздуха. Их работа была расширена в направлении изучения потребления культурами оросительной воды.

Умножая среднюю месячную температуру t на процент p от общего количества дневных часов за год, получаем фактор f месячного общего потребления воды.

Имеем зависимость

$$U = KF = \text{сумме } kf, \tag{51}$$

где: U — общее потребление воды культурой, выраженное в дюймах для данного периода;

F — сумма факторов месячного потребления воды за данный период (сумма произведений среднемесячных температур и процентов (за месяц) от числа часов дневного света в году $\left(\frac{t \cdot p}{100}\right)$

K — опытный коэффициент (относящийся к году, к поливному периоду или к вегетационному периоду);

t — среднемесячная температура в градусах;

p — процент световых часов за месяц к общему количеству часов света в году;

$U = kf$ — общее потребление воды за месяц в дюймах;

f — коэффициент общего месячного потребления воды $\left(\frac{t \cdot p}{100}\right)$;

k — месячный коэффициент $= \frac{U}{f}$.

Если известно общее месячное потребление воды данной культурой в данной местности, то можно определить потребление воды той же культурой в другой местности, использовав формулу $U = KF$.

Этот метод применялся для определения общего месячного потребления воды люцерной в Калифорнии. В табл. 20 приведены данные, относящиеся к пользованию этим методом. Путем измерения величины U и температуры t в долине Сан-Фернандо (Калифорния) были выведены месячные коэффициенты k.

Таблица 20

Нормальное общее потребление воды люцерной в долине В. Салинас в Калифорнии

Месяцы	Средняя месячная температура °Ф	Продолжительность дневного освещения P	Показатель общего потребления воды f	Коэффициент K	Общее потребление воды, дюймы
Апрель	57,9	8,85	5,12	0,60	3,07
Май	62,5	9,82	6,14	0,70	4,30
Июнь	65,7	9,84	6,46	0,80	5,17
Июль	68,4	10,00	6,84	0,85	5,81
Август	67,8	9,41	6,38	0,85	5,42
Сентябрь . . .	66,6	8,36	5,57	0,85	4,73
Октябрь . . .	62,2	7,84	4,88	0,70	3,42
Общее потребление воды в течение сезона					31,92

229. Суммарный метод. Суммарный метод определения величины общего потребления воды растениями заключается в суммировании произведений: 1) удельного потребления воды данной культурой, умноженного на занимаемую ею площадь; 2) удельного потребления воды местной дикой растительностью, умноженной на занимаемую ею площадь; 3) величины испарения с поверхности воды, умноженной на площадь испарения, и 4) величины испарения с обнаженной поверхности почвы, умноженной на соответствующую площадь. Для успешного применения такого метода необходимо знать удельную величину общего потребления воды растениями и общие площади, занятые различными сельскохозяйственными культурами, дикой местной растительностью, а также площади водных поверхностей. Удельные величины общего потребления воды культурами могут быть получены при использовании одного из методов, описанных выше. Площади под разной дикой растительностью, площади обнаженной поверхности почвы и водные поверхности могут быть определены при помощи аэрофотосъемки и топографической полевой съемки.

230. Метод измерения притока и оттока воды. При применении этого метода общее потребление воды растениями в данной равнинной местности U равно количеству воды I, притекающему в долину за год + величина годовых осадков P в долине + количество воды в почве G_s в начале года — количество воды в почве G_e в конце года — годовой сток воды R. Все объемы измеряются в миллиметрах. Тогда

$$U = (I + P) + (G_s - G_e) - R. \tag{52}$$

Разность между количествами капиллярной воды в начале и конце года считается незначительной. Принято, что все замеры потока делаются по скалистому дну и что приток грунтовых вод и отток их одинаковы. Количество $(G_s - G_e)$ рассматривается как единица, вследствие чего не нужно измерять абсолютные значения G_s и G_e, но требуется только знать их разность. Эта разность является произведением разности между отметками среднего уровня грунтовых вод в январе одного года и среднего его уровня в январе следующего года (в метрах), умноженной на коэффициент пористости почвы * и площадь поля в долине. Количество воды от годовых осадков P получается умножением средней величины годовых осадков на площадь долины в соот-

* Этот коэффициент пористости определяется как общий объем пор в почве за вычетом влаги, содержащейся в почве при состоянии полевой влагоемкости; обе величины выражаются в процентах от общего объема почвы.

ветствующих единицах измерения. Удельное потребление воды всей площади долины может быть получено делением объема общего потребления воды на данную площадь.

231. Суммарное потребление воды местной природной растительностью. Вода, потребляемая природной растительностью, не может быть использована для других целей. Потребление воды природной растительностью в связи с расширением орошения в долинах становится серьезным вопросом. Много воды потребляет такая естественная растительность, как ивняк, поросли тополя, тамариск и камыш, образующие заросли на влажных местах берегов рек и ручьев. Планируя новые оросительные системы, всегда следует иметь в виду разницу между потреблением воды природной растительностью и сельскохозяйственными культурами, которые займут место дикой растительности в дальнейшем.

Весьма характерно отношение групп природной растительности к снабжению их водой. Развитие отдельных видов растений определяется преимущественно окружающими их условиями, развитие и распределение групп природной растительности зависят от наличия в данном месте доступной для них воды. Растения любого вида стремятся обеспечить себе наилучшие условия для своего развития и распространения. Температура, влажность почвы, химические и физические их свойства являются факторами, обусловливающими распределение местной природной растительности. Количество воды, потребляемое такой растительностью, и влияние такой растительности на источники оросительной воды представляют большой интерес для инженеров-ирригаторов и гидрологов.

Общее потребление воды природной растительностью в местностях с высоким уровнем грунтовых вод определяется посредством сосудов и лизиметров. Удельными величинами, измеренными таким методом, пользуются для вычисления общего потребления воды с применением ранее описанного суммарного метода.

Исследования общего потребления воды природной растительностью показывают, что дикая растительность потребляет на 50—100% больше воды, чем большинство сельскохозяйственных культур. Камыш и рогоз, разрастающиеся вдоль оросительных каналов и дренажных канав узкими полосами, облучаемыми солнцем и обвеваемыми ветром, потребляют большие количества воды. Понятно, что природная растительность на протяжении одной мили вдоль канала может израсходовать количество воды, достаточное для орошения 8—10 акров люцерны и еще большей площади под другими культурами или садами.

Глава 15

ОРОШЕНИЕ ЗЕРНОВЫХ, КОРМОВЫХ КУЛЬТУР И КОРНЕПЛОДОВ

Тот или иной способ орошения определяется преимущественно тремя основными условиями: климатом местности, типом обрабатываемой почвы и возделываемыми культурами. Топографические и почвенные условия местности влияют на количество воды, подаваемой на поле за один полив, на выбор длины и ширины поля, орошаемого за один полив данным количеством воды, на периодичность поливов. На те же факторы оказывает влияние и выбор возделываемой культуры. Способы орошения — затоплением, поливы по глубоким или мелким бороздам, дождевание — зависят от типа почвы, топографических условий поля и вида возделываемой культуры.

Пшеница, овес, ячмень, рожь и кукуруза — главные зерновые злаки — возделываются и в условиях сухого земледелия, и на орошаемых площадях.

232. Орошение зерновых культур. Орошение зерновых культур производят затоплением всей площади, напуском воды по полосам, по мелким и глубоким бороздам. При наличии почв с большой водопроницаемостью применяются способы полива по площадкам или бассейнам.

Зерновые культуры в редких случаях возделываются из года в год на одних и тех же орошаемых площадях, но входят в тот или иной севооборот. На новых спроектированных и построенных оросительных системах зерновые культуры иногда являются основными возделываемыми культурами. Однако опытом доказана целесообразность возделывания кормовых и других культур после того, как новые земли будут к этому соответственно подготовлены. На выбор способа орошения зерновых культур влияет способ, выбранный для орошения других культур в севообороте. Так, если люцерна орошается напуском воды по полосам, то тем же способом орошаются и зерновые культуры. При обычном орошении люцерны посредством мелких борозд зерновые культуры могут орошаться тем же способом.

В случае обилия воды, особенно в самом начале периода вегетации, при поливе зерновых культур преобладает способ обычного сплошного затопления площади. При ограниченных

ресурсах воды или ее высокой стоимости пользуются поливом по мелким бороздам или по полосам.

В штатах, расположенных между Тихим океаном и Скалистыми горами, с мощными суглинистыми почвами, созревание зерновых культур может быть ускорено поливами в течение мая и июня, месяцев наибольшего подъема воды в реках. На маломощных почвах с малым запасом почвенной доступной воды орошение зерновых культур и в июле приносит пользу.

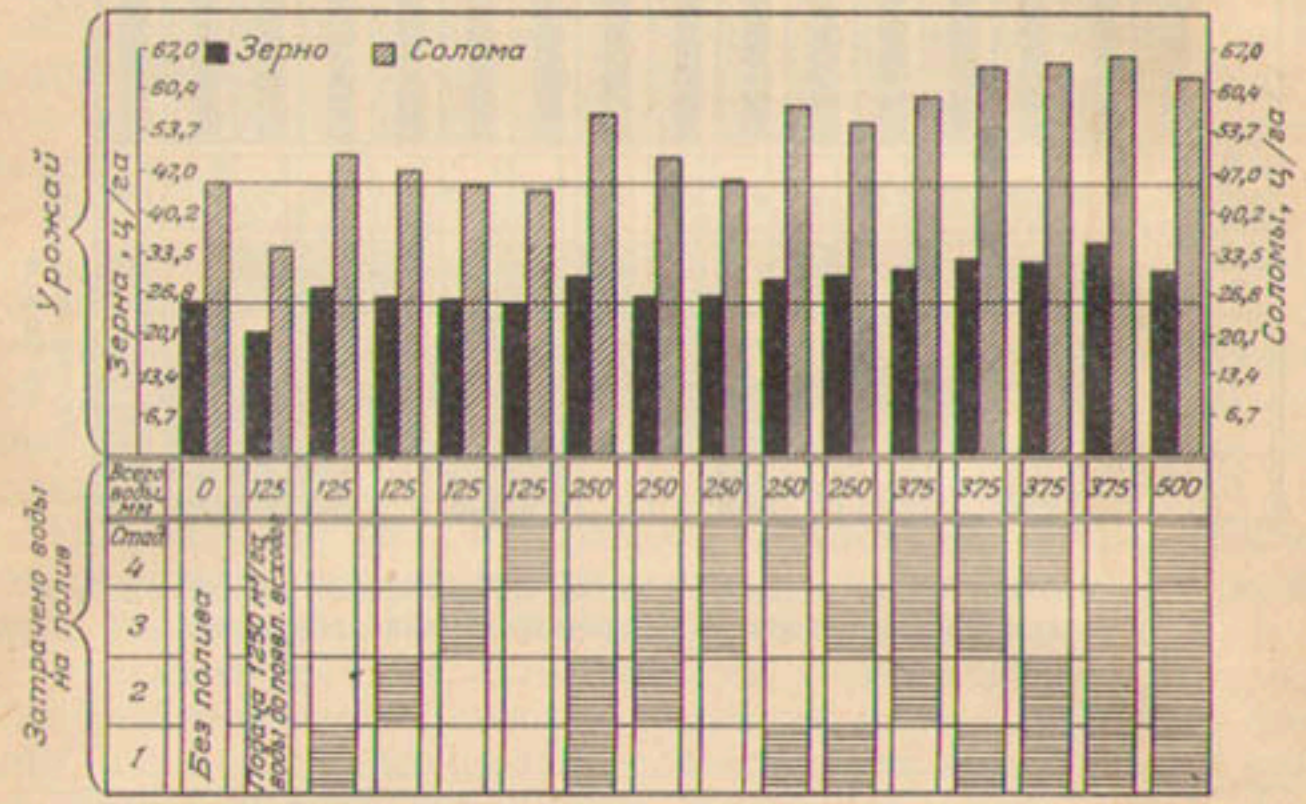


Рис. 159. Урожаи пшеницы, зерна и соломы на делянках, поливавшихся разными нормами воды в различных фазах вегетации.

Опытами сельскохозяйственной станции штата Юта показана выгодность полива зерновых культур на разных стадиях их роста. Гаррис производил поливы делянок с пшеницей непосредственно после посева и на четырех фазах развития, а именно:

а) по развитии молодых листьев и при высоте растений 15—20 *см*;

б) в ранней стадии перед появлением первых колосьев;

в) когда цветет большая часть растений;

г) при состоянии восковой зрелости для большей части растений.

Почва на участке опытной станции — мощный суглинок сравнительно однородного механического состава, хорошо удерживающий влагу и высокоплодородный при хорошей его обработке. Графиком на рис. 159 показаны результаты посевов в течение четырех лет. В нижней половине графика заштрихованы площади, показывающие фазы, на которых производились поливы,

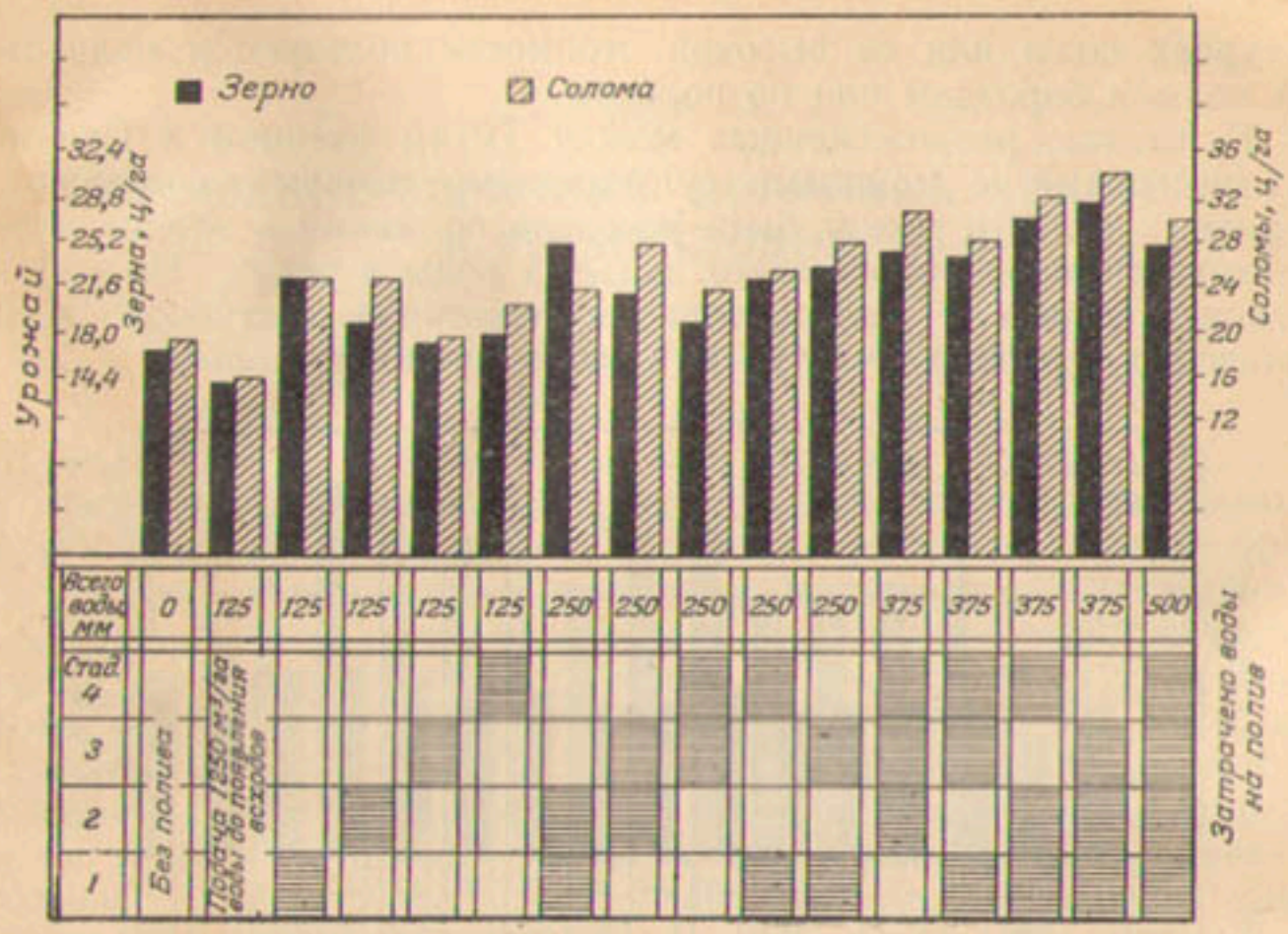


Рис. 160. Урожаи овса, зерна и соломы на деляпках, поливавшихся разными нормами воды в различных фазах вегетации.

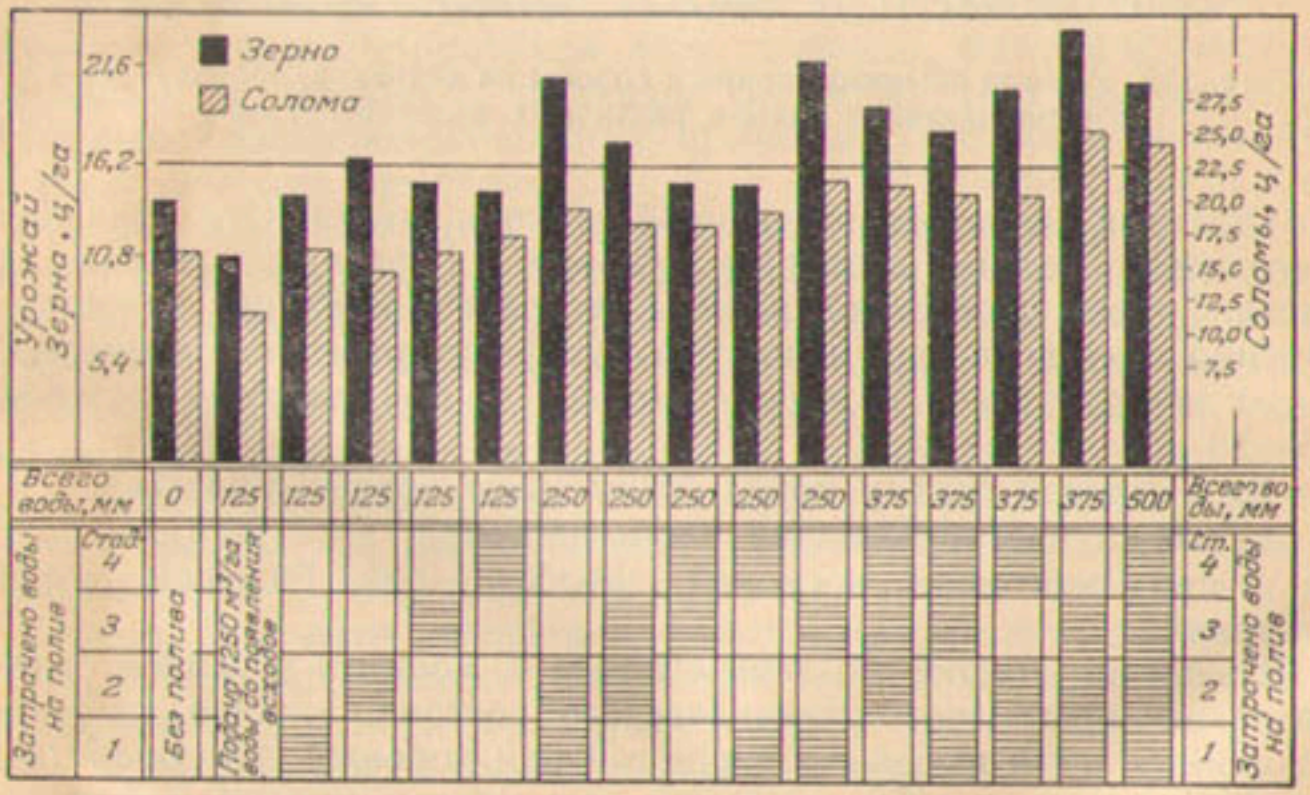


Рис. 161. Урожаи ячменя, зерна и соломы на деляпках, поливавшихся разными нормами воды в различных фазах вегетации.

