Н. М. Решеткина
Х. И. Якубов

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

631.6
Р-47

Н. М. Решеткина
Х. И. Якубов

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

Второе издание,
переработанное и дополненное

67779

Научно-техническая
САНИИРИ
БИБЛИОТЕКА

МОСКВА «КОЛОС» 1978

631.6
Р47
УДК 631.674.3

Введение, главы 1, 2, 6 и заключение написаны *Н. М. Решеткиной*, главы 3, 4, 7, 8, 10 и 11 — *Н. М. Решеткиной* и *Х. И. Якубовым*, глава 5 подготовлена А. М. Сойфером, глава 9 — *Н. М. Решеткиной* и *А. Я. Белоусовым*.

Общая научная редакция выполнена *Н. М. Решеткиной*.

Решеткина Н. М. и Якубов Х. И.

Р 47 Вертикальный дренаж. 2-е изд., перераб. и доп. М., «Колос», 1978.

320 с. с ил.

Рассмотрены особенности формирования грунтовых вод орошаемых земель в связи со строительством технически совершенных оросительных систем. Обобщен опыт проектирования, строительства и эксплуатации крупных систем вертикального дренажа в различных орошаемых районах страны.

Рассчитана на инженеров-мелиораторов и гидротехников, гидрогеологов, почвоведов, а также может быть полезна студентам обучающимся по специальности «Гидромелиорация».

Р $\frac{40305-156}{035(01)-78}$ 61—78 631.6

© Издательство «Колос», 1978

ВВЕДЕНИЕ

Задача, поставленная Партией и Правительством Советского Союза,— обеспечение неуклонного подъема материального и культурного уровня народа — требовала осуществления долговременной программы по развитию сельского хозяйства, намеченной мартовским (1965 г.) Пленумом ЦК КПСС, предусматривающей систему планомерных мероприятий по подъему сельского хозяйства и укрепления его материально-технической базы. В связи с этим необходимо было повысить плодородие пахотных земель, создать условия для получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Решение этой важной политической и народнохозяйственной задачи определил майский (1966 г.) Пленум ЦК КПСС.

Последовательная политика Партии и Правительства в осуществлении и дальнейшем развитии решений майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС за прошедшие годы определила, с одной стороны, бурные темпы развития мелиораций по всей стране, а с другой — быстрое и все нарастающее перевооружение технических средств и материальной базы, обусловивших техническую революцию в гидромелиоративном строительстве.

На смену земляным каналам и старым несовершенным системам с к.п.д. не более 0,3—0,4 пришли новые технически совершенные оросительные системы — крупные каналы в противофильтрационной одежде, напорные трубопроводы, питающие многоопорные дождевальные машины, позволяющие максимально автоматизировать полив, сводить к минимуму затраты на него ручного труда и поднимать к.п.д. систем до 0,85—0,98.

Орошаемое земледелие шагнуло из аридной зоны — зоны традиционного орошения — в зону засушливых и полузасушливых степей, а также в лесостепную, постепенно продвигаясь на север страны, где встала задача создания осушительно-увлажнительных систем. Естественно, что огромный, тысячелетиями накопленный опыт орошаемого земледелия Средней Азии далеко не везде и не во всем можно было использовать по аналогии. Новые районы развивающегося орошаемого земледелия — юг Украины, Северный Кавказ, Поволжье и другие по совокупности природных условий имеют серьезные отличия — иные климатические условия, почвенный покров, гидрогеологические условия, растительность и др.

Соответственно отличаются и агроэкономические характеристики зон нового орошения. Главная особенность их — наличие

производительных пахотных земель. На этих землях в богарных условиях возделывают сельскохозяйственные культуры, которые в благоприятные по влажности годы дают хорошие урожаи ценных сортов пшеницы, свеклы, масличных, трав и др. Однако урожаи здесь неустойчивы и зависят от погодных условий года. Поэтому орошение в этой зоне должно организовываться как дотация к осадкам при строгом учете погодных условий каждого конкретного года.

Другая особенность земель этих зон — исключительная ценность почв автоморфного ряда с глубокими грунтовыми водами (черноземы и каштановые). Они имеют самые высокие бонитировочные показатели, представляют национальное богатство страны и требуют бережного к себе отношения, особенно при орошении, учитывая склонность их к солонцеванию, слитообразованию, выщелачиванию, эрозии. Все это заставляет весьма внимательно выбирать способ, технику, нормы и режим орошения.

Третья особенность рассматриваемых земель — это чрезвычайные трудности, возникающие при падении их плодородия в связи с процессами вторичного засоления. Биогеохимические особенности почв этих зон создают серьезные трудности при промывном режиме орошения, даже при относительно небольших дозах солевых аккумуляций. Повышенная щелочность, склонность к содообразованию и резкому падению плодородия в связи с осолонцеванием — явления трудно обратимые, требуют огромных затрат времени и средств и применения химических мелиораций.

Таким образом, одно из главных условий развития орошения на этих землях (кроме способов, техники и режимов орошения) — сохранение природных автоморфных условий почвообразования, то есть глубокого залегания уровня грунтовых вод, надежно обеспечивающего отрыв капиллярной каймы от корнеобитаемой зоны. Эта глубина должна быть более 8—10 м.

Современные технические средства, особенно вертикальный дренаж, позволяют поддерживать такой уровень грунтовых вод. Сфера действия вертикального дренажа значительно раздвигается в связи:

с резким сокращением инфильтрационных потерь на технически совершенных оросительных системах, снижающих дренажный модуль до 0,05—0,02 л/с·га;

с совершенствованием технологии строительства и конструкции фильтров скважин вертикального дренажа, позволяющих каптировать слабопроницаемые грунты.

На высоких террасах вдоль крупных рек Волга, Дон, Днепр и других, где имеются подпоры, созданные каскадом крупных гидроэнергетических сооружений, автоморфный режим целесообразно поддерживать системой оросительно-дренажных скважин, забирающих воду из аллювиальных песков. Эти скважины хорошо вписываются в новые технически совершенные оросительные системы. Здесь дренажный модуль увеличивается до 0,1 л/с·га (при работе скважины в вегетационный период). Откачиваемая вода используется на орошение.

Для всех южных рек европейской части СССР, особенно после изменения их режима, затопления пойменных земель и образования мелководий, остро встал вопрос о качестве оросительной воды, так как при высоких температурах ее щелочность повышается, даже при малых минерализациях. Поэтому весьма актуальны во-

просы мелиорации оросительной воды (поверхностной и подземной) и технической очистки дренажных вод для их повторного использования в связи с развивающимся орошением.

Откачиваемые вертикальным дренажем воды как в чистом виде, так и в смеси с поверхностными широко используют при промывном режиме орошения на землях Голодной степи, Ферганской долины, Бухарского оазиса и других районов. Насыщенность воды и почв кальцием, в частности гипсом, и особенности сероземных почв на лессовых грунтах создают предпосылки для применения воды повышенной минерализации (до 3 и даже 7 г/л). В таких условиях орошение дренажными водами позволяет вернуть фильтрационные потери оросительных систем и повторно использовать воду. Это особенно важно на еще существующих старых оросительных системах в земляных руслах с к.п.д. 0,55—0,6. Кроме того, не происходит такого сильного выщелачивания гипса и часть кальция вновь задерживается в почвогрунтах.

Строгий контроль за качеством и количеством выносимых и остающихся в почвах солей и питательных веществ — одна из важных задач службы мелиорации в староорошаемых районах. Созданная там искусственная дренированность при необоснованном и бесконтрольном промывном режиме орошения может привести к перевыщелачиванию, обеднению почв питательными элементами и вместе с тем к содообразованию, осолонцеванию и соответствующему падению плодородия почв. Эти явления были отмечены на легких почвах Краснознаменской системы, Муганской степи и др.

Чем совершеннее оросительные системы, тем гибче становится система управления водно-солевым, воздушным и питательным режимом, поэтому требования к методам контроля и управления этими процессами должны быть выше.

Постепенная замена старых оросительных систем на новые технически совершенные, несомненно, заставит пересмотреть и функции построенного дренажа. Соответственно сокращению забора воды из источника (река), повышению к.п.д. систем, совершенствованию техники полива будут уменьшаться дренажные модули и общий сток коллекторных вод с орошаемого массива. Так, в Голодной степи, Ферганской долине и Бухарском оазисе начальный срок работы скважин вертикального дренажа (10—11 месяцев в году) сократится до 5—6 месяцев, и они будут работать только по оросительному графику. Солевой баланс региона будет определять подземный сток, усиленный, если это потребуется, несколькими крупными коллекторами. В Голодной степи и Ферганской долине этот сток будет направлен в р. Сырдарья, в Бухарском оазисе — в понижении пустыни Кызылкум. Таким образом, функциональные задачи вертикального дренажа, зависящие от природных условий, вместе с тем самым тесным образом связаны со всем гидромелиоративным комплексом и социально-экономическими возможностями. Они будут меняться по мере расширения последних.

XXV съезд КПСС еще раз подтвердил, что мелиорация является важнейшей составной частью аграрной политики партии на современном этапе. Она поставлена на уровень важнейших народнохозяйственных задач, а по своим масштабам приобрела за последнее десятилетие такой размах, которого не знала еще ни одна страна в мире.

Перераспределение речного стока и более полное использование энергетического потенциала рек, существенно меняющие их режимы, а также осушение болот северной части страны, обводнение пустынных пастбищ, невиданные темпы и масштабы развития орошаемого земледелия, значительно раздвинувшего свои границы, изменяют культурные ландшафты страны, влияя на ее географию в целом. Мелиорация оказывает воздействие на все элементы природного комплекса — приземные слои атмосферы, почвы, поверхностные и подземные воды, растительный и животный мир, рельеф, геодинамические процессы и другое, то есть на весь ход процессов геобиоценоза, определяющих культурные ландшафты страны, способствуя социально-экономическому развитию страны.

Вертикальный дренаж как составная часть новых мелиоративных систем имеет большое будущее. На землях старого орошения его эффективность превзошла все, даже самые смелые расчеты. Только в Голодной степи внедрение вертикального дренажа в девятой пятилетке позволило увеличить валовой сбор хлопка-сырца на 230 тыс. т.

Капиталовложения на его строительство окупались по мере ввода в эксплуатацию (см. гл. 11). Проблема ликвидации вторичного засоления земель, с которой боролись более полувека, наконец была полностью и окончательно решена.

В настоящей работе вертикальный дренаж рассмотрен как органический элемент современных технически совершенных оросительных систем, которые вместе с агротехническими, агрохимическими и организационными мероприятиями позволяют обеспечивать прогрессирующее повышение плодородия почв и устойчивое получение запрограммированных урожаев сельскохозяйственных культур.