в верхней части графика черные столбики дают представление об урожае зерна, а заштрихованные — о количестве собранной соломы. Цифры, расположенные слева направо, обозначают общие количества оросительной воды, затраченной на поливы культуры. С делянки, не подвергавшейся поливу, было получено около 25 *ц/га* зерна за счет влаги, накопившейся в почве при таянии снега, и дождей в период вегетации. Среднее количество годовых осадков за четыре года было 445 *мм*. Затем эта делянка была полита 12,5 *см* слоем воды еще до появления всходов. Однако с этой делянки было собрано зерна меньше, чем с любой другой делянки, получившей 12,5 *см* воды в каждый из четырех сроков поливов и даже меньше, чем с делянки, не подвергавшейся поливу.

При рассмотрении графика становится очевидной выгодность поливов в ранних фазах развития культуры при расходовании общего слоя воды в 12,5; 25 и 38 *см* за сезон. Следует также отметить, что при общей затрате воды за вегетационный период 38 *см*, израсходованной в трех фазах, урожай пшеницы был получен больший, чем при четырех сроках полива с общим расходом слоя воды в 50 *см* — по 12,5 *см* за каждый полив.

Графиком на рис. 160 иллюстрируются результаты трехлетней исследовательской работы станции штата Юта при поливах овса, подтверждающие важность ранних поливов.

В течение трех лет, с 1919 по 1921 г. включительно, Гаррис и Питтман производили опыты с поливами ячменя по той же методике, как и для пшеницы и овса. Результаты этих опытов с ячменем показаны графиком на рис. 161.

После нескольких лет изучения возделывания зерновых злаков на сельскохозяйственной опытной станции штата Айдахо Эйкер сделал заключение, что установление твердых правил в отношении орошения любых культур и непрактично, и может вводить в заблуждение. Сезонные условия меняются, и в связи с этим значительно изменяются сроки поливов культур. Сельских хозяев часто могут вводить в заблуждение летние дожди, если только количество выпавшей воды не превосходит 12,5 *мм*. В южной части штата Айдахо средняя величина осадков в течение периода вегетации 108 *мм*; поэтому было бы ошибкой придавать здесь особое значение дождю средней интенсивности. Влажность самого верхнего слоя почвы оказывает малое влияние на урожай. Если только почва не обладает достаточной влажностью на значительной глубине, то поливы ее следует производить независимо от некоторого увеличения ее влажности благодаря небольшим дождям.

233. Потребность зерновых злаков в воде. Данные на рис. 161 показывают, что расход воды в 37,5 *см* за сезон, использованной

за первые три полива на мощных, удерживающих влагу почвах, по 12,5 *см* при каждом поливе, обеспечивал больший урожай, чем затрата 50 *см* воды в течение четырех поливов по 12,5 *см*.

На основании опытов с поливами яровой пшеницы, возделываемой на глинисто-суглинистой почве средней мощности, опытной станцией в штате Айдахо было сделано заключение, что общее количество воды 37,5 *см* достаточно для поливов яровой пшеницы, а 20 *см* — для поливов озимой пшеницы. Среднее годовое количество осадков в районе названной станции в течение периода производства опытов равнялось 234 *мм*. Из этого количества 74 *мм* приходилось на вегетационный период с 1 апреля по 31 августа.

В штате Невада наибольший урожай пшеницы был получен при общем расходе воды в 70 *см*. Почвы опытной станции разнообразны — от легких суглинков до тяжелых суглинков при средней их мощности в 1,2 *м* с подстилающими крупным песком и гравием. Среднее годовое количество осадков в виде дождя за 5 лет было менее 200 *мм*, а в вегетационный период атмосферные осадки были ничтожно малы.

Марр изучал в штате Аризона потребность в воде пшеницы, определяя количество воды, затрачиваемой 15 хозяйствами при обычных условиях возделывания культур. Почва 7 хозяйств относилась к типу легких суглинков, 1 — к суглинкам и 7 хозяйств — к тяжелым суглинкам. Годовые осадки были незначительны. За время наблюдений осадков выпало в пределах от 114 до 230 *мм*. Марр сделал заключение, что 425—550 *мм* воды можно считать достаточным для созревания пшеницы и подобных культур в долине Солт-Ривер, где им производились наблюдения.

В долине Месилла (штат Нью Мексико) среднегодовое количество осадков 200—225 *мм*, из них в среднем 145 *мм* приходится на летние месяцы. Летом преобладают небольшие дожди с осадками 7—8 *мм* в течение 24 часов. Большая часть дождевой воды быстро испаряется, и поэтому глубина проникновения этой воды в почву невелика. Влияние атмосферных осадков как источника оросительной воды в вегетационный период ничтожно. Блодгуд и Карри провели работу по изучению потребления оросительной воды в количестве от 175 до 625 *мм* при возделывании пшеницы 28 фермерскими хозяйствами. Исследователи сделали заключение, что на участках, получивших около 475 *мм* воды за сезон и расходовавших ее приблизительно по 100 *мм* при каждом поливе на протяжении 150 дней, были собраны наиболее высокие урожаи.

Фортье и Йонг тщательно изучали потребность в орошении и установили количество требуемой оросительной воды для засушливых и полузасушливых земель Юго-Запада США. Они

пришли к заключению, что наименьшее количество воды, необходимой для возделывания пшеницы в указанных районах, выражается в среднем 440 *мм* как минимум и 675 *мм* как максимум. В указанные количества воды исследователи включили воду оросительную, накопленную в почве, и воду от дождей, выпавших в течение сезона возделывания.

Количество воды, потребной для возделывания овса, намного разнится от потребности в воде пшеницы. Гаррис и Питтман нашли, что, расходуя только 375 *мм* оросительной воды на поливы в должные сроки, можно получить превосходные урожаи овса. Уэлш рекомендует подавать 525 *мм* воды как количество, потребное для возделывания овса. Бекетт и Хоберти сообщают, что в долине реки Сакраменто штата Калифорния в годы со средним и высоким количеством дождевых осадков можно получать хорошие урожаи овса, не пользуясь орошением, в годы же с малым количеством осадков два полива в течение сезона обеспечивают повышенные урожаи овса. При благоприятных почвенных условиях в штатах, расположенных между Скалистыми горами и Тихим океаном, при среднем годовом количестве осадков 450 *мм* и более возделывание овса возможно без орошения.

Ячмень требует небольших количеств оросительной воды. Гаррис и Питтман нашли (рис. 161), что уже 250 *мм* воды, использованной для поливов в ранних стадиях роста ячменя, обеспечили урожай в 21,5 *ц/га*, а 375 *мм*, израсходованных за 3 полива (по одному поливу в каждую из первых 3 стадий) дали возможность собрать приблизительно по 22,6 *ц/га*, что было на 2,1 *ц/га* больше, чем было получено при затрате 500 *мм* оросительной воды.

Уидсу нашел, что наибольшие урожаи кукурузы — около 68 *ц/га* получены Центральной опытной станцией штата Юта при расходовании 375 *мм* оросительной воды. Его собственные опыты дали прекрасные урожаи при затрате всего лишь 250—375 *мм* воды, из чего он вывел заключение, что при благоприятных почвенных и климатических условиях 300—375 *мм* воды достаточно для получения удовлетворительных урожаев пшеницы.

Питтман и Стюарт показали, что при условиях, имеющих место на землях Центральной опытной станции Юта, урожай кукурузы повышается при увеличении количества оросительной воды до 500 *мм*. Затем при увеличении количества воды от 500 до 750 *мм* урожайность меняется мало, а при дальнейшем повышении расхода воды урожаи снижаются. Плодородные почвы при достаточном их орошении могут давать от 41 ро 55 *ц/га* кукурузы или от 42 до 50 *т* на 1 *га* зеленой массы для силосования.

234. Орошение люцерны. Две трети площади, занятой посевами люцерны в 17 западных штатах, орошаются. Наиболее

распространенными способами орошения люцерны являются сплошное затопление площадей, поливы напуском по полосам и поливы по чекам или площадкам. В тех местах, где ресурсы воды ограничены и где поверхность земельных участков не подходит для орошения напуском по полосам или для полива по площадкам, поливы люцерны производятся по мелким бороздам («corrugations»). Этот метод особенно выгоден при возделывании люцерны на семена, так как он дает возможность производить более тщательно культивацию как средство борьбы с насекомыми-вредителями.

Кратковременное затопление полей под люцерной не причиняет ей вреда, но затопление длительностью несколько часов иногда бывает вредным в результате действия высокой температуры и солнечных лучей, отражаемых поверхностью воды и причиняющих вред молодым растениям. При возделывании люцерны на почвах с малой инфильтрацией следует производить частые поливы, подавая каждый раз на поля воду в небольших количествах. Для таких почв выгодно применять поливы по глубоким или малым бороздам. Малые струи воды можно удерживать в бороздах дольше и таким образом увеличивать инфильтрацию воды, не причиняя вреда растениям, а также не увлажняя чрезмерно и не превращая в грязь всю поверхность почвы.

Для поливов люцерны и пастбищ допустимы бóльшие струи, чем для поливов зерновых культур или корнеплодов. Для люцерны на полях, хорошо подготовленных к напуску воды, способы полива по полосам или по чекам допускают расход воды от 140 до 280 *л/сек*. Для орошения люцерны в Калифорнии пользуются и бóльшими количествами воды. В тех районах, где отсутствуют участки с крутыми уклонами, возможно орошение люцерны в некоторой степени и по площадкам.

Несмотря на глубокое укоренение люцерны на структурных почвах, поверхностный 15-сантиметровый слой почвы содержит в себе не менее одной трети по весу общего количества корней (рис. 162). Вода поглощается растениями преимущественно с помощью небольших корневых волосков, трудно обнаруживаемых при изучении распределения корней в почве. Вес корней, по которым вода поступает из почвы в растение, относительно невелик. Поэтому весьма интересно, что 1,5—2,6% корней по весу в верхних 1,8 *м* почвы было обнаружено в верхнем слое почвы высотой 0,15 *м*. Повидимому, люцерна получает большую часть воды и питательных веществ из первого метра почвы. Однако в хорошо дренированных почвах некоторые корни проникают на бóльшую глубину, где влажность изменяется медленно и в небольших пределах. Корни люцерны, возделываемой на почве с высоким уровнем грунтовых вод, сосредоточиваются преимущественно вблизи поверхности земли. На рис. 163 видно, что

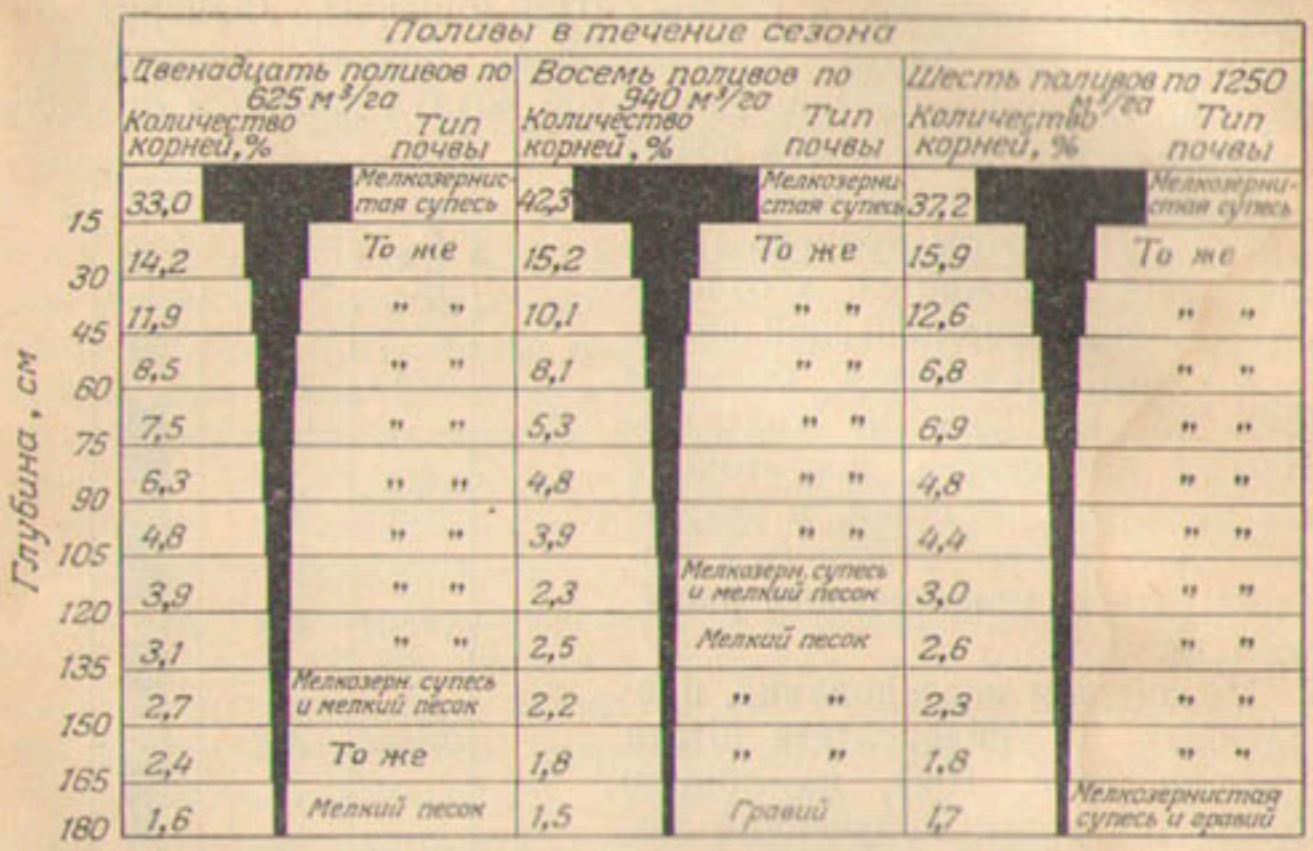


Рис. 162. Диаграмма, показывающая распределение корней люцерны в почве при различных нормах подачи воды на поливы. Повидимому, на распределение корней не влияет количество подаваемой оросительной воды (на ферме университета штата Калифорния).

при уровне грунтовых вод на глубине 0,9 *м* 97% корневой системы сосредоточено в верхних 0,60 *м* почвы. Люцерна, возделываемая на плохо дренированных почвах, повреждается засухой. В горячие летние дни сухой воздух является причиной потери влаги с поверхности почвы в результате транспирации и испарения. При этом уровень грунтовых вод понижается, а относительно тонкий верхний слой почвы, в котором находится большая часть корней, уже не содержит воды в количестве, достаточном для развития растений, в результате чего скоро становится заметен ущерб, причиняемый растениям засухой.

По данным исследований, проведенных в университете штата Аризона (рис. 164), из общего количества воды, полученной люцерной из почвы, 65% было извлечено из верхних 1,5 *м* почвы, а 35% — из глубины от 1,8 до 3,0 *м*. Наибольшее количество воды поступило из слоя почвы 0,30—0,90 *м*, всего 360 *мм* воды, или более одной четверти от общего количества воды (1300 *мм*), необходимой для люцерны.

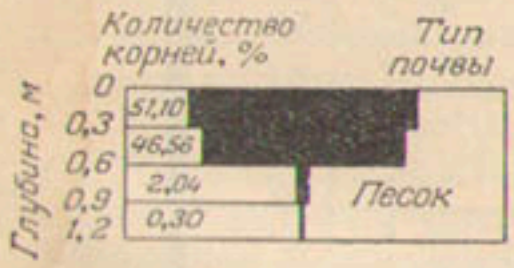


Рис. 163. Распределение корней люцерны при горизонте грунтовых вод на глубине 0,9 *м* от поверхности земли.

Глубина, м	Потребляемая вода	
	мм/год	% от общего колич.
0-0,3	170	13
0,3-0,6	180	14
0,6-0,9	183	14
0,9-1,2	168	13
1,2-1,5	140	11
1,5-1,8	118	9
1,8-2,1	100	8
2,1-2,4	88	7
2,4-2,7	70	6
2,7-3,0	58	5

Рис. 164. Потребление люцерной воды, извлекаемой на разной глубине корнеобитаемого слоя (штат Аризона).

На произрастание люцерны на данной почве влияют преимущественно два фактора: доступное тепло и наличие легкодоступной воды. В орошаемом земледелии при данном количестве тепла человек может обеспечить растениям достаточную влажность почвы, способствующую развитию и росту культур.

Сельские хозяева, возделывающие люцерну, могут по внешнему виду ее листьев определять сроки поливов. Темнозеленая окраска листьев свидетельствует о потребности люцерны в воде. Временное увядание является предупреждением о том, что почвенная влага на исходе.

В тех случаях, когда вода подается на поля периодически, перед каждым пуском воды в хозяйство необходимо определить срок полива с точностью до одного-двух дней, иначе придется ждать второго пуска воды, возможно через 10—15 дней. Весьма полезно для правильного суждения о сроках предстоящих поливов пользоваться почвенным буром для получения проб с глубины 1,5—1,8 *м*, определяя таким способом влажность почвы. В течение вегетационного периода люцерны почва верхних 1,8—2,4 *м* не должна быть сухой.

Нельзя установить определенную периодичность поливов люцерны применительно ко всем условиям, так как на величину межполивных периодов влияют многие факторы. Главными из этих факторов являются: механический состав почвы и ее мощность (глубина залегания), температура воздуха и его влажность, направления господствующих ветров и количество дождей в течение периода вегетации.

Возможно, что на песчаных почвах поливы лучше всего производить через каждые две недели, а легкие суглинистые почвы, на которых возможны 2—3 покоса люцерны, лучше всего поливать два раза в течение времени между покосами. Для орошения люцерны, возделываемой на тяжелых мощных почвах, достаточен один полив между двумя покосами. На маломощных почвах, крупнозернистых по механическому составу, люцерну принято поливать через каждые 10 дней в течение более теплой части сезона. На гравелистых маломощных почвах не исключены небольшие поливы один раз в неделю. Люцерна, возделываемая на полях с мощным залеганием суглинистой почвы, дает обильные урожаи при условии полива один раз в неделю до первого покоса, один раз после первого покоса, один раз перед вторым покосом и один раз через две недели после второго покоса.

235. Потребность люцерны в воде. По сравнению с большинством орошаемых культур люцерна требует большого расхода оросительной воды, что связано с ее большими годовыми урожаями. Зерновые культуры развиваются и поспевают за время от 90 до 110 дней, люцерна же при удовлетворительных поливах растет непрерывно до тех пор, пока средняя температура воздуха не остается достаточно высокой по сравнению с минимальной температурой, требуемой для ее вегетации. Чем длиннее вегетационный период, тем больше потребность люцерны в воде и тем выше ее урожаи.

Период вегетации люцерны измеряется в пределах от 100 дней в году в высокорасположенных северных долинах до продолжительности не менее чем 300 дней в низколежащих долинах Калифорнии и Аризоны. Годовой урожай люцерны колеблется от 10 до 25 *т* с 1 *га* и более, в зависимости от климатических и почвенных условий.