В зависимости от задачи, которая стоит перед системой вертикального дренажа, можно различать:

мелиоративный вертикальный дренаж, который должен создать условия для рассоления промывками и промывным режимом орошения первично или вторично засоленных земель и в дальнейшем поддерживать заданный оптимальный мелиоративный режим;

профилактический вертикальный дренаж, цель которого — предохранение (профилактика) вновь орошаемых земель от возможных последствий подъема уровня грунтовых вод при орошении. Этот дренаж проектируют и строят обычно на землях с почвами автоморфного ряда для сохранения благоприятных природных почвообразовательных процессов, например в зоне черноземных и каштановых почв;

оросительно-дренажные скважины сочетают функции вертикального дренажа с добычей подземных вод для орошения. Их строят главным образом в долинах крупных рек (Волга, Днепр и др.), где имеется мощный песчано-гравелистый аллювий, насыщенный пресными подземными водами, сток которых подперт каскадом плотин и водохранилищ, а питание существенно увеличено орошением, развивающимся на многих сотнях тысяч гектаров террасовых земель.

Глава 1

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И МЕЛИОРАЦИИ

РАЗВИТИЕ ОРОШЕНИЯ И ДРЕНАЖА

Мелиорации, и в частности орошение, имеют столь же древнюю историю, как и цивилизация на Земле. Примером могут служить вавилонская цивилизация на берегах Тигра и Евфрата, древние цивилизации в долинах Инда и Нила. Сохранились остатки оросительных сооружений, построенных несколько веков назад в Индии, Египте, Ираке, Италии и в других странах. Широко известна тысячелетняя история орошения Средней Азии и Закавказья.

К 1800 г. общая площадь орошения в мире составляла около 8 млн. га, к концу XIX в. эта площадь увеличилась в 6 раз. XX в. ознаменовался значительным прогрессом в области орошения, особенно после второй мировой войны. В настоящее время площадь орошаемых земель превышает 200 млн. га.

Дренаж, как мелиоративное мероприятие, появился, вероятно, в период греческой цивилизации: с помощью системы каналов осушали отдельные площади. Закрытый гончарный дренаж известен с начала XIX в., а механизированная его укладка — с середины XX в.

Применение вертикального дренажа в комплексе оросительных систем относится к началу XX в. В 1923—1925 гг. в США (штат Аризона) в долине р. Соленая после неудачных попыток строительства горизонтального дренажа была заложена система вертикального дренажа, решившая проблему мелиорации засоленных земель межгорной долины.

В настоящее время общая площадь земного шара, дренируемая искусственным дренажем, составляет около 100 млн. га.

В пределах СССР мелиорации имеют древнюю историю (Средняя Азия, Закавказье, ряд районов Казахстана). В 1913 г. мелиорированные площади в России насчитывали 7,2 млн. га, в том числе орошаемых 4 млн. га и осушенных 3,2 млн. га. После Великой Октябрьской социалистической революции развитие орошения земель в Средней Азии и Закавказье проводилось преимущественно в хлопководческих районах; сооружались крупные каналы и коллекторы для сброса избыточного поверхностного и дренажного стоков. В 1930 г. было начато строительство первой крупной оросительной системы в Таджикистане (Вахшская ОС), где было по-

ложено начало механизации водохозяйственных работ. Методом народных строек были сооружены Большой Ферганский канал протяженностью 275 км и Северный Ферганский канал длиной 165 км в Узбекистане, Самур-Дивичинский канал в Азербайджане длиной 107 км и др. В результате к 1944 г. было введено в строй 170 крупных каналов и систем. В послевоенные годы продолжались работы по сооружению оросительных, осушительных и обводнительных систем.

Орошение осуществлялось в основном из земляных каналов поверхностным способом. В ряде случаев эксплуатация таких систем приводила к подъему уровня грунтовых вод. Например, в Голодной степи орошение с помощью каналов в земляных руслах (к.п.д. оросительных систем 0,3—0,5) вызвало подъем уровня грунтовых вод со скоростью 0,5—3,5 м в год. В первоначальных проектах предполагалось, что эта скорость будет не более 0,5 м в год. Таким образом, за 5—10 лет грунтовые воды поднялись с глубины 18—20 м до 2—3 м, что привело к развитию процессов вторичного засоления земель, падению на них урожайности и частичному выпадению земель из сельскохозяйственного оборота.

Проблема применения вертикального дренажа на орошаемых землях в Узбекистане возникла еще в 20-х годах, когда после исторического декрета В. И. Ленина Г. К. Ризенкампф приступил к разработке проекта орошения в Голодной степи. Первая группа советских гидротехников, направленная в США для изучения опыта гидротехнического строительства, привезла также материалы по использованию насосных или «калифорнийских» колодцев, которые в то время начали широко использовать в западных штатах США (1925—1930 гг.).

В конце 20-х —начале 30-х годов в Голодной степи на Центральной опытно-мелиоративной станции (ЦОМС), в Бухарской области, а также в Ферганской долине и Азербайджане были построены и испытаны одиночные колодцы различных конструкций (Н. В. Макридин, Б. Д. Коржавин, М. М. Решеткин, О. К. Ланге, Н. А. Беседнов и др.). Однако слабая техническая оснащенность опытных работ и недостаточная изученность и разведанность гидрогеологических условий не позволили в те годы показать эффективность и перспективы развития вертикального дренажа в республиках Средней Азии и Закавказья.