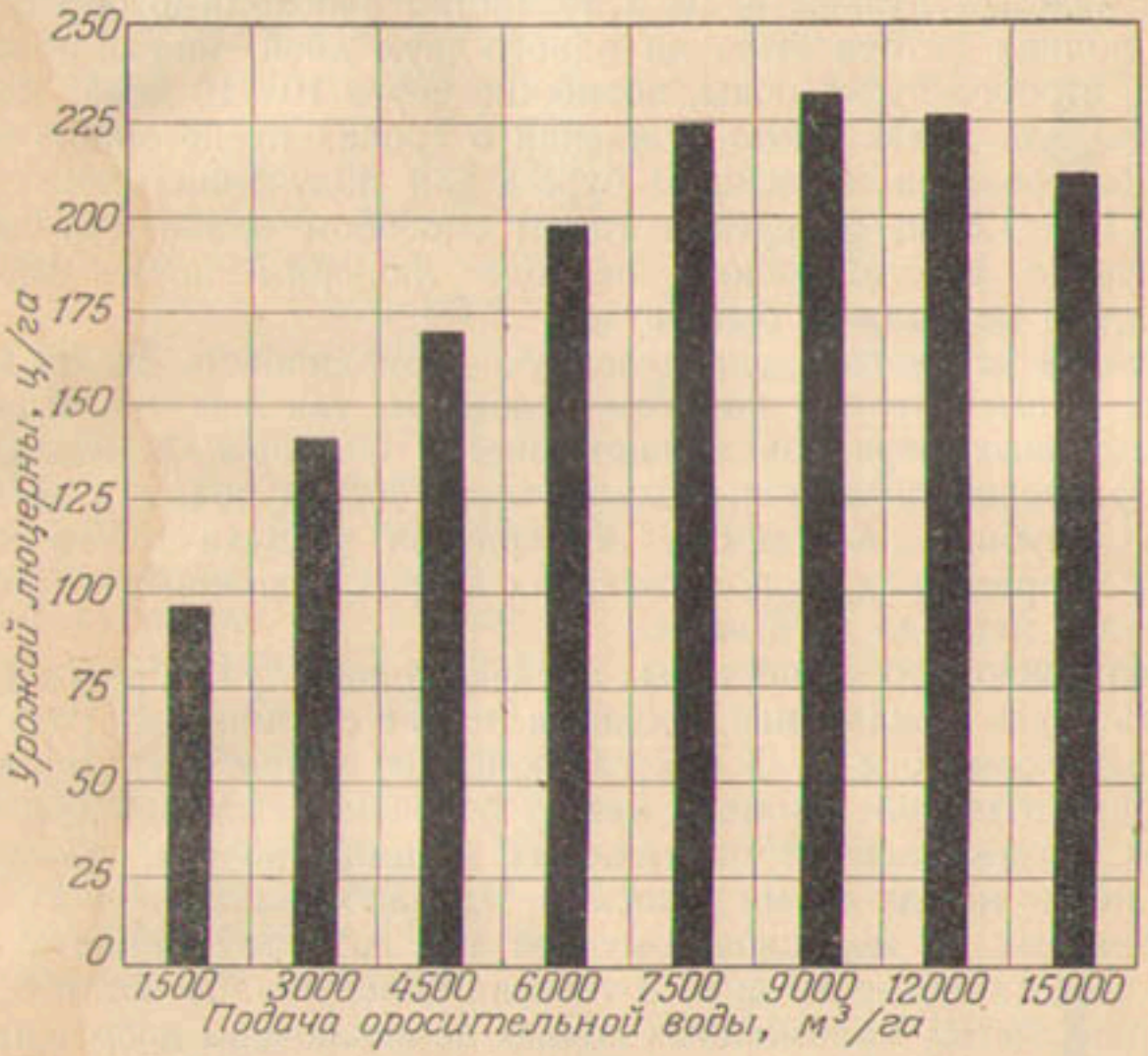


Рис. 165. Диаграмма, показывающая результаты опытов, проведенных на ферме университета в Калифорнии в 1910—1915 гг., по определению необходимой нормы воды для поливов люцерны. Наилучшие урожаи были получены при подаче на поле воды от 7500 до 9000 *м³/га*.

Адамс и другие исследователи широко изучали вопрос о потребности люцерны в воде в Калифорнии. Они нашли, что люцерна дает наибольшие урожаи при расходовании 900 *мм* оросительной воды в год, и пришли к заключению, что наиболее экономный расход воды, затрачиваемой для орошения люцерны в университетском хозяйстве в г. Девис в Калифорнии, находился в пределах от 750 до 900 *мм*. Результаты работы Адамса показаны графически на рис. 165.

236. Возделывание клевера на орошаемых землях. На орошаемых землях возделывается несколько разновидностей клевера,

используемых как непосредственно на пастбищах, так и на сено. С орошаемых полей получают также большие урожаи семян клевера.

При одинаковых климатических и почвенных условиях клевер дает хорошие урожаи при поливах, более частых, чем для люцерны. Потребность клевера в воде удовлетворяется небольшими ее количествами при каждом поливе. Вообще же клевер требует в течение всего сезона не больше воды, чем люцерна, или даже немного меньше.

237. Травы, возделываемые на орошаемых полях. Тимофеевка, ежа, костер и другие травы, убираемые на сено, дают хорошие урожаи на орошаемых землях. Тимофеевка и некоторые естественные травы проявляют жизнеспособность даже при чрезмерном орошении и частом их затоплении. Однако потребность таких трав в воде в достаточной мере удовлетворяется при умеренных поливах.

При отсутствии достаточного природного дренирования почва низко расположенных площадей становится относительно влажной в результате просачивания воды из вышележащих земель. На таких землях можно получить в течение года только один урожай трав на сено в размере от 2,5 до 3,75 *т/га*, после чего к осени земля дает урожай трав, используемых как корм уже непосредственно на пастбище. Низко расположенные земли, чрезмерно увлажненные ранней весной и поздней осенью, не пригодны для посевов люцерны. Если на землях, где растет только тимофеевка и дикие травы, устроить искусственный, хорошо действующий дренаж, то такие земли дадут обильные урожаи люцерны. Пауэрс и Джонстон, изучавшие потребность в воде луговых и пастбищных земель в штате Орегон, считают возможным получать на мелиорированных землях, покрытых ранее тростником, урожай клевера и люцерны в 87,5 *ц/га*, что более чем в три раза превышает количество сена, получаемого на той же площади из дикорастущих трав.

Под травами находятся большие площади орошаемых земель, которые могли быть значительно более доходными, если бы после устройства дренажа их засевать клевером или люцерной.

238. Орошаемые пастбища. Пастбища с посевами на них многолетних трав и бобовых культур, подобных клеверу Ладино или люцерны, орошаются сплошным затоплением, поливом по бороздам, по площадкам или бассейнам, чекам и нередко также дождеванием. Если культивация производится относительно редко, то снижаются расходы по подготовке земли. Почвы пастбищ не подвержены эрозии в столь большой степени, как земли, на которых возделываются сельскохозяйственные культуры.

Обычно рядки сахарной свеклы расположены с междурядьями 50 *см* и между каждыми двумя рядками имеется оросительная борозда. При первом поливе воду пускают не по каждой борозде, а через одну. При втором поливе, когда в борозды впускают относительно мало воды, принято впускать воду в борозды, в которые не пускали при первом поливе. Позже свекла нуждается уже в относительно больших количествах воды, и фермеры увлажняют почву сильнее, пуская воду по всем бороздам одновременно.

Сравнительно новый способ возделывания свеклы, привлекающий внимание сельских хозяев, — посев свеклы в рядках с неодинаковыми по ширине междурядьями. Например, одно междурядье может быть 40 *см*, а соседнее — 60 *см*. Борозды прорезывают только в 60-сантиметровых междурядьях, вследствие чего расстояние между бороздами равно 1 *м*. При благоприятных почвенных условиях этот способ дает удовлетворительные результаты и несомненную экономию в воде. Указанный способ, однако, мало применим на тяжелых плотных почвах, в которых капиллярное движение воды происходит весьма медленно.

В отношении поливов свекла отличается от колосовых культур тем, что во второй половине сезона, в июле, августе и сентябре, для нее требуется больше воды, чем весной. К концу июня или в начале июля дебит многих естественных источников воды значительно снижается, и поэтому важно обеспечить возможность поливов свеклы во второй части сезона, использовав запас воды или применяя насосы для подачи грунтовых вод на поверхность.

В давние годы, когда сахарную свеклу только начали возделывать, существовало широко распространенное мнение, что первый полив не следует производить до тех пор, пока не появятся определенные признаки увядания ботвы, выявится крайняя потребность в воде.

В результате борьбы за влагу при столь поздних поливах корни свеклы удлинялись больше, чем это могло быть при ранних поливах. В последнее время стали руководствоваться более рациональным принципом, по которому большие урожаи свеклы могут быть получены при обеспечении ей всех условий, благоприятствующих непрерывному развитию, начиная от прорастания семян до созревания при скорости вегетации, какая только возможна при благоприятной температуре воздуха. В число требуемых условий входит и достаточная влажность почвы. Мощные суглинистые и тяжелосуглинистые почвы в районах Скалистых гор обладают хорошей влажностью в результате нормального зимнего снегопада и весенних дождей. Сахарная свекла в начале периода вегетации, в мае и июне, потребляет не так много воды. Количество воды осадков, накопленной в почве, обычно достаточно для поддержания наибольшей скорости вегетации в течение этих месяцев. В долинах, где на орошаемых землях возде-

лываются и зерновые культуры, и сахарная свекла, потребность в воде для поливов зерновых уменьшается еще до времени возникновения надобности в большом количестве воды для полива сахарной свеклы.

240. Потребность сахарной свеклы в воде. Потребность в оросительной воде для рентабельного возделывания сахарной свеклы несколько больше количества воды, необходимого для колосовых культур за вегетационный период, но значительно меньше количества воды, затрачиваемого на поливы люцерны, особенно в районах, где сезон возделывания культур продолжителен.

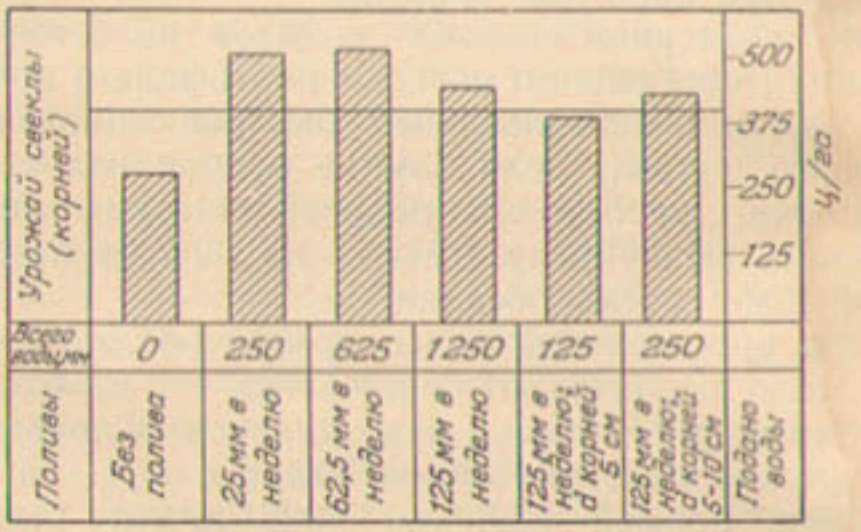


Рис. 167. Урожаи сахарной свеклы на делянках при различных расходах оросительной воды. Средние данные за 10 лет.

Графиком на рис. 167 показаны результаты десятилетнего изучения потребности в воде сахарной свеклы. Из рассмотрения левой части графика видно, что наибольший урожай — более 50 *т/га* — был получен при 10 поливах, производимых каждую неделю по 63 *мм*. При 10 поливах из расчета каждый по 25 *мм* воды получили почти максимальный урожай, а при 10 поливах из расчета подачи слоя воды 125 *мм* урожай был меньше.

Найт и Гардман в штате Невада нашли, что при увеличении общего количества оросительной воды от 300 до 450 *мм*, а затем и до 600 *мм* урожаи свеклы мало отличались. Наибольший урожай был получен при поливе в 450 *мм*.

241. Орошение картофеля. Для эффективности поливов картофеля необходимо достаточно тщательное выравнивание поля. Полив картофеля обычно производится подачей воды по бороздам. Исключение допускается только при особо благоприятных почвенных условиях, позволяющих пользоваться подпочвенным орошением. Важно не допускать непосредственного соприкосно-

вения растений с водой, и поэтому полив по глубоким бороздам является наилучшим способом. Полностью насыщенная водой почва вокруг ботвы картофеля в дальнейшем спекается, дает трещины, что вредно для картофеля. Желательная глубина борозд 25—30 *см* на влажных почвах: при такой глубине отсутствует опасность затопления ботвы или образования излишка воды вокруг клубней. При благоприятных топографических и почвенных условиях поливные борозды могут быть длиннее борозд на полях под сахарной свеклой. Повидимому, 400 *м* — наибольшая рентабельно используемая длина, но, как правило, следует предпочесть 200 *м*. При большой водопроницаемости почвы необходимы более короткие борозды.

Основным критерием сроков поливов является влажность почвы. Важно, чтобы еще до посадки картофеля в почве имелось достаточно влаги, обеспечивающей быстрое появление всходов еще до первого полива. Если зимние осадки недостаточны для увлажнения почвы до состояния полевой влагоемкости, то необходимо увлажнить почву искусственно до начала посадки картофеля, но не сразу после посадки.

Количество оросительной воды, требуемое для возделывания картофеля, мало разнится от количества ее, необходимого для возделывания сахарной свеклы при одинаковых почвенных и климатических условиях. При общем расходе воды в 625 *мм* за десять поливов нормой 62,5 *мм* (625 $м^3/га$) было получено 18,1 *т/га* картофеля, т. е. почти столько же, сколько получили в результате 10 поливов по 25 *мм* каждый. При общей затрате 1250 *мм*, распределенном между 10 поливами по 125 *мм* каждый, получили значительное снижение урожая. При 250 *мм* воды, израсходованной в два полива по 125 *мм* каждый, было получено значительно меньше картофеля, чем при том же количестве воды, но распределенном на 10 поливов по 25 *мм* каждый.

В результате 28-летнего изучения орошения картофеля центральной опытной фермой штата Юта был сделан вывод, что урожаи этой культуры повышаются с увеличением количества оросительной воды приблизительно до 375 *мм* (3750 $м^3/га$) в течение сезона. Поливы оросительной нормы более 500 *мм* обычно вызывают снижение урожая. В некоторых случаях большие количества оросительной воды, затраченной за сезон, хотя и способствовали увеличению урожаев, но, с другой стороны, излишки воды, повидимому, были причиной плохого качества картофеля.

242. Хлопчатник. Почва и климатические условия многих районов юго-западных штатов благоприятны для возделывания хлопчатника. При соответствующем орошении и уходе хлопчатник является рентабельной культурой. Пользование механическими хлопкоуборочными машинами способствует повышению

рентабельности возделывания хлопчатника. До последнего времени вопросом орошения хлопчатника занимались сравнительно мало.

Гаррис и Хокинс в течение 6 лет работали над проблемой дифференцированного орошения хлопчатника, возделываемого на тяжелых суглинках в штате Аризона. В течение первых 3 лет работа проводилась на небольших делянках, а в дальнейшем на участках с площадями по $^1/_6$ акр (675 $м^2$).

Сроки поливов были запланированы с расчетом на получение наилучшего роста хлопчатника, начиная от посева до созревания коробочек в целях получения наибольших урожаев хлопка. Подверглись проверке также и физиологические основы, говорящие о том, что развитие культур должно регулироваться так, чтобы стимулировалось плодоношение. Последнее же достигается накоплением углеводов с преобладанием последних над азотом и минеральных составляющих пищевых веществ в течение нормального периода развития плодов.

Хлопчатник, возделываемый на делянках, орошавшихся непосредственно после посева, быстро развивался и достигал значительного роста еще до начала сплошного цветения. На таких делянках были получены урожаи бóльшие, чем на тех делянках, где полив был задержан до появления признаков увядания.

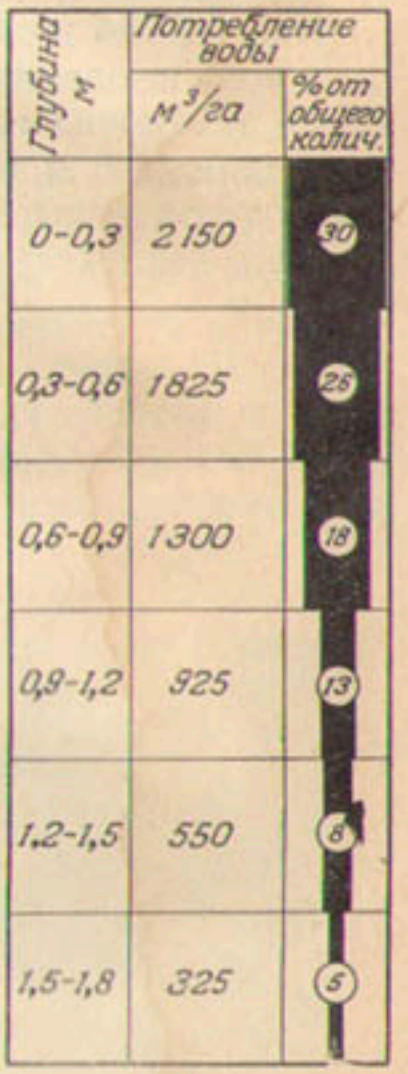


Рис. 168. Потребление воды хлопчатником из слоев почвы на разной глубине в штате Аризона.

Чем быстрее рос хлопчатник до начала созревания коробочек, тем выше были его урожаи. Ранние поливы способствовали развитию большого количества коробочек. Большая часть общего урожая была собрана при первом сборе хлопка с делянок, подвергшихся раннему поливу. Растения на делянках, не поливавшихся после посева, поглощали с глубины от 0,6 до 1,8 *м* (в течение августа — октября) воды не больше, чем растения, обильно политые после посева. Это явление указывало на одинаковое развитие корневой системы в обоих случаях.

Регулируя поливы, можно предотвратить чрезмерный рост хлопчатника в течение периода созревания коробочек и в том случае, когда растения развивались быстро и до созревания коробочек. Кусты хлопчатника, развивавшиеся особенно быстро со времени посева до конца июля и не так быстро от начала

августа до 10 сентября, дали наибольшие урожаи хлопка. С другой стороны, кусты, развивавшиеся медленно со времени посева и до конца июля и продолжавшие медленно расти с начала июля до 10 сентября, дали самый низкий урожай.

По имеющимся теперь данным, во время созревания коробочек хлопчатника допустимо снижение влажности почвы, значительно большее, чем за предшествующее время.

Количество воды, поглощаемой хлопчатником за сезон, и процент использования этой воды хлопчатником показаны на рис. 168. Более половины всего количества воды (40 *мм* было извлечено из верхних 0,6 *м* почвы и только 5% — из глубины 1,8 *м*. Около одной трети воды было получено хлопчатником из первых 0,30 *м*; процент извлеченной воды уменьшался с увеличением глубины.

Глава 16

ОРОШЕНИЕ САДОВ

Хорошо организованное орошение садов важно из-за большой ценности продуктов садоводства, однако, оно требует вложения значительных средств и труда. Орошению садов следует уделять особое внимание как делу, исключительно важному в засушливых районах. Садоводство достигло высокой степени развития в районах Калифорнии, где водные ресурсы ограничены и стоимость воды высока. Поэтому целесообразно снижать до минимума потери воды и стремиться как можно лучше использовать оросительную воду.