Новый этап в развитии гидрогеологических и мелиоративных исследований был связан с послевоенным подъемом народного хозяйства, с прогрессом в области буровой техники и характеризовался все нарастающими темпами внедрения разведочных работ в практику гидрогеологических исследований. Вместе с тем широкое развитие получило бурение на нефть и строительство буровых колодцев для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

В 1946 г. по инициативе Б. Д. Коржавина в Академии наук УзССР на разработку поставили проблему использования глубоких откачек подземных вод для мелиорации и водоснабжения. Были проанализированы и обобщены накопленные к тому времени гидрогеологические материалы, сформулированы гидрогеологические принципы применения вертикального дренажа орошаемых земель, рассмотрены перспективы его развития как по всей республике, так и в одном из важнейших объектов мелиорации — Голодной степи, определены основные требования к скважинам

вертикального дренажа, составлены прогнозные карты его применения для разных районов республики, обоснованы участки для строительства первоочередных опытно-производственных систем вертикального дренажа в главнейших оазисах республики — Голодной степи, Ферганской долине, Бухарской области (Решеткина, 1956, 1960).

В 1956—1966 гг. на основе теоретических и опытных исследований Институт водных проблем и гидротехники (ИВПиГ) АН УзССР (ныне САНИИРИ), институт Узгипроводхоз и Ташкентский филиал Союзгипрорис (главные инженеры проектов: Б. А. Михельсон, З. И. Копп, Н. В. Гладей, А. Б. Пащенко, М. А. Киселев и др.) составили проекты опытно-производственных систем вертикального дренажа в разных районах, наиболее нуждающихся в мелиорации земель: в Голодной степи Гулистанская (1000 га), Шурузякская (3000 га) и Пахтааральская (11 000 га); в Бухарской области Каганская (1800 га) и в Ферганской долине Кировская (650 га).

Следует подчеркнуть, что для опытно-производственных систем были выбраны самые тяжелые (плывунность грунтов, напорность подземных вод и очень малые уклоны местности), сильно засоленные земли и солончаки, где открытая коллекторно-дренажная сеть не давала эффекта.

Наблюдения и исследования, проведенные САНИИРИ (руководители: Р. А. Алимов, Н. М. Решеткина; исполнители: Х. И. Якубов, А. У. Умаров, Х. А. Кадыров, Л. Л. Карелис, З. П. Пушкарева, В. А. Барон и др.) в процессе проектирования, строительства и опытной эксплуатации указанных систем вертикального дренажа, позволили подтвердить основные теоретические положения, уточнить параметры проектирования и отработать принципы расчета вертикального дренажа орошаемых земель. В результате в 1966 г. были созданы первые Методические указания, утвержденные ММиВХ СССР. Все это явилось основой для широкого внедрения вертикального дренажа в староорошаемых районах для исправления аппарата регулирования водно-солевого режима, а в районах нового орошения для создания (или сохранения) оптимального мелиоративного режима.

Технический прогресс и развитие ряда теоретических направлений в мелиорации, агротехнике и агрохимии уже сейчас позволяют создавать и поддерживать на оросительных системах необходимый водно-солевой и питательный режимы почв для нормального развития сельскохозяйственных культур.

Примером могут служить автоматизированная система вертикального дренажа в Голодной степи (Пахтааральская) и осушительно-увлажнительная автоматизированная система на базе вертикального дренажа в центральной части Белорусского Полесья.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И ПОТРЕБНОСТЬ В МЕЛИОРАЦИИ

Элементы естественноисторического комплекса находятся в тесной взаимосвязи и в своем распределении подчинены широтной и высотной зональности. Учение о климатической и географической зональности было впервые разработано А. И. Воейковым и В. В. Докучаевым. Дальнейшее развитие оно получило в трудах

Таблица 1. **Характеристика зон по естественным условиям водного режима (по А. Н. Костякову)**

Зона	Дефицитные факторы развития растений (плодородия)	Основные направления и средства мелиораций	Виды мелиораций
Избыточного увлажнения	Воздух в почве, ее температура и зольные усвояемые вещества	Повышение аэрации почвы путем устранения избытка воды и ускорения стока поверхностных и почвенных вод	Предохранение от затопления. Осушение. Регулирование водоприемников
Неустойчивого увлажнения	Факторы, соответствующие условиям избыточного или недостаточного увлажнения, в зависимости от местных и погодных условий	—	Мелиорации, соответствующие условиям избыточного или недостаточного увлажнения, в зависимости от местных условий
Недостаточного увлажнения	Влага в почве и концентрация почвенных растворов	Восполнение недостатка воды. Задержание и использование стока	Орошение, обводнение и увлажнение почвы. Регулирование местного стока

советских ученых (Л. С. Берг, И. П. Герасимов, А. А. Григорьев и др.). Биогеохимическую сущность зональных процессов раскрыл В. И. Вернадский, показав особую роль воды в природе. Применительно к грунтовым водам эти идеи развиты в работах В. С. Ильина, К. И. Лисицына, Б. Л. Личкова, Н. И. Толстихина, О. К. Ланге, Г. Н. Каменского, Д. М. Каца и других.

Климат, геологическое строение, рельеф, поверхностные и подземные воды, почвы и растительный покров — неразрывные звенья единого целого, создающего ландшафт в широком его понимании. Наиболее ярким звеном в этой цепи является климат. По естественным условиям водного режима земельных площадей А. Н. Костяков выделил три крупные зоны, каждая из которых характеризуется своими дефицитными факторами развития растений (плодородия), основными направлениями, средствами и видами мелиораций (табл. 1).

А. Н. Костяков подчеркивал, что потребность в мелиорациях и характер их определяются конкретными зональными и природными условиями. «...мелиорации, воздействуя главным образом на водный режим почвы, оказывают большое влияние на ее воздушный, тепловой и микробиологический и вместе с ним на питательный режимы и, следовательно, на плодородие почвы и направление почвообразовательного процесса. Изменяя водный режим земель (почвенной влаги и поверхностных вод), мелиорации влияют также на внутренний влагооборот мелиорируемых территорий и, следовательно, на изменение не только почвенных, но и климатических и гидрологических условий (режим поверхностных и грунтовых вод) этих территорий в нужном для хозяйства направлении»*.

Развивая эти идеи, Д. И. Шашко (1967) разработал классификацию климата по условиям влагообеспеченности природных зон страны (табл. 2) для сельскохозяйственных целей.

Анализируя климатические условия, О. К. Ланге выделил три провинции грунтовых вод, закономерно сменяющихся в широтном направлении с севера на юг.

Первая (провинция вечной мерзлоты) характеризуется отрицательными среднегодовыми температурами и занимает северо-восточную часть СССР. Грунтовые воды этой провинции отличаются сезонностью (в жидкой фазе они бывают только летом), очень слабой минерализацией, обогащенностью органическими веществами и близким залеганием к поверхности земли.

Вторая провинция определяется положительными среднегодовыми температурами воздуха, не превышающими 8—10°С, и преобладанием осадков над испарением. Эта провинция территориально расположена главным образом в пределах европейской части СССР и расчленяется на несколько зон, сменяющих друг друга в широтном направлении.

Разность между осадками и испарением постепенно снижается к южной границе провинции. Характерная черта, особенно в северной части провинции,— родниковое (подземное) питание рек.

С севера на юг наблюдается закономерное увеличение глубины залегания грунтовых вод от тундровых и высоких ультрапрес-

---

* Костяков А. Н. Основы мелиораций. М., Сельхозиздат, 1960.

Таблица 2. Классификация климата по условиям влагообеспеченности (по Д. И. Шашко)

Области и подобласти по типам годового увлажнения	Зоны увлажнения и соответствующие им природные зоны в умеренном поясе в местах с хорошо выраженной широтной зональностью	Значения показателя увлажнения в форме отношения		Вероятность различно увлажненных лет, %					
		$\frac{P}{f}$	$\frac{f}{P}$	сухих	засушливых	полузасушливых	полувлажных	влажных	избыточно-влажных
Д. Область достаточного увлажнения (осадки превышают испаряемость или возможное испарение)	Ви. Избыточно влажная (тайга преимущественно на глеево-подзолистых почвах)	1,33	<0,75	0	1	5	10	20	64
	В. Влажная (тайга и лиственные леса на подзолистых и бурых лесных почвах)	1,33—1,00	0,75—1,00	0	5	12	21	32	30
Н. Область недостаточного увлажнения (осадки меньше испаряемости). Подобласти: слабозасушливая засушливая	Пв. Полувлажная (лесостепь)	1,00—0,77	1,00—1,28	2	11	25	30	24	8
	Пз. Полузасушливая (типичная степь на обыкновенных черноземах)	0,77—0,55	1,28—1,80	7	26	40	19	7	1
	З. Засушливая (степь на южных черноземах)	0,55—0,44	1,80—2,25	18	50	25	6	1	0
	Зо. Очень засушливая (степь на темно-каштановых почвах)	0,44—0,33	2,25—3,00	41	47	11	1	0	0
С. Область незначительного увлажнения (испаряемость значительно превышает осадки, земледелие возможно только при искусственном орошении и за счет стока местных вод)	Сп. Полусухая (полупустыня на светло-каштановых почвах)	0,33—0,22	3,00—4,50	75	24	1	0	0	0
	С. Сухая (пустыня на бурых почвах)	0,22—0,12	>4,50	96	4	0	0	0	0
	Со. Очень сухая (пустыня на серо-бурых почвах)	<0,12	—	100	0	0	0	0	0

Примечание. P — осадки за год; f — испаряемость за год, вычисленная по формуле $f=0{,}45\ \Sigma d$, где Σd — сумма среднесуточных значений дефицита влажности воздуха за год.

ных вод до зоны глубоких оврагов Причерноморья и овражно-балочной зоны Прикаспийских равнин, где грунтовые воды вскрываются на глубине нескольких десятков метров. В этом же направлении увеличивается минерализация грунтовых вод от мягких, бедных минеральными солями тундровых вод, обильно обогащенных органическими веществами, до высоко минерализованных вод Прикаспийской и Причерноморской равнин, лишенных органических веществ. Соответственно меняется участие грунтовых вод в почвообразовательном процессе и в питании растительности. В зоне избыточного увлажнения формируются выщелоченные глеево-подзолистые почвы на близких грунтовых водах, южнее они сменяются подзолистыми и бурыми лесными почвами; еще южнее — в полуувлажненных районах — лес сменяется лесостепью, а грунтовые воды погружаются на глубины, которые позволяют им лишь периодически участвовать в питании растений. В зоне степей — полузасушливых, засушливых и очень засушливых — формируются почвы автоморфного ряда — обыкновенные и южные черноземы, темно-каштановые и светло-каштановые (в полупустыне).