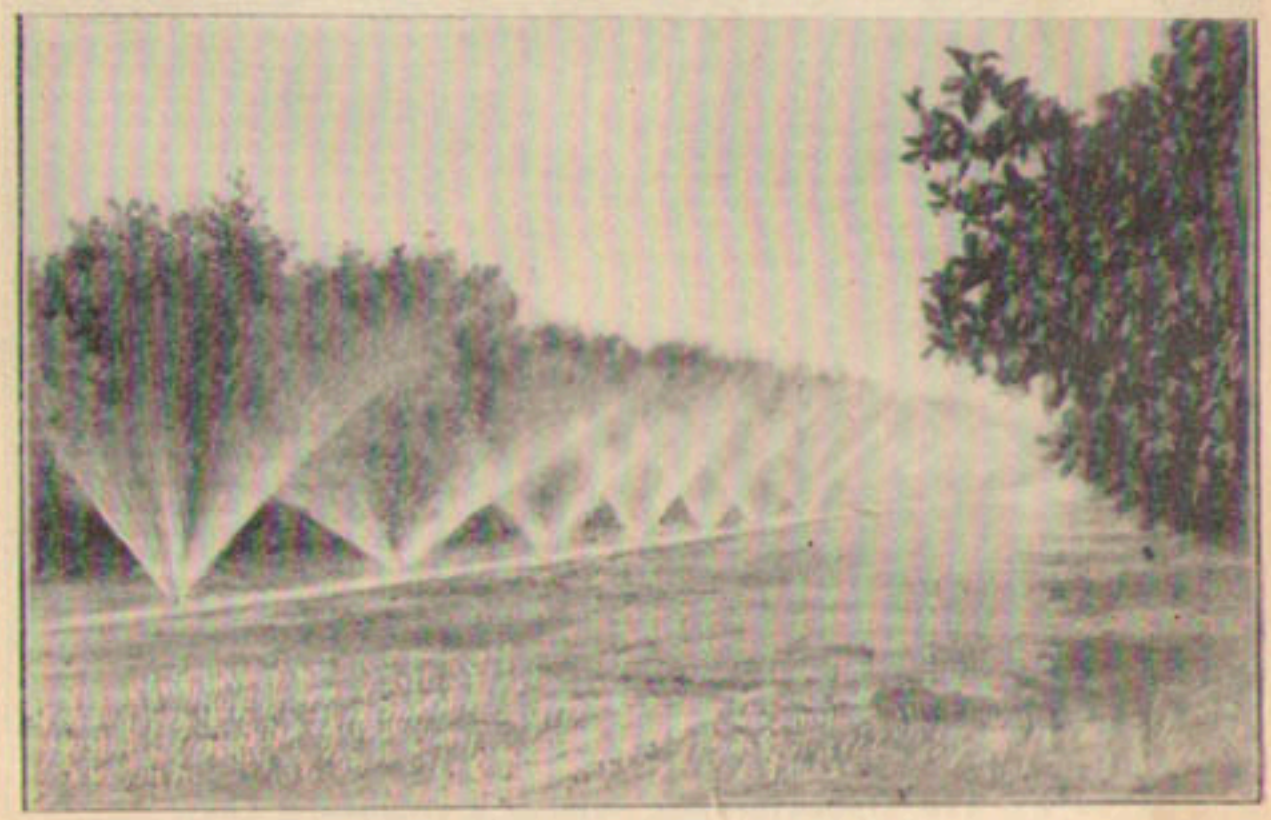


Рис. 169. Переносный трубопровод с неподвижными насадками с круговым разбрызгиванием для орошения цитрусового сада.

243. Способы орошения садов. Для орошения садов широко пользуются поливами по бороздам, площадкам и дождеванием. Заметен возрастающий интерес к поливу садов способом контурных площадок (по чекам).

В засушливых районах США и особенно в северо-западных штатах почти повсеместно для орошения садов начинают широко применять дождевание (рис. 169). Выбор того или иного способа орошения, наиболее эффективного для поливов фруктовых садов, зависит от типа почвы и ее мощности. Топографические условия местности влияют на выбор способа орошения данного сада почти в той же степени, как и на выбор способа орошения зерновых и фуражных культур и корнеплодов. Крайнее различие в водопроницаемости почвы на отдельных участках данного сада, зависящей от разнообразия механического состава и структуры почвы, сильно затрудняет равномерное распределение воды в саду по бороздам. В подобных условиях предпочтительнее способ полива по чекам. На выбор того или иного способа орошения оказывает также влияние и стоимость оросительной воды и ее возможные ресурсы. Поэтому для выбора способа орошения фруктовых садов нет общепринятых правил.

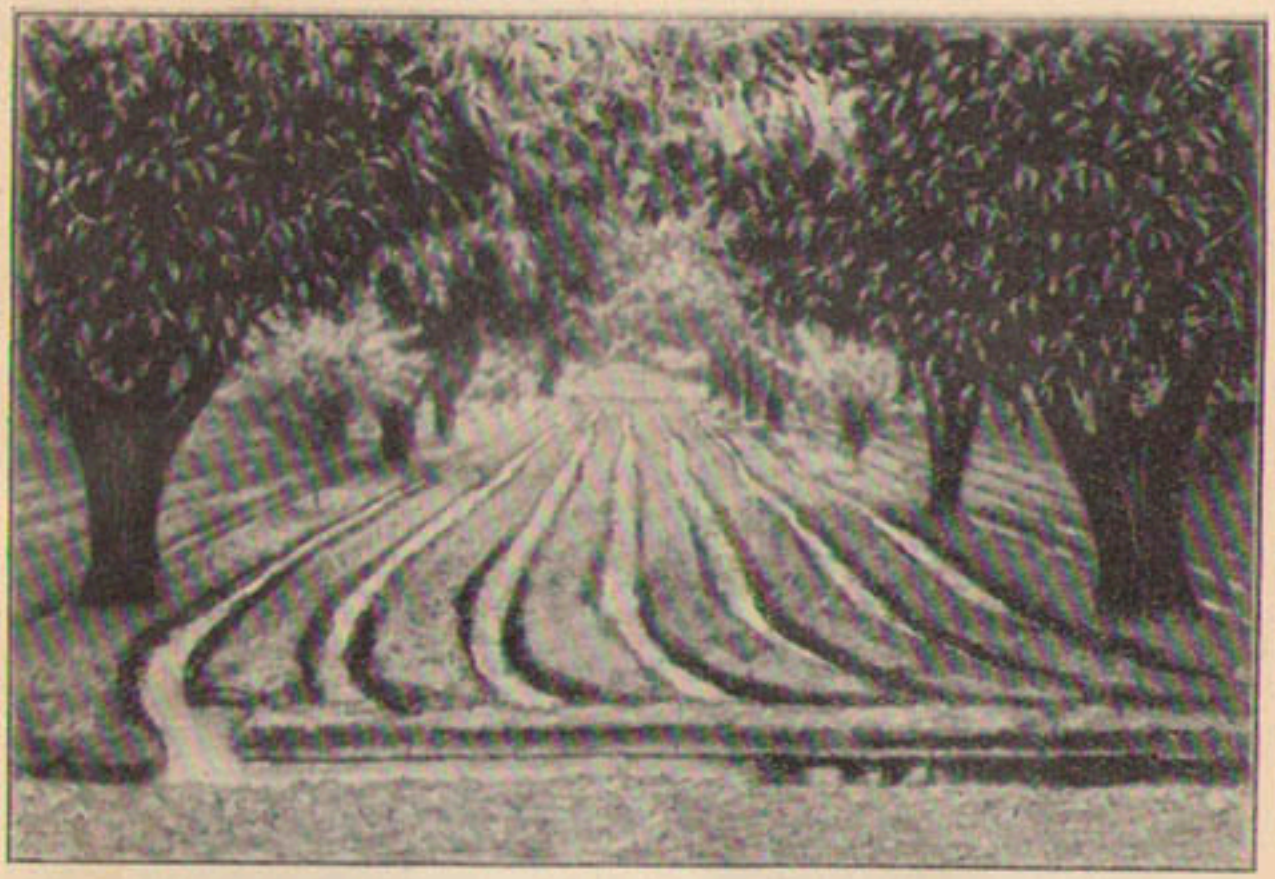


Рис. 170. Оросительные каналы в вишневом саду.

244. Поливы по бороздам. На рис. 170 показана система полива распределением воды по бороздам в вишневом саду в штате Калифорния. Между двумя соседними рядами деревьев имеется по 7 борозд, что позволяет легко увлажнять весь корнеобитаемый слой почвы. Выбирая способ полива по бороздам, необходимо учесть требуемую длину борозд, уклоны поверхности и возможные расстояния между бороздами (см. гл. 6).



Рис. 171. Подача оросительной воды из бетонных вертикальных труб.

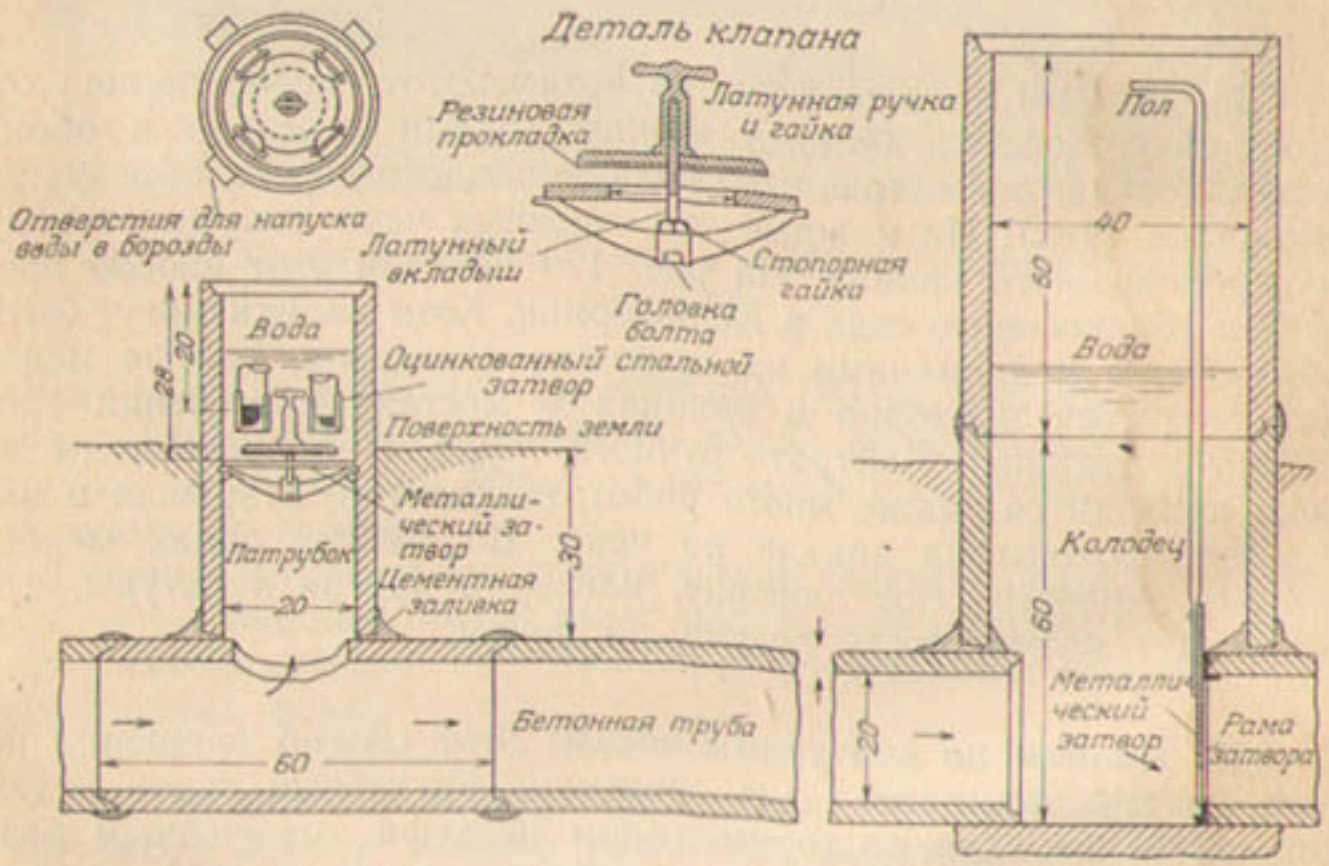


Рис. 172. Конструкция бетонного трубопровода с вертикальными трубами для орошения фруктовых садов (размеры в *см*).

245. Способ подачи оросительной воды в сад. В наиболее важных районах фруктового садоводства применяются системы распределения воды по трубопроводам, проложенным в земле (рис. 171). Пользование такими трубопроводами обеспечивает значительную экономию воды и затраты труда.

На рис. 172 показана конструкция бетонных труб. В правой части рисунка виден напорный колодец диаметром 40 *см* с заслонкой, дающей возможность поднимать уровень воды в вертикальном патрубке-распределителе, показанном в левой части рисунка. Вода проходит в распределитель через открытый клапан и выходит из него через 4 отверстия и далее — через коробки-патрубки диаметром 5 *см*. Небольшие оцинкованные заслонки у входов в эти патрубки позволяют легко регулировать размеры струй, направляемых в борозды. Одни садоводы направляют воду из вертикального распределителя в борозды непосредственно из указанных метровых патрубков диаметром 5 *см*; другие же пользуются оцинкованными лотками, по которым вода течет от распределителя к бороздам. Регулировать распределение воды по бороздам можно также с помощью переносной трубы из легкого металла, снабженной заслонкой. Такой способ орошения уменьшает эрозию почвы в бороздах и повышает степень использования оросительной воды.

246. Поливы подачей воды по чекам. Этот способ полива состоит в устройстве валиков между рядами деревьев в обоих направлениях, вследствие чего вокруг каждого дерева образуется площадка (чек). На каждые два смежных чека напускают воду из проложенного канала. На рис. 173 показан этот способ орошения абрикосового сада в Калифорнии. Хотя валики могут быть образованы механизмами на прицепах тракторов, тем не менее для закрытия проходов в валиках в местах пересечений требуется значительная затрата ручного труда. При пуске воды на чеки приходится также много работать лопатой, открывая и закрывая проходы из канала на чеки. Во многих садах между рядами деревьев сеют люцерну, клевер и другие культуры, что исключает возможность полива по чекам.

247. Поливы по контурным чекам. Этот способ орошения не нов, но его применение для орошения фруктовых садов путем устройства валиков по горизонталям рельефа, отмеченным различными красками на стволах деревьев, является достижением последних лет. Контурными чеками называют чеки с неправильными очертаниями. На каждом чеке находится по нескольку деревьев, как показано на рис. 174; чеки ограничены небольшими валиками или гребнями.

Разность уровня поверхности двух соседних чеков — от 6 *см* до 12 *см*. Контурные валики соединяются у нижней границы сада замыкающими валиками. Для деления контурного чека на несколько частей, удобных по размерам, пользуются поперечными валиками. Преимущества контурных чеков заключаются в следующем: а) меньшая протяженность этих валиков по сравнению с длиной прямолинейных валиков, а отсюда и меньшая затрата



Рис. 173. Полив абрикосового сада способом затопления отдельных площадок.

труда на их устройство; б) меньший объем планировки, чем в случае прямоугольных чеков; в) можно пользоваться большими струями оросительной воды; г) затрачивается меньше труда на производство поливов.

Главным недостатком описываемого способа полива является иногда чрезмерный объем воды, подаваемой напуском при больших размерах чеков, что уменьшает коэффициент полезного использования воды.

248. Сроки поливов фруктовых садов. Весьма важен правильный выбор сроков поливов различных фруктовых деревьев. Некоторые авторитеты утверждают, что цвет фруктов, размеры плодов и величина урожая зависят от времени полива и что поливы влияют также и на скорость роста деревьев. Особенностью полива фруктовых садов, выявленной в процессе исследований,

является то, что большинство деревьев непрерывно — в течение лета и зимы — потребляет воду, находящуюся в почве.

Поливы садов во вневегетационный период важны как средство накопления воды в почве. Таким образом, задачи, связанные с выбором сроков поливов фруктовых садов, распадаются на

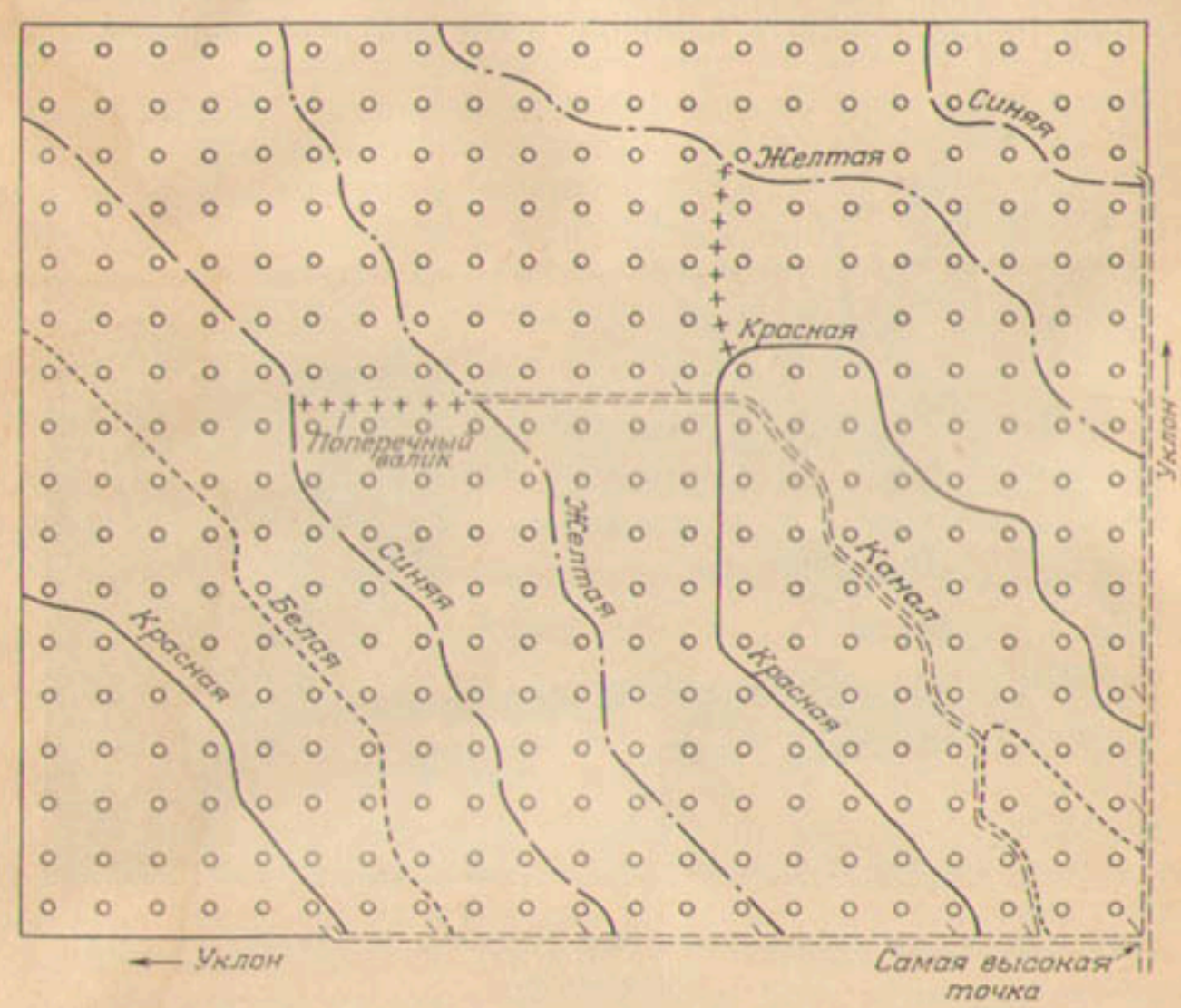


Рис. 174. План поливов фруктового сада затоплением чеков, расположенных по горизонталям на суглинистой почве, с расходом воды 3,4 $м^3/мин$. На одной площадке посажено не более 40 деревьев. Горизонтали рельефа отмечены на деревьях разным цветом — красным, белым, синим и желтым.

две группы: первая относится к орошению в вегетационный период и вторая — к периоду покоя деревьев. Обе задачи до некоторой степени взаимно связаны между собою, так как поливы в любой из периодов — вегетационный или вневегетационный — обычно отзываются на величине расхода оросительной воды в течение остающейся части года.