Третья провинция грунтовых вод характеризуется преобладанием испарения над осадками. С мелиоративной точки зрения это зона недостаточного увлажнения (А. Н. Костяков), а с геохимической — зона соленакопления.

Недостаток увлажнения, среднегодовые температуры, превышающие 10°С, преобладание испарения над осадками (для южных частей провинции в 10—15 раз) обусловливает ряд явлений, несвойственных другим провинциям.

Провинция расчленяется на две крупные зоны: зону равновесия подземного стока и испарения, характеризующую Арало-Каспийские пустыни, и зону подгорных шлейфов и предгорных равнин, в пределах которой с древнейших времен располагались культурные земли оазисов Средней Азии и Закавказья.

Зона равновесия подземного стока и испарения прослеживается по всей Азии (пустыни), переходит в Закавказье, далее в Африку (Сахара) и за Атлантический океан в Америку. Она характеризуется исключительно малым количеством осадков (менее 100 мм), огромной испаряемостью (более 1500 мм), малой подвижностью грунтовых вод (несколько метров в год) и высокой их минерализацией. Это сухие и очень сухие пустыни на бурых и серо-бурых почвах, встречаются пески, каменистые почвы, такыры, солончаки и др.

Зона подгорных шлейфов, предгорных равнин и котловин (Решеткина, 1960) отделяет предыдущую зону от горных сооружений Средней Азии, Кавказа и др. Она хорошо изучена и обладает запасами пресных подземных вод, имеющих большое народнохозяйственное значение. В этой зоне развиты почвы вертикальной зональности — сероземного типа (в основном на лессах). Участие грунтовых вод в их формировании определяется ярко выраженной высотной зональностью, позволяющей выделить следующие три подзоны:

подзону поглощения поверхностных вод и атмосферных осадков, прилегающую к горным сооружениям и располагающуюся в полосе волнистых равнин; она характеризуется глубоким залеганием нисходящих пресных и мягких грунтовых вод, обладающих большими (несколько метров в сутки) скоростями движения вниз по потоку, и автоморфными сероземными почвами;

подзону выклинивания грунтовых вод, занимающую узкую полосу между подгорными шлейфами и предгорными равнинами; она может быть выражена или родниковыми зонами с плодородными луговыми почвами (как в Ферганской долине), или солончаковыми зонами (как в Туркмении) с многообразными переходами между ними;

подзону погружения уровня грунтовых вод и резкого их осолонения, располагающуюся в предгорных плоских равнинах и представляющих полосу сухих степей с автоморфными почвами (светлые сероземы), окаймляющих пустыни и полупустыни Арало-Каспийской равнины.

В. А. Ковда на Международном почвенном конгрессе в Бухаресте (1964 г.) в своем докладе отметил решающее значение грунтовых вод в истории образования многих почв. В частности, на широких аллювиальных равнинах и плато, в прошлом представляющих террасы, почвы развивались под влиянием грунтовых вод, то есть в гидроморфных, даже в болотных условиях. В дальнейшем под влиянием тектонических процессов, по мере увеличения естественной дренированности территории в процессе развития эрозионной деятельности речных долин, почвы перешли в полугидроморфный режим, и на третьем этапе своего развития они стали автоморфными. Почвы, проходящие такой эволюционный цикл, характеризуются рядом специфических свойств.

В гидроморфный период они развиваются в восстановительных условиях, обогащаются органическим веществом, соединениями двухвалентного марганца и железа, которые впоследствии после окисления придают устойчивость структурным агрегатам. Лучшие почвы степной зоны (черноземы и каштановые) обладают этими ценными свойствами. Подземные воды всегда в какой-то степени минерализованы и в зависимости от гидрогеохимических условий в различной мере влияют на процессы соленакопления в почве.

При устойчиво глубоком положении уровня грунтовых вод (более 8—10 м), то есть при автоморфном режиме, почвам во всех природных зонах свойственны процессы выщелачивания, рассоления (предгорные равнины Кавказа и Средней Азии, верхние речные террасы — Самаркандский и Ташкентский оазисы, окраины Ферганской долины; высокие водораздельные равнины, расчлененные речной сетью — Сырты, Западное Предкавказье, Ставрополье, водораздельные равнины Украины).

Переходные режимы характерны для районов с глубиной залегания уровня грунтовых вод от 3—5 (полугидроморфный) до 5—8 м (полуавтоморфный).

Солевой режим насыщенной зоны характеризуется периодической сменой процессов рассоления и засоления (некоторые участки верхних террас рек, аллювиальные и делювиально-пролювиальные равнины — Голодная степь, Мильская степь, террасы рек Вахш, Аракс, Тигр и др.).

При близком положении (1—2 м) пресных, нещелочных грунтовых вод в условиях хорошего их естественного стока формируются луговые незасоленные высокоплодородные почвы (пойменные и надпойменные речные террасы, зоны выклинивания пресных вод предгорных конусов выноса). При более близком залегании уровня развивается заболачивание, активизируются восстановительные процессы.

Близкое положение грунтовых вод повышенной и высокой минерализации (при слабой их отточности) способствует процессам соленакопления в почвах (периферия конусов выноса предгорных шлейфов — Средняя Азия и Закавказье; дельты рек Волга, Урал, Дон, Кубань; приозерные и приморские равнины).

При напорном питании грунтовых вод интенсивность процессов соленакопления возрастает.

ВТОРИЧНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ И ИСКУССТВЕННЫЙ ДРЕНАЖ

Многовековой опыт орошаемого земледелия, которое развивалось главным образом в аридных зонах и было основано на орошении из земляных каналов, поливах напуском, а позднее по бороздам, показывает, что значительная часть орошаемых оазисов на равнинах, в долинах и дельтах рек, не имеющих достаточной естественной дренированности, подвержена засолению и заболачиванию. Сущность вторичного засоления заключается в обогащении корнеобитаемого слоя вредными легкорастворимыми солями до концентраций, превышающих допустимые значения. Этому способствует подъем уровня грунтовых вод (обычно с минерализацией более 0,7—1 г/л), капиллярное поднятие водных растворов к поверхности почвы, сложный комплекс физико-химических процессов, испарение и транспирация.

В пределах орошаемых районов аридной зоны развито вторичное засоление хлоридного, сульфатного, реже содового и смешанных типов.

В условиях Средней Азии и Закавказья развивается вторичное засоление сульфатного и хлоридно-сульфатного типов, что при достаточных запасах в почвогрунтах гипса в большинстве случаев исключает проявление процессов осолонцевания почв (Голодная степь, Каршинская степь, Ферганская долина).

В степной зоне наряду с возможностью развития процессов вторичного засоления реально при относительно малых концентрациях солей проявление содообразования, процессов осолонцевания и слитообразования с последующим ухудшением водно-физических свойств почв (Ковда, 1946, Егоров, 1972) и резким падением их плодородия.

В зависимости от состава и содержания токсичных солей потеря плодородия почв и снижение урожайности происходят с различной степенью интенсивности, что обусловливает применение разных мелиоративных мероприятий. Наиболее опасно для развития растений и сложно по своей природе вторичное засоление содового типа, которое связано прежде всего с отсутствием гипса и вторичным концентрированием соды в почвах. При циркуляции слабощелочных оросительных и грунтовых вод почвы глинистого механического состава при длительном орошении теряют свою структуру. Такие явления отмечены в Пакистане, Индии, Калифорнии, Египте, Венгрии, Румынии, в Советском Союзе — Поволжье, Армения, Азербайджан, Таджикистан, юг Украины и др.

Развитие вторичного засоления содового типа обусловливает труднообратимые процессы снижения и потери плодородия почв. В этой связи возрастает роль контроля за динамикой почвенного

гипса, щелочностью и обесструктуриванием почв в различных орошаемых районах. Своевременное обогащение почв органическими удобрениями, внесение гипса, применение кислых удобрений и специальных структурообразователей позволяет предотвратить обесструктуривание и падение плодородия почв.

Отечественный и зарубежный опыт по борьбе с последствиями вторичного засоления и заболачивания орошаемых земель свидетельствует о трудностях, которые при этом возникают, особенно при содовом засолении.

Основные средства борьбы с вторичным засолением земель — промывки на фоне дренажа. Открытые коллекторно-дренажные системы облегчили борьбу с вторичным засолением староорошаемых земель, однако во многих случаях они не исключили сезонную реставрацию засоления и необходимость в осенне-зимних промывных поливах (зона Кировского канала в Голодной степи до строительства вертикального дренажа в 1960—1970 гг.). Вместе с тем в некоторых староорошаемых оазисах (Вахшская долина, Бухарская область, Хорезмская область и др.) сформировалась своеобразная система орошаемого земледелия. В условиях гидроморфного режима искусственно создается пресная подушка из фильтрационных потерь оросительной воды, частично используемых в вегетационный период растениями для своего развития. Это позволяет сократить число вегетационных поливов, а следовательно, и число обработок почвы после поливов и, таким образом, общие затраты труда в вегетационный период на возделывание такой трудоемкой культуры, как хлопчатник. Однако значительные затраты труда при этом падали на невегетационный период — планировка земель и устройство чеков для проведения ежегодных промывок.

Следует отметить, что именно специфика конструктивных особенностей применявшихся до 70-х годов гидромелиоративных систем — земляные каналы, примитивная техника полива, низкий к.п.д. оросительных систем (0,3—0,5) — привела к теории неизбежности подъема уровня грунтовых вод и к гидроморфному режиму орошаемых земель на оросительных системах, расположенных на равнинах, не имеющих достаточной естественной дренированности.

Более совершенным по сравнению с открытым горизонтальным дренажем является закрытый горизонтальный дренаж, позволяющий повысить к.з.и. на оросительных системах, а также создать некоторые предпосылки для управления мелиоративным режимом (вакуумирование).

При мелиорации засоленных земель, особенно при наличии напорного питания, горизонтальный дренаж в ряде случаев оказывается малоэффективным. В отдельных случаях требуемый водно-солевой режим обеспечивается усилением горизонтального дренажа специальными скважинами-усилителями (комбинированный дренаж). Однако указанные способы дренирования не обладают гибкостью.

Вертикальный дренаж на орошаемых землях позволяет управлять мелиоративным режимом и поддерживать уровень грунтовых вод на любой заданной глубине изменениями числа одновременно работающих скважин и интенсивности водоотбора. Опыт строительства и эксплуатации вертикального дренажа в Средней Азии значительно расширяет сферу его действия, ломая классиче-

ские представления о том, что для применения вертикального дренажа нужны строго ограниченные гидрогеологические условия.