249. Поливы деревьев в вегетационный период. На протяжении всего периода своего роста деревья должны получать в любое время достаточно влаги. В районах с большим количеством осадков летом необходимо устранять чрезмерное увлажнение

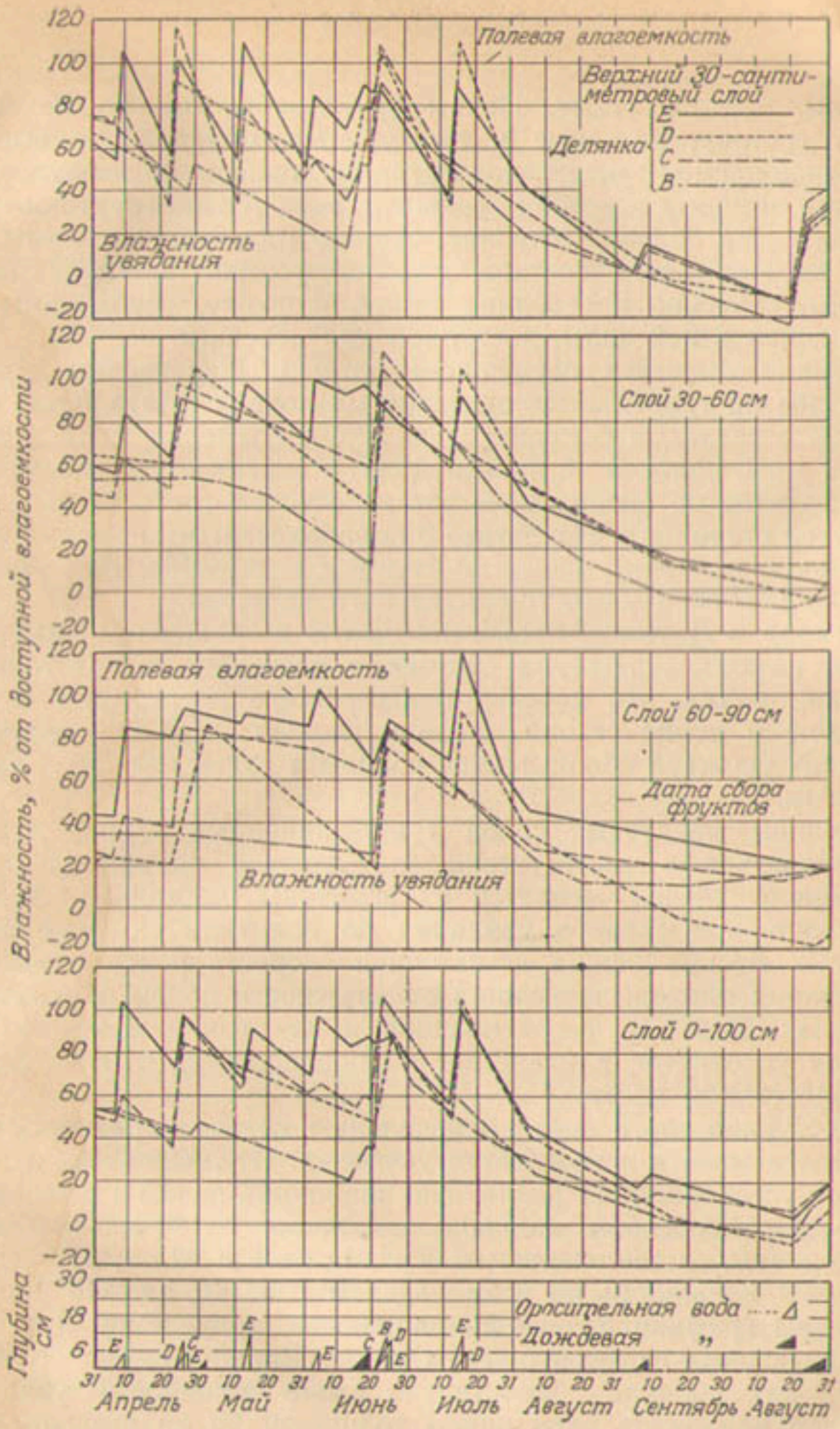
тяжелых плотных почв. Почвы крупнозернистые по механическому составу, песчаные и гравелистые, обладающие высокой водопроницаемостью, не подвергаются опасности переувлажнения при обычных способах орошения, если только грунтовые воды находятся на большой глубине. Однако маломощные почвы грубого механического состава мало влагоемки; поэтому частые поливы, особенно в середине сезона и позже, необходимы для накопления в ней воды, доступной для деревьев.

Можно привести следующий пример. Персиковые деревья, растущие на гравелистых суглинистых почвах штата Юта, были политы с расходом больших норм воды в течение июня и июля. После этого поливов не производили, и в результате снятый урожай фруктов по своему качеству не отвечал требованию рынка. С другой стороны, в результате 8 поливов малыми нормами воды, начиная с половины июня до половины сентября, был получен урожай персиков удовлетворительного качества.

Тейлор и Даунинг, произведя опыты с орошением яблоневых садов, расположенных на супесях и песчаных почвах в штате Айдахо, нашли, что деревья больше всего потребляют воды в середине и конце сезона. Отсюда следует, что для получения хороших урожаев яблок нужны поливы в июле, августе и начале сентября.

Поливы фруктовых садов в вегетационный период должны производиться в соответствии со степенью влажности почвы. Влажность почвы меняется от величины несколько большей влажности длительного увядания до величины полевой влагоемкости. Весьма важна достаточная скорость роста деревьев и созревания плодов, зависящая от влажности почвы в указанных пределах. Поэтому число поливов и их периодичность определяются условиями, влияющими на поддержание в почве запаса легкодоступной влаги.

Доступная влага почвы определена в гл. 9 как разность полевой влагоемкости и влажности увядания. Исследователи в штате Орегон установили: 1) различную влажность почвы в зависимости от разных способов поливов в каждом из 30-сантиметровых слоев почвы, составляющих ее верхний слой в 90 *см*; 2) среднюю величину влажности во всем верхнем слое 90 *см*. На рис. 175 показаны графики почвенной влажности, получаемой при поливах фруктовых садов в штате Орегон. Влажность на участке *E* была, как правило, значительно выше влажности увядания. Средняя влажность слоя почвы толщиной 90 *см* выражалась в день сбора плодов (31 августа) 20% доступной влагоемкости. Исследователи пришли к выводу, что для получения наибольшего урожая фруктов как по размерам отдельных плодов, так и по их общему весу важно поддерживать влажность почвы равной не менее чем 50% величины доступной влаги. При средней



Р и с. 175. Графики почвенной влажности в процентах от доступной влагоемкости почвы в каждом из трех верхних слоев по 30 *см*, а также средняя влажность в верхнем 30-сантиметровом слое почвы. Показаны количества осадков и оросительной воды, использованной для полива фруктового сада. Вершины углов соответствуют глубине слоя оросительной или дождевой воды, поступившей на поле. Внизу показаны периоды поливов.

глубине корнеобитаемого слоя почвы в 90 *см* влажность почвы на участке *E* была всегда значительно выше 50% величины доступной влаги, средняя же влажность была приблизительно 80%.

Бекетт, Блани и Тейлор нашли, что в Калифорнии для получения урожая лимонов потребовалось израсходовать 370 *мм* воды в течение периода с 1 апреля по 31 октября. В мае на поливы деревьев было затрачено менее 35 *мм* воды, а в течение каждого из месяцев — июля, августа и сентября — расход оросительной воды выражался 63 *мм*. Необходимое количество оросительной воды было подано деревьям за три полива: два полива нормой по 160 *мм* и один — 170 *мм*. Последние цифры указывают на замечательную равномерность потребления воды деревьями в межполивные периоды. Интенсивность потребления воды в то время, когда влажность почвы приближалась к самому низкому пределу, была приблизительно такой же, как и влажность непосредственно после полива, когда влажность почвы была близка к полевой влагоемкости. На основе этих и многих других наблюдений, был сделан следующий вывод: «Влажность почвы, большая, чем влажность увядания, не оказывает заметного влияния на скорость извлечения растениями влаги из почвы. Это значит, что при почвенной влажности, равной одной или двум третям содержания влаги в почве в пределах между полевой влагоемкостью и влажностью увядания, влага усваивается растениями так же легко, как и в условиях полного увлажнения почвы после полива».

Ниже приведена краткая сводка данных о влиянии орошения на урожаи персиков, груш, яблок и грецких орехов в разных местностях Калифорнии; эта сводка составлена на основе выводов Гендриксона и Вимейера.

а) *Персики.* Поддержание влажности почвы постоянно выше величины влажности увядания обеспечило большой рост деревьев.

Недостаток легкодоступной влаги в течение короткого времени замедлял рост деревьев, но мало влиял на размеры урожая. Недостаток же влаги в течение более длительных периодов вызывал заметное уменьшение урожая.

На развитие персиковых деревьев не влияло понижение влажности почвы до тех пор, пока влажность не уменьшалась до величины влажности увядания.

Недостаток легкодоступной почвенной влаги в период формирования плодов очень вредно отзывался в дальнейшем на величине плодов.

Полив, произведенный непосредственно перед снятием персиков с деревьев, не способствовал быстрому увеличению размеров плодов фруктовых деревьев.

В плодах, снятых с деревьев и отправляемых на консервные предприятия, не было замечено разницы в качестве персиков, в зависимости от того, росли ли деревья на участках с влажной или сухой почвой.

Безопасный промежуток между поливами в наиболее жаркое время лета — от 3 до 6 недель в разных районах Калифорнии. Величина этих промежутков зависит от почвенных условий: более короткие периоды устанавливаются при легких песчаных почвах, более длительные — в случае более тяжелых плотных почв.

Из приведенных данных следует, что влажность длительного увядания является критической влажностью и что по наступающему увяданию можно судить о недостатке в почве влаги, доступной для деревьев.

б) *Груши и яблони.* В районах Тихоокеанского побережья в годы с нормальным количеством осадков груши и яблони, растущие на почвах мелкозернистых и среднего механического состава, не в состоянии до конца сезона исчерпать весь запас доступной почвенной влаги, что, повидимому, исключает надобность в орошении.

В некоторых районах в результате потребления грушевыми садами доступной влаги почвы влажность последней в верхних 1,2—1,8 *м* доходит до влажности длительного увядания примерно в конце июня или начале июля. При таких условиях грушевые сады, растущие на почве глубиной не менее 1,8 *м*, можно поливать один-два раза до снятия фруктов.

Опыты с яблонями проводились в условиях умеренного климата. Рост яблок замедляется после полного использования доступной почвенной влаги в слоях ниже 30 *см* от поверхности, но, пока не достигнута влажность длительного увядания, рост плодов не замедляется.

Созревание груш задерживается, если легкодоступная влага почвы исчерпана за неделю или несколько ранее до наступления нормального времени снятия плодов с фруктовых деревьев.

Груши (плоды) развиваются нормально в широком диапазоне почвенных и климатических условий, если деревья могут питаться легкодоступной почвенной влагой. Уменьшение в вегетационный период влажности почвы до величины длительного увядания имеет следствием уменьшение размеров плодов и замедленное их созревание.

в) *Сливы и грецкие орехи.* Поддержание в течение 5 лет влажности почвы выше влажности длительного увядания не отзывалось заметно на размерах урожая или на качестве слив и орехов.

Чрезмерное количество оросительной воды при поливе не вызвало в течение 3 лет заметных вредных последствий на сливо-

вых и ореховых деревьях, росших на хорошо дренированных суглинистых почвах Калифорнии.

Наиболее рентабельная практика орошения сливовых и ореховых деревьев заключалась в том, что после снижения почвенной влаги до величины приблизительно влажности длительного увядания запас почвенной влаги повышался поливами. Если корнеобитаемый слой почвы густо переплетен корнями деревьев, то нет, повидимому, оснований, руководствуясь экономическими соображениями или учетом физиологии растений, пополнять в почве запас легкодоступной влаги, пока она не будет полностью исчерпана деревьями.

На настоящем этапе исследовательской работы по вопросу орошения фруктовых садов в период вегетации можно говорить о том, что условием роста деревьев является постоянное наличие в почве легкодоступной влаги. Периодичность поливов, необходимая для поддержания в почве запаса легкодоступной влаги, зависит от полевой влагоемкости почв, от количества воды, накопляемой в почве при каждом поливе, и от скорости потребления воды фруктовыми деревьями. Чтобы обеспечить деревьям запас легкодоступной влаги в почве, необходимо производить поливы ранее наступления в почве влажности длительного увядания.

250. Поливы во вневегетационный период. Можно сохранить воду и предупредить ее потери, производя поливы и накопляя ее в почвах фруктовых садов в течение периода покоя растений. Поливая сады для указанной цели, следует избегать чрезмерного расхода воды, что связано с потерями не только влаги, но и легкорастворимых питательных веществ в результате глубокого просачивания воды в почву. Возможность получать оросительную воду в изобилии в периоды покоя растений является иногда причиной чрезмерного и ненужного ее расходования при поливах в этот период.

В районах с очень холодными зимами поливы садов должны производиться только после того, как деревья придут в состояние полного покоя. В противном случае поливы в это время могут быть причиной замедления роста, повреждения деревьев, и в результате — несвоевременного созревания плодов. Особенно важно убедиться в наступлении периода покоя до поливов поздней осенью молодых жизнедеятельных, подрастающих деревьев.

В штате Айдахо почвы в садах во вневегетационный период теряют около 2% общего количества влаги, несмотря на осадки, достигающие 125 *мм*. Почвы, наиболее увлажненные осенью, теряют также наибольшее количество влаги в течение периода покоя.

Основывая свои выводы скорее на фактическом потреблении воды деревьями и покровными культурами, а не на практике

орошения во вневегетационный период, Бекетт, Блани и Тейлор нашли, что в Калифорнии в течение 25 лет было 6 лет, когда требовались два зимних полива, 8 лет, когда нужен был один полив, и 11 лет, когда надобность в зимних поливах отсутствовала.

Для деревьев возникает опасность в случае, если к началу сезона покоя в почве имеется очень небольшой запас влаги. Изучение причин повреждения персиковых садов зимой в штате Юта привело к заключению, что одной из наиболее важных причин гибели деревьев была недостаточность поливов. Большинство персиковых деревьев в одном молодом саду, не политом своевременно осенью, погибло в течение зимы, а деревья в соседнем орошаемом саду оправились весной от зимних повреждений.

Персиковые и абрикосовые деревья другого сада на песчаной почве не были политы в достаточной мере. Деревья в нижней зоне (по направлению уклона) сада не поливались уже после 25 июля, верхняя же часть сада поливалась дважды после названной даты. Деревья, не политые в достаточной степени, не оправились после зимы; деревья же, поливавшиеся поздней осенью, полностью оправились, и только отдельные деревья или ветви оказались завядшими.

151. Потребность фруктовых деревьев в оросительной воде. Для орошения фруктовых садов требуется меньшее количество воды, чем для орошения люцерны в одинаковых климатических и почвенных условиях, а также в том случае, когда между рядами деревьев нет посевов других культур и отсутствует сорная растительность. В западных горных штатах США разница в объеме воды, потребляемом фруктовыми деревьями и посевами колосовых культур, невелика, но сады, как правило, требуют поливов поздней осенью, а колосовые культуры поспевают после полива в начале вегетационного периода.

Потребность зерновых культур и фруктовых деревьев в оросительной воде может приближаться друг к другу по величине только в течение короткого времени, примерно в средине вегетационного периода. Фруктовые сады можно поливать главным образом после созревания колосовых культур. Сахарная свекла и картофель нуждаются в оросительной воде примерно в то же время, как и сады. При одинаковых климатических и почвенных условиях свекла и картофель, вероятно, нуждаются в немного больших количествах оросительной воды, чем деревья.

252. Орошение яблонь. В одном из районов штата Орегон среднее годовое количество осадков около 750 *мм*, в вегетационный же период дожди дают в среднем около 65 *мм* воды. Потребность яблонь в оросительной воде колеблется в пределах от 3,75 до 13,0 $м^3$ на дерево за сезон, в зависимости от типа почвы.

При одинаковых обычно расстояниях между продольными и поперечными рядами деревьев 7,5 *м* расход воды в 3,75 $м^3$ на дерево эквивалентен слою воды глубиной около 225 *мм*. Яблоневые сады на легких суглинках в штате Айдахо с посевом клевера между деревьями потребляли ежегодно 715 *мм* воды, чем поддерживалась средняя влажность почвы 19% и обеспечивался наивысший урожай и наибольший процент яблок высшего качества. Исследователями было установлено, что на песчаной почве глубиной 60—90 *см*, подстилаемой мощным слоем песка, расход 900 *мм* воды ежегодно обеспечивал наибольшие урожаи фруктов. В тех же садах между деревьями сеяли и клевер.

253. Орошение грушевых деревьев. В другом районе штата Орегон было установлено, что интенсивность роста грушевых деревьев находится в тесной зависимости от влажности верхних 90 *см* почвы. В тех случаях, когда влажность становилась меньше 70% величины доступной влагоемкости, развитие фруктов также замедлялось. На участках с наиболее влажной почвой получали наибольшие урожаи фруктов.

Для садоводства в тех же районах штата Орегон рекомендуется поддерживать влажность почвы в пределах не менее 50% величины доступной влажности. Для уверенности в том, что почвенная влага находится в доступной для растений форме, необходимо производить частые проверки состояния подпочвы с помощью почвенного бура.

В продолжение шести лет, с 1932 по 1937 г., велись наблюдения над влиянием на грушевые деревья пятикратных поливов, причем каждый год одни и те же деревья поливались одинаково. При уменьшении влажности в верхних 90 *см* корнеобитаемого слоя до величины, равной 50% доступной влагоемкости почвы, уменьшалась скорость развития плодов, что свидетельствовало о недостатке воды.

Поддерживая в верхних 90 *см* почвы влажность, равную 50—75% величины доступной влагоемкости, в течение 5 лет получали плоды самых больших размеров, наибольшее развитие ветвей, сучьев, стволов деревьев, наибольшую общую площадь листвы и наивысшие средние урожаи груш.

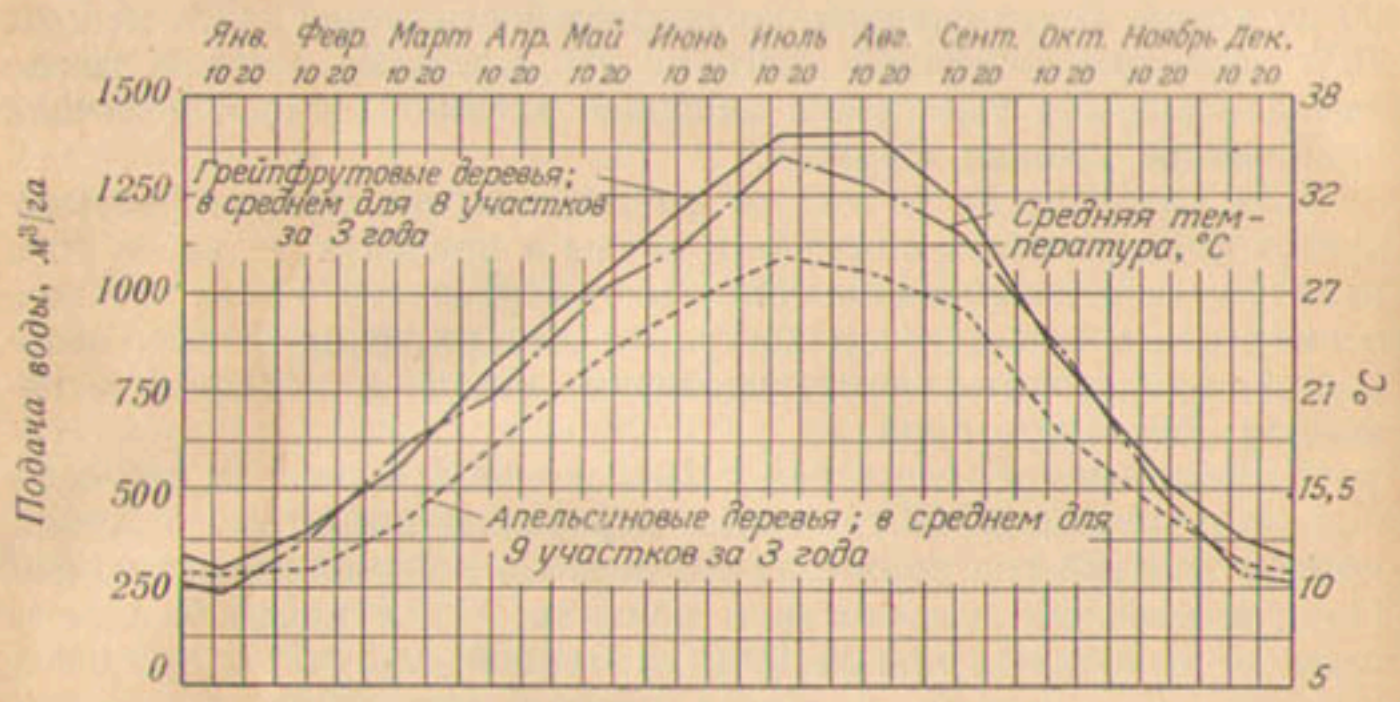
Чтобы сэкономить воду, следует отложить полив на 90 дней после полного цветения и затем в течение 60 дней производить частые поливы. Таким способом можно избежать какого-нибудь серьезного сокращения урожая, не лишив одновременно деревьев нужной для них воды.

Наблюдением в течение 6 лет за результатами поддержания средней доступной влажности почвы в пределах от 50 до 75% величины доступной влагоемкости почвы не было установлено какого-нибудь вредного влияния такой системы поливов на деревья.

254. Орошение персиковых деревьев. Расходуя 600 *мм* оросительной воды на гравелисто-суглинистых почвах в штате Юта, получали плоды хорошего качества, на 50% больше, чем было получено при общей затрате 1175 *мм*. Сады, на орошение которых было израсходовано 775 *мм* воды, дали урожай персиков почти такой же, как и сады, на орошение которых было затрачено 1550 *мм*.

Гравелистые почвы этих садов не позволяли пользоваться почвенным буром. Частые поливы малыми нормами воды почти всегда давали лучшие результаты по сравнению с менее частыми поливами, но при больших поливных нормах. В обоих случаях общая затрата оросительной воды за сезон была одинакова.

255. Цитрусовые сады. Характер корневой системы и потребность в воде цитрусовых деревьев непостоянны, они меняются



Р и с. 176. Количество воды в *м³/га*, потребляемой апельсиновыми и грейпфрутовыми деревьями при поливах с 30-дневными интервалами. Среднемесячные температуры в период проведения опытов.

в зависимости от почвенных условий; однако в большинстве условий цитрусовые деревья обладают корневой системой, развивающейся в самом верхнем слое почвы. Орошение цитрусовых садов подверглось обстоятельному изучению, что объясняется большой ценностью цитрусовых плодов и деревьев.

Главным фактором, влияющим на интенсивность потребления воды цитрусовыми садами, является, повидимому, температура воздуха. По графику на рис. 176 видно, что количество потребляемой воды находится в тесной зависимости от средних месячных температур. Для полива грейпфрутов при наиболее высокой температуре воздуха в конце июля и начале августа требовалось около 150 *мм* оросительной воды в месяц.

Гаррис, Киниссон и Альберт, изучая в штате Аризона потребление воды грейпфрутами и апельсинами, нашли, что от 65 до 70% общего количества корней плодоносящих цитрусовых деревьев находится в верхних 60 *см* почвы.

Наибольшее количество воды извлекается корневой системой цитрусовых деревьев из первых 30 *см* почвы, быстро уменьшаясь при переходе на бóльшую глубину. Обычно колебание количества воды, извлекаемой из почвы — из ее слоев на глубине более 90 *см*, невелико, если только влажность почвы все время остается относительно высокой. В большинстве цитрусовых садов две трети объема потребляемой воды получается из верхних слоев почвы глубиной 60 *см*, а одна четверть — из слоев на глубине 60—90 и 90—120 *см*.

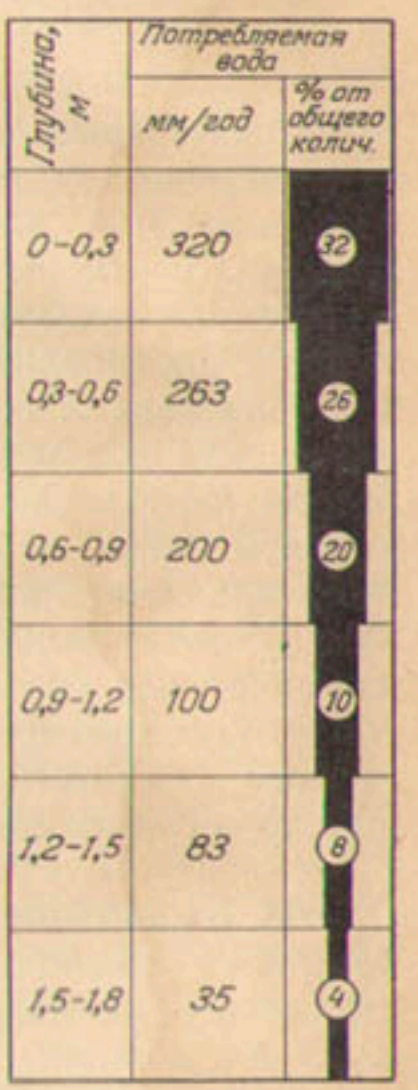


Рис. 177. Потребление воды финиковыми пальмами из каждых 30 *см* глубины корнеобитаемого слоя.

Гаррис измерил количество воды, потребляемой апельсинами и грейпфрутами из каждого 30-сантиметрового слоя почвы до глубины 1,8 *м*. Апельсиновые деревья получали из верхнего 30-сантиметрового слоя почвы 35% всего объема потребляемой ими воды, или 280 *мм*; только 10% было получено ими из слоев почвы на глубинах 1,2—1,5 и 1,5—1,8 *м*.

Грейпфруты получали за сезон 57% общего количества необходимой им воды из верхнего 60-сантиметрового слоя почвы и только 11% из слоев почвы на глубине 1,2—1,8 *м*. Финики получали 58% общего количества воды из верхнего 60-сантиметрового слоя и 12% — из слоя почвы на глубине 1,2—1,8 *м* (рис. 177). Для цитрусовых деревьев наиболее применимы чередующиеся поливы средними и малыми нормами воды, число же поливов с расходом большего количества воды должно быть не более двух в году.

Потребность в воде плодоносящих цитрусовых садов в Калифорнии в течение лета 375—450 *мм*, при условии полезного использования около 60% объема затрачиваемой воды. Для деревьев в возрасте 6—8 лет, достигших 40—50% их наибольшего роста, считается достаточным расход 150—200 *мм* оросительной воды.

Глава 17

ОРОШЕНИЕ В РАЙОНАХ С ВЛАЖНЫМ КЛИМАТОМ

Искусственное орошение, в основном, является дополнением к естественному орошению атмосферными осадками. Площадь земель в США, для которых орошение существенно необходимо, невелика в отношении ко всей обрабатываемой площади. В районах с влажным климатом возделывание сельскохозяйственных культур производится без помощи орошения, хотя дожди выпадают здесь из года в год недостаточно регулярно и не всегда могут обеспечить хорошие урожаи. Почвы влажных районов, вообще говоря, не обладают большой мощностью и поэтому способны накоплять только небольшие запасы воды, необходимой для растений; при длительных периодах между дождями рост культур замедляется. Сельские хозяева в районах с влажным климатом начинают всё больше интересоваться орошением как средством, гарантирующим их от случайных засух и обеспечивающим непрерывный и быстрый рост ценных овощных культур, хорошее состояние фруктовых садов и рост трав на пастбищах.

256. Недостаток дождей. Одно из наиболее интересных свойств природы — изменчивость ее явлений в различные периоды и в различных местах. В природе нет однообразия. Это также относится и к дождям. Периоды дождей и количество дождевых осадков меняется из года в год и из месяца в месяц. Такая изменчивость климатических условий имеет существенное значение для сельского хозяйства и побуждает сельских хозяев влажных районов повсеместно в США интересоваться вопросами орошения.

259. Орошаемые культуры в районах с влажным климатом. В районах с влажным климатом орошение широко применялось до последнего времени для поливов ягодников и овощных культур, дающих хороший доход с единицы площади, что оправдывает относительно большие капиталовложения для устройства оросительной системы. При наличии такой системы названные культуры, как правило, орошаются каждый год в большей или меньшей степени. На клубнике особенно благоприятно отзываются поливы в период плодоношения.

Следующим по важности объектом орошения в районах с влажным климатом, где почвы, возможно, и не нуждаются в

ежегодных поливах, являются фруктовые сады при возделывании ягод и овощных культур. Однако уменьшение урожаев фруктов в относительно сухие годы в некоторых местностях с влажным климатом полностью оправдывает затрату средств на устройство систем орошения. Как на пример, можно указать, что в штате Виргиния количество средних годовых осадков определено в 1050 *мм* в год, или 88 *мм* в месяц; эти цифры получены в результате 30-летних наблюдений. Однако в период с 1900 по 1929 г. было 10 лет со средним месячным количеством осадков в июле, августе и сентябре всего лишь 50 *мм*. Для получения наибольших урожаев садоводы штата Виргиния в течение этих трех месяцев нуждаются в оросительной воде в количествах, не меньших, чем может быть получено от дождей.

261. Источники снабжения оросительной водой. В районах с влажным климатом в США оросительная вода получается из трех источников: а) из рек, ручьев, озер и прудов; б) из запасов грунтовых вод; в) из городских водопроводных систем.

262. Способы орошения в восточных штатах США. В гл. 6 описано несколько способов поливов почвы. На рис. 178 показано применение переносных трубопроводов для орошения культур дождеванием. В штатах с влажным климатом дождевание применяется довольно широко. Рентабельны поливы дождеванием таких ягод, как клубника, и овощных культур, приносящих большие доходы. С другой стороны, дождевание садов или полевых культур, особенно культур пропашных, поливы которых могут производиться по бороздам, обходится дорого и потому невыгодно. На рис. 179 показан полив по бороздам на опытном участке колледжа штата Айова. Этот способ полива широко применим, например, при возделывании спаржи.

Руби сообщает, что поливы по глубоким и мелким бороздам являются наилучшим способом орошения всех культур в условиях штата Миссури, так как этот способ полива требует меньшей опытности и пользование им не связано с необходимостью значительной планировки поля. Руби рекомендует применять борозды длиной 67 *м* для песчаных почв, 100 *м* в суглинках и 135 *м* в тяжелых суглинках. Уклон борозд не должен превосходить 0,02. В одну борозду не следует пускать более 38 *л/мин* воды.

Способ сплошного затопления поля в восточных штатах применяется редко, за исключением случаев орошения таких культур, как рис, и орошения пастбищ. Возможно, что поливы по бороздам и затоплением получат большее распространение после лучшего ознакомления с ними. Повидимому, для орошения торфянистых почв выгодно подпочвенное орошение.



Рис. 178. Полив дождеванием при помощи переносного трубопровода.



Рис. 179. Полив делянок в опытах сельскохозяйственной станции штата Айова.

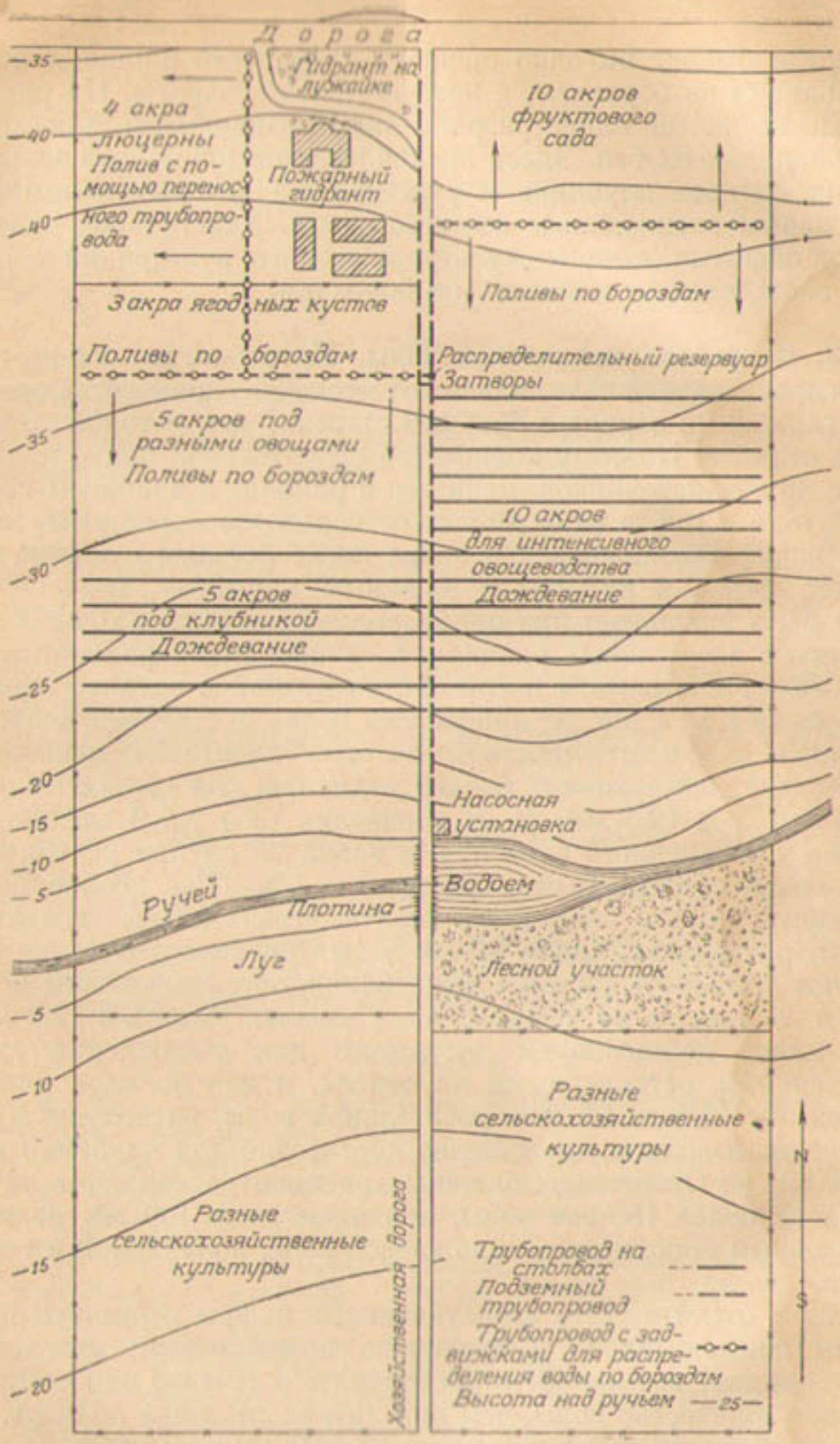


Рис. 180. Типовой план фермерского хозяйства с площадью в 80 акров (32,4 *га*) в районах с влажным климатом. Оросительная вода подается насосом из водоема на участки и распределяется на них дождеванием или по бороздам.

Иногда бывает выгодно орошать одну часть площади хозяйства поливом по бороздам, а другую — дождеванием. На рис. 180 показан типичный план, разработанный Вильямсом для хозяйства площадью 32,4 *га*. Здесь предполагается применить дождевание для поливов клубники и участков, на которых занимаются интенсивным специальным овощеводством. Участки же, отведенные под обычные овощные культуры, ягодные кустарники и фруктовые сады, следует поливать по бороздам.

263. Потребное количество воды. Потребность любой культуры в оросительной воде зависит от месячного количества осадков в вегетационный период в большей степени, чем от годового количества осадков. Поэтому количество оросительной воды, получаемой из других источников, меняется в районах с влажным климатом из года в год, в зависимости от осадков в период вегетации. Запас воды, накопившейся в почве после большого дождя, прошедшего летом в районах с влажным климатом, меньше, чем может быть накоплено при одном поливе в мощном корнеобитаемом слое в засушливых районах. В почвах таких районов влажность может повыситься после одного полива в среднем приблизительно на 6%. Если же орошаемая почва достаточно влажна и до полива, то ее влагоемкость может быть значительно меньше 6%. Например, если влажность почвы увеличилась на 4% после полива дождеванием в 12,5 *мм*, то из уравнения (35) гл. 9 следует, что глубина увлажненного слоя почвы равна 25 *см* при условии, что кажущийся удельный вес почвы $A = 1{,}3$. При необходимости увлажнить только несколько сантиметров почвы достаточно будет израсходовать менее 25 *мм* воды. Митчелл и Стебнер рекомендуют применять системы дождевания, обеспечивающие подачу воды в количестве не менее 25 *мм* в неделю. Расход в 12,5 *мм* за один полив дождеванием достаточен для увлажнения грядок с растениями, оставленными на семена, и для поливов молодых овощей. От 12,5 до 25 *мм* оросительной воды, расходуемой в течение одного полива, совершенно достаточно для клубники и молодых садов. Овощеводы влажных районов расходуют в течение сезона не более 150 *мм* воды, а в иные годы 100 *мм* являются достаточным дополнением к дождевой воде, получаемой в течение сезона.

Важно отметить, что вышеуказанные цифры и расчеты произведены применительно к орошению дождеванием; этот способ орошения дает возможность расходовать в течение одного полива меньшее количество воды, чем при других способах поливов. Так, например, трудно затратить менее 38—50 *мм* воды за один полив при поливе по бороздам или сплошным затоплением поля.

ЛИТЕРАТУРА

Глава 1

Adams F., Planning the Use of Our Irrigation Resources, *Agr. Eng.*, **17**, 325 (1936).

Clyde G., Farm Irrigation Investigations and Research in the 17 Western States, *Agr. Eng.*, **27**, 461—464 (October 1946).

Hutchins W., Lewis M., Ewing P., Irrigation in the United States, U. S. D. A. Yearbook of Agriculture, 1938, p. 693—703.

Israelsen O., Irrigation Science — The Foundation of Permanent Agriculture in Arid Regions, Second Annual Faculty Research Lecture, Utah State Agr. College, 1943.

Kimball F., Soil and Water Conserwation in Irrigated Areas, *Agr. Eng.*, 25, 285 (1944).

Matson H., More Production from Improved Irrigation Practices., *Agr. Eng.*, 24, 119 (1943).

Page J., Reclamation Handbook, U. S. Bur. Reclamation, Conservation Bull., 32, 1942.

Powers W., The New Reclamation Era in Venezuela, *Agr. Eng.*, **24**, 345 (1943).

Robertson G., FAO and the World Food Problem, *J. Am. Soc. Agron.*, **40**, 2—120 (1948).

Thomas G., Early Irrigation in the Western States, University of Utah, 1948.

Wood I., Irrigation and the War Effort, *Agr. Eng.*, **24**, 231 (1943). Yearbook Committee U. S. D. A., Climate and Man, House Document 27, 77th Congress, Ist Session, Yearbook of Agriculture, 1941.

Глава 2

Clyde G., Effect of Soil Absorption on Streamflow Forecasts, *Trans. Am. Geophys. Union*, 543—545 (1936).

Clyde G., Establishing Snow Courses for Representativeness, Permanence, and Continuity of Record, *Trans. Am. Geophys. Union*, 618—631 (1937).

Clyde G., Methods of Alleviating Water Shortages on Irrigation Projects, *Agr. Eng.*, **13**, 37—41 (1937).

Clyde G., Work R., Precipitation-Runoff Relationships as a Basis for Water-Supply Forecasting (reprint), *Trans. Am. Geophys. Union*, 43—55 (1943).

Culp M., The Effect of Spillway Storage on the Design of Upstream Reservoirs, *Agr. Eng.*, **29**, 344—351 (August 1948).

McClure T., Plugging Old Artesian Wells to Stop Underground Water Loss, *Eng. News-Record*, **116**, 425—427 (1936).

Mitchelson A., Muckel D., Spreading Water for Storage Underground, *U. S. D. A. Tech. Bull.*, **578** (1937).

Monson O., Conservation of Water by Means of Storage Reservoirs, Diversion Dams, Contour Dikes, and Ditches, *Montana State College Agr. Exp. Sta. Bull.* **301** (1935).

Muckel D., Water Spreading for Ground-Water Replenishment, *Agr. Eng.*, **29**, 74—76 (February 1948).
Smith G., Hiller J., Simplified Determination of the Safe Yield of a Ground-Water Basin, *Agr. Eng.*, **19**, 395 (1938).
Watson E., Ground Water in Agriculture (Utah), *Agr. Eng.*, **27**, 518 (1946).
Wisler C., Brater E., Hydrology, John Wiley and Sons, New York, 1949.

Глава 3

Benson J., Asphaltic Concrete Canal Lining Studied on Pasco Lateral System, *Western Construction News*, **22**, 12, 65—68 (1947).
Benson J., Canal Seepage Control at Low Cost, *Western Construction News*, **25**, 9, 72 (1949).
Bruhn H., Water Transmission and Distribution for Irrigation, *Agr. Eng.*, **19**, 264 (1938).
Byrne W., Canal Lined with Stabilized Earth, *Eng. News-Record*, **136**, 410—412 (March 1946).
Christiansen J., Portable Valve Meter for Measuring Irrigation Water, *Agr. Eng.*, **19**, 428 (1938).
Christiansen J., Measuring Water for Irrigation, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bul.*, 588 (reprinted January 1947).
Code W., Linings for Small Irrigation Ditches, *Colo. Farm Bull*, 8, 2, 14—15 (March — April 1946).
Corbett D., et al., Stream Gaging Procedure. A Manual Describing Methods and Practices of the Geological Survey, *U. S. Geol. Survey Water Supply*, 888 (1943).
Criddle W., Stock E., Water Measurement, *Utah State Eng. Exp. Sta. Bull.*, 2 (June 1941).
Debler E., Conveyance Losses in Canals, Civil Eng., **11**, 584—585 (October 1941).
Golze A., Lower-Cost Canal Lining Program, *Reclamation Era*, 32, 165—167 (August 1946).
Grover N., Harrington A., Stream Flow Measurements and Their Uses, John Wiley and Sons, New York, 1943.
Hale C., Coachella Canal, Excavating and Lining 141-Mile Canal, *Western Construction News*, **21**, **12**, 73—77 (1946).
Israelsen O., Lauritzen C., Linings for Irrigation Canals, *Reclamation Era*, **35**, 167 (1949).
Israelsen O., Reeve R., Canal Lining Experiments in the Delta Area, Utah, *Agr. Exp., Sta. Tech. Bull.*, **313**, 1944.
Johnston C., A Float Meter for Concrete Pipe Irrigation System Outlets, *Agr. Eng.*, **27**, 228—229 (1946).
Johnston C., A New Portable Field Water Meter and New Furrow Water Meter, *Agr. Eng.*, 27, 29 (January 1946).
King H., Handbook of Hydraulics, Third Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1939.
Lauritzen C., Israelsen O., West's Canal Linings Studied, *Western Construction News*, **22**, **5**, 85—87 (1947).
Lauritzen C., Israelsen O., Canal Linings Tested in Field, *Soil Conservation*, **XV**, **4**, 80 (1949).
Lewis M., Design of Small Irrigation Pipe Lines, *Oregon Agr. Exp. Sta. Circ.*, **142** (June 1941).
Parshall R., Parshall Flume of Large Size, *Colo. Agr. Exp. Sta. Bul.*, **386** (1932).
Parshall R., The Parshall Measuring Flume, *Colo. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 423 (1936).
Parshall R., Measuring Water in Irrigation Channels, *U. S. D. A. Farmers' Bul.*, **1683** (1932), Revised October 1941.

Parshall R., Improving the Distribution of Water to Farmers by Use of the Parshall Measuring Flume, *Colo. Agr. Sta. Bull.*, 448 (May 1945).
Rouse H., Elementary Mechanics of Fluids, John Wiley and Sons, New York, 1945.
Vennard J., Elementary Fluid Mechanics, John Wiley and Sons, New York, 1940.

Глава 4

Rohwer C., Discharge of Pipes Flowing Partly Full, *Civil Eng.*, **13**, **10**, 488 (October 1943).
Rohwer C., Canal Lining Manual, *U.S.D.A. Soil Conservation Service, Fort Collins, Colorado* (November 1946).
Rohwer C., Stout O., Seepage Losses from Irrigation Channels, *Colo. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.*, 38 (1948).
Rounds E., Forte E., Fry W., Lining Lateral Canals (with Precast Concrete Slabs), *Reclamation Era*, 32, 89—90 (April 1942).
Scobey F., Problems of Flow of Water of Special Concern to Agricultural Engineers, *Agr. Eng.*, **19**, 527 (1938).
Scobey F., Flow of Water in Irrigation and Similar Canals, *U.S.D.A. Tech. Bull.*, 652 (1939).
Steele T., Shotcrete Canal Linings, *Reclamation Era*, 34, 10, 189 (October 1948).
Tyler C., Concrete Lining on the Yakima Project, *Concrete*, **53**, 8, 12—13, 16, 19 (1945).
Woodford T., Lipp M., Sult H., Lower-Cost Canal Linings. A Progress Report on the Development of the Lower-Cost Linings for Irrigation Canals, *U.S. Bur. of Reclamation, Denver, Colo* (June 1948).
Young W., Low Cost Linings for Irrigation Canals, *Eng. News-Record*, **138**, 192—196 (February 1947).

Глава 5

Bennison E., Ground Water, Its Uses and Conservation, *Edward E. Johnson, Inc., St. Paul, Minn*, 1947.
Bird J., Western Ground Waters and Food Production, *U.S.D.A. Misc. Pub.*, **504** (1942).
Bixby F., Development of Water Supplies for Irrigation in Nevada by Pumping from Underground Sources, *Nev. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **112** (1928).
Code W., Construction of Irrigation Wells in Colorado, *Colo Agr. Exp. Sta. Bull.*, **415** (1935).
Code W., Use of Ground Water for Irrigation in the South Platte Valley of Colorado, *Colo. Agr. Exp. Sta. Bul.*, **483** (1943).
Code W., Equipping a Small Irrigation Pumping Plant, *Colo. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **433** (1946).
Curry A., Farm Irrigation Pumping Plants, New Mexico A and M, *Agr. Exp. Sta. Bull.*, **237** (1936).
Johnston C., Irrigation Wells and Well Drilling Methods in California, *Calif. Agr. Exp. Sta. Circular*, **361** (1945).
Lewis M., The Economic Design of Wells and Pumping Plants, *Agr. Eng.*, **14**, 312—315 (1933).
Molenaar A., Irrigation Pumping with Electric Power, *Agr. Eng.*, 22, 257 (1941).
Monson O., Murdock H., A Homemade Centrifugal Pump and Other Water-Lifting Devices, *Montana Agr. Exp. Sta. Bull.*, 324 (1936).
Rohwer C., Putting down and Developing Wells for Irrigation, *U.S.D.A. Circ.*, 546 (1940).

Rohwer C., Lewis M., Small Irrigation Pumping Plants, *U.S.D.A. Farmers' Bul.*, **1857**; (*Supersedes Bull.*, **1404**) 1940.
Rohwer C., Design and Operation of Small Irrigation Pumping Plants, *U.S.D.A. Circ.*, **678** (1943).
Smith L., Harry L., Farm Irrigation Pumping Systems, *Wash. Agr. Exp. Sta. Bull.* **311** (1935).
Wood I., Pumping Equipment for Irrigation, *Agr. Eng.*, **19**, 319 (1938).

Глава 6

Bloodgood D., Curry A., The Influence of Irrigation Head and Length of Run on the Use of water for Alfalfa, *N. Mex. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 197 (1931).
Christiansen J., Irrigation by Sprinkling, *Agr. Eng.* **18**, 12, 533—538 (1937).
Christiansen J., The Uniformity of Application of Water by Sprinkler System, *Agr. Eng.*, 22, 89—92 (1941).
Christiansen J., Irrigation by Sprinkling, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bul*, **670** (1942).
Christiansen J., Hydraulics of Sprinkling Systems for Irrigation, *Trans. Am. Soc. Civil. Engrs*, **107**, 221 (1942).
Christiansen J., Lawn Sprinkler Systems, *Calif. Agr. Exp. Sta. Circ.*, 134 (1947).
Clinton F., Invisible' Irrigation on Egin Bench, *Reclamation Era*, **34**, 10, 182 (1948).
Criddle W., A Practical Method of Determining Length of Runs, Size of Furrow Streams, and Spacing of Furrows, Mimeo, 1947; revised, March 1948.
Goodrich R., Formula for Border Strip Irrigation, Civil Eng., **4**, 210 (1934).
Israelsen O., George D., Soil Erosion in Small Irrigation Furrows, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, 320 (1946).
Jarvis J., Irrigation Guide, Union Pacific Railroad Co., 1947.
Johnston C., Comparison Performances of Metallic and Plastic Siphons for Irrigation, *Agr. Eng.*, **27**, 469—471 (1946).
Lewis M., Milne W., Analysis of Border Irrigation, *Agr. Eng.*, **19**, 267 (1938).
Lewis M., Practical Irrigation, U.S.D.A. Farmers' Bull., **1922** (*Supersedes Bull.* **864**, 1943).
Lewis M., Sprinkler Irrigation, U.S. Bur. of Reclamation, mimeo., 1947.
Lewis M., Sprinkler or Other Methods of Irrigation, *Agr. Eng.*, **30**, 2, 86 (1949).
McCulloch A., Design Procedure for Portable Sprinkler Irrigation, *Agr. Eng.*, **30**, 1, 23 (1949).
Overley F, Overholser E., et. al., Irrigation of Orchards by Sprinkling, *Wash. Agr. Exp. Sta. Bul.*, 268 (1932).
Page J., Farmers' Irrigation Guide, *U.S. Bur. of Reclamation Conservation Bull.*, 2 (1939).
Reddick H., Bamesberger J., Erosion Control on Steep Irrigated Slopes, *Agr. Eng.*, **19**, 531 (1938).
Taylor C., Transportation of Soil in Irrigation Furrows, *Agr. Eng.*, **21**, 307 (1940).
Turville E., Hitch D., Irrigation in Arizona, *Ariz. Agr. Ext. Ser. Circ.*, **123** (1944).
Wallinder O., Development of Agricultural Land for Irrigation, *Agr. Eng.*, **25**, 467 (1944).
Wood I., First Aid for the Irrigator, *U.S.D.A. Farm Security Adm.* (1943).

Глава 7

Curry A., Irrigation Structures and Implements, *N. Mex. Agr. Ext. Ser. Circ.* 92 (1927); revised (1944).
Givan C., Land Grading Calculations, *Agr. Eng.*, **21**, 11 (1940).
Johnston C., Farm Irrigation Structures, *Calif. Agr. Exp. Sta. Circ.*, 362 (1945).
Peikert F., Portable Pipe Irrigation Practices in Michigan, (Reprinted from Mich.), *Agr. Exp. Sta. Quart. Bull.*, **29**, 3, 194—204 (1947).

Глава 8

Bodman G., Edlefsen N., The Soil-Moisture System, *Soil Sci.*, **38**, 6, 425—444 (1934).
Bouyoucous G., Mick A., An Electrical Resilience Method for the Continuous Measurement of Soil Moisture under Field Conditions, *Mich. Agr. Exp. Sta. Tech, Bull.*, **172** (1940).
Dreibelbis F., Post F., Studies on Soil Moisture Relationships at the North Appalachian Experimental Watershed, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **5**, 377—385 (1940).
Dreibelbis F., Post F., An Inventory of Soil-Water Relationships on Woodland, Pasture, and Cultivated Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **6**, 462—473 (1941).
Edlefsen N., Forces Acting on Soil Moisture in Relation to Other Fundamental Functions, *Trans. Am. Geophys. Union*, 328—330 (1932).
Edlefsen N., Anderson A., Marcum W., Methods of Measuring Soil Moisture, *Ann. Am. Soc. Sugar Beet Tech.*, 1942.
Gardner W., The Influence of Soil Characteristics on Drainage and Irrigation Practices, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **1**, 383 (1936).
Horton R., Hydrologic Interrelations of Water and Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **1**, 401 (1936).
McLaughlin W., The Capillary Distribution of Moisture in Soil Columns of Small Cross Section, *U. S. D. A. Dept. Bull.*, 1221 (1924).
Richards L., Gardner W., Tensiometers for Measuring the Capillary Tension of Soil Water, *J. Am. Soc. Agron.*, **28**, 352—358 (1936).
Richards L., Hydraulics of Water in Unsaturated Soil, *Agr. Eng.*, **22**, 9, 325—326 (1941).
Richards L., Weaver L., Moisture Retention by Some Irrigated Soil as Related to Soil Moisture Tension, *J. Agr. Research*, **69**, 6, 215—235 (September 1944).
Rouse H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, McGraw-Hill Book Company, 1938.
Russel E., Soil Structure, *Imp. Bur. Soil Sci. Tech. Commun.*, **37**, Harpenden, England, 1938.
Scofield C., The Measurement of Soil Water, *J. Agr. Research*, **71**, 9, 375—402 (November 1945).
Shaw C., Smith A., Maximum Height of Capillary Rise Starting with Soil at Capillary Saturation, Hilgardia, **2**, 1927 p. 399—409.
Veihmeyer F., Total Pore Space of Soils in Place in the Field. Report of the Committee on Physics of Soil Moisture, 1934—1935, *Trans. Am. Geophys. Union* (*16-th Annual Meeting*), 426—432 (1935).
Veihmeyer F., Usefulness of Soil-Moisture Functions and Constants. Report of the Committee on Physics of Soil Moisture, 1933—1934, *Trans. Am. Geophys. Union* (*15th Annual Meeting*), 302—312 (1934).

Veihmeyer F., Edlefsen N., Interpretation of Soil-Moisture Problems by Means of Energy Changes, *Trans. Am. Geophys. Union (reprint)*, 302—318 (1937).
Veihmeyer F., Israelsen O., Conrad J., The Moisture Equivalent as Influenced by the Amount of Soil Used in its Determination, *Calif. Agr. Exp. Sta. Tech. Paper*, **16** (1934).

Глава 9

Colman E., A Laboratory Procedure for Determining the Field Capacity of Soils, *Soil Sci.*, **63**, 277 (1947).
Diebold C., Williams J., Irrigation Trials in New Mexico, *U. S. D. A. Soil Conservation Service Regional Bul.*, **106**, *Soil Series*, **11** (July 1948).
Edlefsen N., Effect of Soil Moisture Characteristics on Irrigation Requirements, *Agr. Eng.*, **18**, 247 (1937).
Hilgeman R., Changes in Soil Moisture in the Top Eight Feet of a Bare Soil during Twenty-Two Months after Wetting, *J. Am. Soc. Agron.*, **40**, 10, 919 (1948).
Israelsen O., Studies on Capacities of Soils for Irrigation Water and a New Method of Determining Volume Weight, *J. Agr. Research*, **13**, 1, 1—35 (1918).
Israelsen O., West F., Water-Holding Capacity of Irrigated Soils, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, **183** (1922).
Israelsen O., Criddle W., Fuhriman D., Hansen V., Water-Application Efficiencies in Irrigation, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.* **311** (March 1944).
Peele T., Beale O., Lesesne F., Irrigation Requirements of South Carolina Soils, *Agr. Eng.*, 29, 157—159 (1948).
Russel M., Richards L., The Determination of Soil Moisture Energy Relations by Centrifugation, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **3**, 65—69 (1938).
Russell M., Soil Moisture Sorption Curves for Four Iowa Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **4**, 51—54 (1939).
Scofield C., Wright C., The Water Relations of Yakima Valley Soil, *J. Agr. Research*, **37**, 65—85 (1928).
Staebner F., A Soil Moisture Meter, *Agr. Eng.*, **20**, 317 (1939).
Veihmeyer F., Hendrickson A., Water-Holding Capacity of Soils and Its Effect on Irrigation Practices, *Agr. Eng.*, **19**, 11, 487—490 (1938).
Veihmeyer F., The Validity of the Assumption That It is Possible to Produce Different Moisture-Percentages in Field-Soils. Report of the Committee an Physics of Soil- Moisture, 1938—1938, *Trans. Am. Geophys. Union*, 543—545 (1939).
Veihmeyer F., Hendrickson A., The Moisture Equivalent as a Measure of the Field Capacity of the Soils, *Soil Sci.*, **32**, 181—193 (1931).
Work R., Soil Moisture Control by Irrigation, *Agr. Eng.*, **20**, 9, 359—362 (September 1939).

Глава 10

Baver L., Soil Characteristics Influencing the Movement and Balance of Soil Moisture, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **1**, 431 (1936).
Baver L., Soil Permeability in Relation to Non-Capillary Porosity, *Proc. Soil. Sci. Soc. Am.*, **3**, 52—56 (1938).
Bodman G., The Variability of the Permeability «Constant» at Low Hydraulic Gradients during Saturated Flow in Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **2**, 45—53 (1937).
Bodman G., Herradine F., Mean Effective Pore Size and Clay Migration during Water Percolation in Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **3**, 41—51 (1938).

Bodman G., Colman E., Moisture and Energy Conditions during Downward Entry of Water into Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 8, 116—122 (1943).

Browning G., Milam F., The Lateral Movement of Water in Relation to Pasture Contour Furrows, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 386—389 (1940).

Colman E., Bodman G., Moisture and Energy Conditions during Downward Entry of Water into Moist and Layered Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 9, 3—11 (1944).

Colman E., A Laboratory Study of Lysineity Drainage under Controlled Soil Moisture Tension, *Soil Sci.*, 62, 365—382 (1946).

Donnan W., Christiansen J., Ground Water Determinations, *Western Construction News*, 19, 11, 77—79 (1944).

Duley F., Surface Factors Affecting the Rate of Intake of Water by Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 1, 60—64 (1939).

Duley F., Domingo C., Effect of Water Temperature on Rate of Infiltration, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 8, 129—134 (1943).

Edlefsen N., Capillary Potential Theory of Flow in Soils (reprint), *Am. Soc. Mech. Engrs.* (Aeronautics and Hydraulics Div.), 20—24 (1934).

Edlefsen N., Soil-Porosity in Relation to Gaseous- and Water-Movement. Report of Committee on Physics of Soil-Moisture, 1939—1940, *Trans. Am. Geophys. Union*, 414—433 (1940).

Edlefsen N., Bodman G., Field Measurements of Water Movement through a Silt Loam Soil, *J. Am. Soc. Agron.*, 33, 713—731 (1941).

Gardner W., The Role of the Capillary Potential in the Dynamics of Soil Moisture, *J. Agric. Research*, 53, 57—60 (1936).

Horton R., An Approach toward a Physical Interpretation of Infiltration-Capacity, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 399—417 (1940).

Israelsen O., Coordination of Research Concerning the Flow of Water in Soils, *Agr. Eng.*, 12, 435—438 (1931).

Kirkham D., Proposed Method for Field Measurement of Permeability of Soil below the Water Table, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 10, 58—68 (1945).

Lewis M., Flow of Ground-Water as Applied to Drainage Wells, *Trans. Am. Civil Engr.* (1932).

Lewis M., Rate of Flow of Capillary Moisture, *U.S.D.A. Tech. Bull.* 579 (October 1937).

Lutz J., Leamer R., Pore-Size Distribution as Related to the Permeability of Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 4, 28—32 (1939).

McCalla T., Factors Affecting the Percolation of Water through a Layer of Loessial Soil, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 9, 12—16 (1944).

Moore R., Water Conduction from Shallow Water Tables, Hilgardia, 12 (6), 1939, p. 383—426.

Moore R., Goodwin K., Hydraulic Head Measurements in Soils with High Water Tables, *Agr. Eng.*, 22, 7, 263—364 (1941).

Nelson W., Baver L., Movement of Water through Soils in Relation to the Nature of the Pores, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 69—76 (1940).

Pillsbury A., Christiansen J., Installing Ground-Water Piezometers by Jetting for Drainage Investigations in Coachella Valley, California, *Agr. Eng.*, 28, 409—410, illus, 1947. (U. S. Regional Salinity Lab., 76).

Richards L., Capillary Conductivity Data for Three Soils (reprint), *J. Am. Soc. Agron.*, 28 (1936).

Richards L., Neal O., Some Field Observations with Tensiometers, (reprint), *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 1 (1937).

Richards L., The Usefulness of Capillary Potential to Soil-Moisture and Plant Investigators, *J. Agr. Research*, 37, 12, 719—741 (1940).

Richards L., Concerning Permeability Units for Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 49—53 (1940).

Richards S., Joffe J., Percolation and Sorption of Water as They Relate to Infiltration in Collington Sandy Loam, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 4, 94—99 (1939).
Roe H., Park J., A Study of the Centrifuge Moisture Equivalent as an Index of the Hydraulic Permeability of Saturated Soils, *Agr. Eng.*, 25, 381 (1944).

Глава 11

Ahi S., Powers W., Salt Tolerance of Plants at Various Temperatures, Plant Physiol., 13, 767—789 (1938) (Reprint).
Burgess P., Alkali Soil Studies and Methods of Reclamation, *Arizona Agr. Exp. Sta. Bull.*, 123 (1928).
Christiansen J., Ground-Water Studies in Relation to Drainage, *Agr. Eng.*, 24, 339—342 (1943).
Christiansen J., Some Permeability Characteristics of Saline and Alkali Soils, *Agr. Eng.*, 28, 147—153 (1947).
Curry A., Saline Soils and Their Management, *N. Mex. Agr. Ext. Circ.* 105, 27 (1939).
Eaton F., Wilcox L., The Behavior of Boron in Soils, *U. S. D. A. Tech. Bull.*, 696 (1939).
Fireman M., Bodman G., The Effect of Saline Irrigation Water upon the Permeability and Base Status of Soils, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 4, 71—77 (1939).
Gardner R., Whitney R., Kezer A., Slick Spots in Western Colorado Soils, *Colo. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.*, 20, 13, illus. (1937).
Hayward H., The Control of Salinity, U. S. D. A. Yearbook of Agriculture 1943—1947; 1947, p. 547—553.
Hayward H., Magistad O., The Salt Problem in Irrigation Agriculture, *U. S. D. A., Misc. Pub.*, 607 (1946).
Hill R., Salts in Irrigation Water, *Trans. Am. Soc. Civil Engr.*, 1478 (1942).
Jennings D., Gardner W., Israelsen O., Seepage of Groundwater and its Relation to Alkali Accumulation, *Utah Agr. Exp. Sta. Circ.*, 106 (1934).
Kelley W., The Reclamation of Alkali Soils, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 617 (1937).
Kelley W., Permissible Composition and Concentration of Irrigation Water, Trans. Am. Soc. Civil Engr., 106, 846—861 (1941) (Paper 2114).
Kelley W., Brown S., Principles Governing the Reclamation of Alkali Soils, Hilgardia, 8 (5), 1934, p. 149—177.
Krimgold D., Kostiakov on Prevention of Waterlogging and Salinity of Irrigated Land, *Agr. Eng.*, 26, 327—328 (1945).
Larson C., Reclamation of Saline (Alkali) Soil in the Yakima Valley, Washington, *Wash. Agr. Exp. Sta. Bul.*, 376, 39, illus. (1942).
Magistad O., Christiansen J., Saline Soils, Their Nature and Management, *U. S. D. A. Circ.*, 707 (1944).
Reeve R., Allison L., Peterson D., Reclamation of Saline-Alkali Soils by Leaching, Delta Area, Utah, *Utah Agr. Exp. Sta. Bul.*, 335 (1948).
Reitemeier R., Christiansen J., The Effect of Organic Matter, Gypsum, and Drying on the Infiltration Rate and Permeability of a Soil Irrigated with a High Sodium Water, *Trans. Am. Geophys. Union*, 27, 2, 181—186 (1936) (U. S. Regional Salinity Lab. 61).
Scofield C., Quality of Waters of the Rio Grande Basin above Port Quitman, Texas, *U. S. Geol. Survey Water Supply Paper*, 839, 294 (1938).

United States Regional Salinity Laboratory, Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, by Laboratory Staff, Richards L., Editor, Multilithed.
Wilcox L., Explanation and Interpretation of Analyses of Irrigation Waters, *U. S. D. A., Circ.*, 784 (May 1948).

Глава 12

Aronovici V., Donnan W., Soil-Permeability as a Criterion for Drainage-Design (reptint), *Trans. Am. Geophys. Union*, 1, 95—102 (February 1946).
Cecil N., Drainage Wells vs. Drainage Canals Cost and Efficiency, mimeo., 1940, 3.
Donnan W., Model Tests of a Tile-Spacing Formula, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **11**, 131—136 (1946).
Donnan W., Streamline Flow, *The Iowa Engineer*, **126** (January 1946).
Gardner W., Israelsen O., Design of Drainage Wells, *Utah Eng. Exp. Sta. Bull.* **1** (1940).
Iakisch J., Reports on Drainage Survey Humboldt Project, Nevada, *U. S. Bull. of Reclamation* (June 1946).
Israelsen O., McLaughlin W., Drainage of Land Overlying an Artesian Groundwater Reservoir, *Utah Agr. Exp. Sta. Bul.*, **259** (1935).
Jessup L., Structure Used in Draining Agricultural Land, *U. S. D. A. Bull.* **1408** (1926).
Jessup L., Drainage of Irrigated Land by Pumping from Wells Often Advisable, U. S. D. A. Yearbook of Agriculture, 1930, p. 229—231.
King J., Lynes W., Tile Drainage, Fourth Edition, Mason City Brick and Tile Co, Mason City, Iowa 1946.
Maughan J., Israelsen O., Hansen E., Drainage Districts in Utah—Their Activities and Needs, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, **333** (January 1949).
Sutton J., How to Plan a Tile Drainage System, *U. S. D. A., Soil Conservation Service*, **17** (1948).
Weir W., Drainage in the San Joaquin Valley as It May Be Affected by the Central Valley Project, *Trans. Am. Geophys. Union*, 45—49 (1941).

Глава 13

Adams F., Robertson R., Beckett S., Hutchins W., Israelsen O., Investigations of the Economic Duty of Water for Alfalfa in Sacramento Valley, California, *Calif. Dept. of Engr. Bull.*, **3** (1915).
Briggs L., Shantz H., The Wilting Coefficient for Different Plants and Its Indirect Determination, *U. S. D. A. Bur. Plant Ind. Bull.*, **230** (1912).
Givan C., Irrigation Water Supply System Capacities, *Agr. Eng.*, **23**, 281 (1942).
Harris F., The Duty of Water in Cache Valley, Utah, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, **173** (1920).
Hendrickson A., Veihmeyer F., Irrigation Experiments with Peaches in California, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **479** (1924).
Magistad O., Breazeale J., Plant and Soil Relations at and below the Wilting Percentage, *Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul.*, **25** (1929).
Powers W., Field Moisture Capacity and Wilting Point of Soils, *Soil Sci.*, **14**, 159—165 (1922).
Shull C., Measurement of the Surface Forms in Soils, *Botan. Gazette*, **62**, 1—31 (1916).
Thomas M., Aqueous Vapor Pressure of Soils, *Soil Sci.*, **17**, 1—18, 1924, **25**, 409—418 (1928).

Thompson C., Barrows E., Soil Moisture Movement in Relation to Growth of Alfalfa, *New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul.*, **123** (1920).
Veihmeyer F., Hendrickson A., The Relation of Soil Moisture to Cultivation and Plant Growth, *Proc. First Intern. Congr. Soil Sci.*, **3**, 498—513 (1927).
Veihmeyer F., Hendrickson A., Soil Moisture at Permanent Wilting of Plants, *Plant Physiol.*, **3**, 355—357 (1928).

Глава 14

Alway F., McDole G., Relation of Movement of Water in a Soil to Its Hygroscopicity and Initial Moistness, *J. Agr. Research*, **10**, 391—428 (1917).
Beckett S., Blaney H., Taylor C., Irrigation Water Requirement Studies of Citrus and Avocado Trees in San Diego County, California, 1926 and 1927, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **489** (1930).
Blaney H., Taylor C., Young A., Rainfall Penetration and Consumptive Use of Water, *Calif. State Div. of Water Resources Bull.*, **33** (1930).
Blaney H., Ewing P., Israelsen O., Rowher C., Scobey E., Upper Rio Grande Basin, Part III, Consumptive Use of Water, National Resources Comm., 1938.
Blaney H., Ewing P., Morin K., Criddle W., Consumptive Water Use and Requirements, Pecos River Joint Investigation. Part III, Section 2, Reports of the Participating Agencies, National Resources Planning Board, 1942.
Blaney H., Ewing P., Irrigation Practices and Consumptive Use of Water in Salinas Valley, California, *Soil Conservation Service, Irrigation Division* (Appendix C, California State Bull. 52, Salinas Basin Investigation) (1946).
Blaney H., Criddle W., A Method of Estimating Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological Data, *U. S. D. A. Soil Conservation Service, mimeo.* (December 1947).
Blaney H., Criddle W., Consumptive Use of Water Rates in the Upper Colorado River Basin, *U. S. D. A. Soil Conservation Service, Division of Irrigation, mimeo* (1948).
Call L., Sewell M., The Soil Mulch, *J. Am. Soc. Agron.*, **9**, 49—61 (1917).
Conrad J., Veihmeyer F., Root Development and Soil Moisture, *Hilgardia*, **4**, May 1929, p. 113—134.
Criddle W., Marr J., Consumptive Use of Water Studies in Idaho, *Soil Conservation Service, Div. of Irrigation, mimeo* (1945).
Croft A., Water Loss by Stream Surface Evaporation and Transpiration by Riparian Vegetation, *Trans. Am. Geophys. Union*, **29**, **2**, 235—239 (April 1948).
Harding S., Israelsen O., et al., Consumptive Use of Water in Irrigation, Progress Report of Irrigation Division, *Trans. Amer. Soc. Civil Engr.*, **94**, 1349—1377 (1930).
Harris F., Yao H., Effectiveness of Mulches in Preserving Soil Moisture, *J. Agr. Research*, **23**, 9, 727—742 (1923).
Harris K., Hawkins R., Irrigation Requirements of Cotton on Clay Loam Soils in the Salt River Valley, *Ariz. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 181 (1942).
Hempsill R., Irrigation in Northern Colorado, *U. S. D. A. Bull.*, **1026** (1922).
Lowry R., Johnson A., Consumptive Use of Water for Agriculture, *Trans. Am. Soc. Civil Engr.*, **107**, 1243—1302 (1942).
McCall M., The Soil Mulch in the Absorption and Retention of Moisture, *J. Agr. Research*, **30**, 9, 819—831 (1925).
Powers W., Irrigation and Soil Moisture Investigations in Western Oregon, *Oregon Agr. Exp. Sta. Bull.*, **140** (1914).

Russell J., The Effect of Surface Cover on Soil Moisture Losses by Evaporation, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **4**, 65—70 (1939).
Shaw C., When the Soil Mulch Conserves Moisture, *J. Am. Soc. Agron*, **21**, 1165—1171 (1929).
Sleight R., Evaporation from the Surfaces of Water and River-Bed Materials, *J. Agr. Research*, **10**, 209—262 (1917).
Snelson W., Irrigation Practice and Water Requirements for Crops in Alberta, Canada, *Dept. of Interior, Canada, Reclamation Service, Irrigation Series, Bull.*, **6** (1922).
Veihmeyer F., Evaporation from Soils and Transpiration, *Trans. Am. Geophys. Union* (19th Annual Meeting), 612—619 (1938).
White W., A Method of Estimating Ground-Water Supplies Based on Discharge of Plants and Evaporation from Soil. Results of Investigations in Escalante Valley, Utah, *U. S. Geol. Survey Water Supply Paper* **59 A** (1932).
Widtsoe J., The Production of Dry Matter with Different Quantities of Irrigation Water, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, **116** (1916).
Young A., Blaney H., Use of Water by Native Vegetation, *Calif. State Div. of Water Resources Bull.*, **50** (1942).

Глава 15

Archer L., Growing Irrigated Grain in Southern Idaho, *U. S. D. A. Farmers' Bull.*, **1103** (1920).
Beckett S., Huberty M., Irrigation Investigations with Field Crops at Davis and at Delhi, California, 1909—1925, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **450** (1928).
Bloodgood D., Curry A., Net Requirements of Crops for Irrigation Water in the Mesilla Valley, New Mexico, *New Mexico Agr. Exp. Sta. Bull.*, **149** (1925).
Bowen L., Irrigation of Field Crops on the Great Plains, *Agr. Eng.*, **19**, 13 (1938).
Cykler J., Effect of Variation of Soil Water on Yield and Quality of Potatoes, *Agr. Eng.*, **28**, 353 (1937).
Ewalt H., Jones I., The Value of Irrigated Pastures for Dairy Cattle, *Ore. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **366** (1939).
Fortier S., Irrigation Practices in Growing Alfalfa, *U. S. D. A. Farmers' Bull.*, **1630**, 1930.
Fortier S., Young A., Irrigation Requirements of the Arid and Semi-Arid Lands of the Southwest, *U. S. D. A. Tech. Bull.*, **185** (1930).
Harrington F., A Comparison of Irrigated and Non-Irrigated Seed Potatoes, *Mont. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **279** (1933).
Harris F., Pittman D., The Irrigation of Alfalfa, *Utah. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **180** (1921).
Harris F., Pittman D., The Irrigation of Barley, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, **178** (1922).
Harris F., Pittman D., Irrigation Experiments with Sugar Beets, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, **186** (1923).
Jones J., Brown J., Irrigated Pastures in California, *Calif. Agr. Ext. Ser. Circ.*, **125** (Revised June 1947).
Law A., Singleton H., Ingham I., Irrigated Pastures for Central Washington, *Wash. Ext. Ser. Bull.*, **319** (1945).
Lyon T., Buzzell J., Effects of Plant Spacing and Irrigation on Number of Locks in Cotton, *J. of Agr. Research*, **27**, 1, 33—52 (1933).
Marr J., The Use and Duty of Water in Salt River Valley (Arizona), *Ariz. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **120** (1927).

Norton J., Irrigated Alfalfa in Montana, *Mont. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 245 (1931).
Norton J., Annual Forage Crops under Irrigation, *Montana Agr. Exp. Sta. Bull.*, 261 (1932).
Pittman D., Stewart G., Twenty-Eight Years of Irrigation Experiments Near Logan, Utah, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, 219 (1930).
Powers W., Johnston W., The Improvement and Irrigation Requirements of Wild Meadow and Tule Land, Oregon Agr. Exp. Sta. Bull., 167, (1920).
Robertson D., Kezer A., Sjogren J., Koonce D., Studies on the Critical Period for Applying Irrigation Water to Wheat, *Colo. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.*, 11 (1934).
Sandsten E., Potato Growing in Colorado, *Colo. Agr. Exp. Sta. Bul.*, 314 (1927).
Singleton H., Nelson C., Stanberry C., Alfalfa Varieties under Irrigation, *Wash. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 464 (1945).

Глава 16

Aldrich W., Lewis M., Work R., Lloyd A., Reimer F., Anjou Pear Responses to Irrigation in a Clay Adobe Soil, *Ore. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 374 (1940).
Brown J., The Contour Check Method of Orchard Irrigation, *Calif. Agr. Ext. Ser. Circ.*, 73, (1946).
Brown W., Influences of Irrigation upon Important Small Fruits, *Ore. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 347 (1936).
Furr J., Taylor C., Growth of Lemon Fruits in Relation to Moisture Content of Soil, *U. S. D. A. Tech. Bull.*, 640 (1939).
Harris K., Kinnison A., Albert D., Use of Water by Washington Navel Oranges and Marsch Grapefruit Trees in Salt River Valley, Arizona, *Ariz. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 153 (1936).
Harris K., Hawkins R., Irrigation Requirements of Cotton on Clay Loam Soils in the Salt River Valley, *Ariz. Agr. Exp. Sta. Bul.*, 181 (1942).
Hendrickson A., Veihmeyer F., Irrigation Experiments with Prunes, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 573 (1934).
Hendrickson A., Veihmeyer F., Responses of Fruit Trees to Comparatively Large Amounts of Available Moisture, *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 35, 289—292 (1936).
Hendrickson A., Veihmeyer F., The Irrigation of Pears on a Clay Adobe Soil, *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 34, 224—226 (1937).
Hendrickson A., Veihmeyer F., Irrigation Experiments with Pears and Apples, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bul.*, 667 (1942).
Hobart C., Harris K., Fitting Cropping Systems to Water Supplies in Central Arizona, *Ariz. Ext. Ser. Circ.*, 127 (1946).
Huberty M., Brown J., Irrigation of Orchards by Contour Furrows, *Calif. Agr. Ext. Ser. Circ.* 16, 3—16 (1932).
Lewis M., Work R., Aldrich W., Studies of the Irrigation of Pear Orchards on Heavy Soil near Medford, Oregon, *U. S. D. A. Tech. Bul.*, 432 (1934).
Lewis M., et al., Influence of Different Quantities of Moisture in a Heavy Soil on Rate of Growth of Pears, *Plant Physiol.*, 10, 309—323 (1935).
Magness V., et al., Soil Moisture and Irrigation Investigations in Eastern Apple Orchards, *U. S. D. A. Tech. Bull.*, 491 (1935).
Richards L., Huberty M., Moisture Studies Under Citrus Using Tensiometers, *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 39, 73—79 (1941) (U. S. Regional Salinity Lab. 12, 1943).

Taylor C., Orchard Tillage under Straight-Furrow Irrigation, *Agr. Eng.*, **16**, 99 (1935).
Taylor C., Furr J., Use of Soil-Moisture and Fruit-Growth Records for Checking Irrigation Practices in Citrus Orchards, U. S. D. A. Circ., **426** (1937).

Глава 17

Anderson K., Grohskopf J., Ground Water in Agriculture (Missouri), *Agr. Eng.*, **27**, 465—469 (1946).
Bell C., Irrigation as Crop Insurance, *Agr. Eng.*, **18**, 453 (1937).
Davis E., A State Irrigation Program, *Agr. Eng.*, **28**, 416—417 (1947).
Herrick S., Ground Water for Irrigation in Georgia, *Agr. Eng.*, **27**, 521—522 (1946).
Hutchins W., Water Rights for Irrigation in Humid Areas, *Agr. Eng.*, **20**, 431 (1939).
Lewis M., Water Conservation a Supplementary Irrigation in the Northern Great Plains, *Agr. Eng.*, **18**, 495 (1937).
Overholt V., Supplementary Irrigation in the Central States, *Agr. Eng.*, **20**, 237 (1939).
Peikert F., Portable Pipe Irrigation Practices in Michigan, *Mich. Agr. Exp. Sta. Quart. Bull.*, **29**, **3**, 194—204 (1947).
Peikert F., Light-Weight Portable Pipe for Irrigation, *Agr. Eng.*, 28, 567—568 (1947).
Powers W., Thirty Years of Supplemental Irrigation Studies, *Agr. Eng.*, **21**, 311 (1940).
Powers W., The Value of Supplemental Irrigation in Willamette Valley, *Ore. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **439** (1946).
Price F., Sprinkler Irrigation in the Humid Sections of Oregon, *Agr. Eng.*, **19**, 161 (1938).
Rubey H., Supplemental Irrigation for Missouri and Regions of Similar Rainfall, *Univ. of Missouri Bull.*, **9**, **49** (1947); *Engr. Exp. Sta. Bul.*, **33** (1947) (Revised).
Staebner F., Supplemental Irrigation in Humid Areas, *Agr. Eng.*, **18**, 165 (1937).
Staebner F., Supplementary Irrigation on the Atlantic Coast, *Agr. Eng.*, **20**, 271 (1939).
Staebner F., Supplemental Irrigation, *U. S. D. A. Farmers' Bull.*, **1846** (1940).
Staebner F., Determining an Index of Supplemental Irrigation and Its Application, *Agr. Eng.*, **21**, 215 (1940).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. Прогресс в ирригации и задачи орошения 5
Глава 2. Источники оросительной воды и ее аккумулирование 12
Глава 3. Учет оросительной воды 25
Глава 4. Подача оросительной воды 55
Глава 5. Подача оросительной воды насосами 76
Глава 6. Способы орошения 104
Глава 7. Механизмы и сооружения в орошаемых хозяйствах 139
Глава 8. Основная взаимосвязь между почвой и водой 156
Глава 9. Накопление воды в ненасыщенных почвах 175
Глава 10. Передвижение воды в почве 207
Глава 11. Солонцы и солончаки 229
Глава 12. Дренаж орошаемых земель 253
Глава 13. Сроки поливов 268
Глава 14. Использование воды при орошении 280
Глава 15. Орошение зерновых, кормовых культур и корнеплодов . . . 298
Глава 16. Орошение садов 317
Глава 17. Орошение в районах с влажным климатом 332

Литература 337