Так, положительный эффект вертикального дренажа получен в совхозе «Карадамак» (Туркмения) на Прикопетдагской предгорной равнине, где разрез представлен суглинками, глинами и супесями. Хороший результат был получен еще в 1923 г. на р. Соленая в штате Аризона (США) в условиях предгорной равнины с напорным питанием грунтовых вод также при отсутствии в разрезах песков и гравия.

На землях перспективного орошения, особенно в степной и лесостепной зоне, в частности на массивах первоочередного орошения Поволжья и Украины (Каховский массив), большое значение должен получить вертикальный дренаж как профилактическое мероприятие для сохранения плодородия почв и дальнейшего его повышения агрохимическими и агротехническими средствами (Решеткина, 1971).

Таким образом, проблема борьбы с вторичным засолением земель содержит два основных направления:

ликвидация вторичного и первичного засоления и поддержание необходимого водно-солевого режима орошаемых земель;

профилактика вторичного засоления, то есть сохранение природного рассолительного режима и вместе с тем сохранение и умножение при орошении природного плодородия почв.

В настоящее время имеются все условия для перехода на такие режимы орошения и дренирования, которые позволят на протяжении всего вегетационного периода создавать необходимые водно-солевой, тепловой, питательный и аэрационный режимы в почве для оптимального развития сельскохозяйственных культур и получения высоких, устойчивых урожаев.

47779

2 Заказ № 2415

Научно-техническая
САНИИРИ
БИБЛИОТЕКА

Глава 2

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

При рассмотрении гидрогеологических принципов применения вертикального дренажа следует исходить прежде всего из следующего:

вертикальный дренаж орошаемых земель — элемент современных гидромелиоративных систем и должен рассматриваться в составе мелиоративных проектов и схем комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов крупных бассейнов, границы которых совпадают с орографическими и, как правило, с геоструктурными;

мелиоративное состояние орошаемых территорий определяется не только режимом и балансом грунтовых вод, но и процессами, совершающимися в значительно более глубоких водоносных толщах. Зоной активного участия в формировании мелиоративного состояния крупных территорий является верхний ярус подземных вод (Решеткина, 1960). Поэтому гидрогеолого-мелиоративные анализы надо делать с учетом вертикальной гидродинамической и гидрохимической зональности подземных вод.

Советские ученые (В. И. Вернадский, Б. Л. Личков, Ф. А. Макаренко, Н. К. Игнатович, И. К. Зайцев, В. А. Сулин, Н. И. Толстихин и др.) установили определенные закономерности в вертикальной зональности подземных вод, подтверждающие связь между распределением подземных вод и геологическими структурами.

По современным воззрениям, геоструктурные подразделения — основные элементы гидрогеологического районирования территории СССР.

Б. Л. Личков, разрабатывая схему гидрогеологической широтной зональности всей планеты, доказал, что глубокая геологическая структура подчинена той же горизонтальной зональности. Это обусловлено вращением нашей планеты. Анализ фактического материала, проведенный Н. М. Решеткиной для Средней Азии, подтвердил подчиненность широтной зональности не только грунтовых, но и подземных вод верхнего яруса.

Влияние климатических факторов на еще более глубокие артезианские воды хорошо показал Н. И. Толстихин.

Учение о взаимосвязи поверхностного и подземного стока разработал Б. И. Куделин (1966). Под его методическим руководством были определены естественные запасы подземных вод как доля подземного стока в стоке рек Советского Союза и составлена карта районирования территории страны по модулю подземного стока. Главный принцип районирования — структурно-гидролого-гидрогеологический. Он позволил отразить закономерности формирования подземного стока и водного баланса на территории СССР, которые очень важны для планирования водных мелиораций в стране.

Основной фактор формирования водного баланса, поверхностного и подземного стоков — климатический. Однако значительная роль принадлежит и рельефу, тесно связанному с геологической структурой. Основные геоструктурные подразделения — платформы и горноскладчатые области. В пределах платформ выделены:

мегарегионы обнаженных выступов кристаллического фундамента платформ (Балтийский, Украинский, Алданский щиты);

мегарегионы плит, складчатый фундамент которых перекрыт чехлом недислоцированных или слабодислоцированных осадочных пород (Русская, Туранская, Западносибирская плиты).

В гидрогеологическом отношении мегарегионы плит представляют системы артезианских бассейнов платформенного типа и характеризуются развитием порово-пластовых и трещинно-пластовых вод.

В пределах осадочной толщи мегарегионов плит прослеживаются три вертикальные зоны подземного стока:

верхний ярус — это зона интенсивного стока, формирование которой обусловлено дренирующим влиянием гидрографической сети (овраги, реки, озера, прибрежные зоны морей). Подземный сток имеет локальный характер, под-

чинен климатическим факторам и широтной зональности. По химическому составу преобладают пресные подземные воды гидрокарбонатного класса; в условиях аридного и полуаридного климата к верхней части зоны приурочены воды с повышенной минерализацией (обратная гидрохимическая зональность);

зона замедленного стока, связанная главным образом с дренирующим воздействием более крупных рек, озер и впадин. Подземный сток имеет региональный, реже локальный характер. Роль климатических факторов выражена слабее. По химическому составу подземные воды относятся к смешанным водам гидрокарбонатного, сульфатного и хлоридного классов, по степени минерализации относятся к пресным или солоноватым;

зона весьма замедленного стока, связанная с дренирующим воздействием глубоких разломов земной коры, с морскими и океаническими впадинами. Подземный сток имеет региональный характер. Роль климатических факторов практически не сказывается. Подземные воды высококонцентрированные, хлоридные, напорные, нередко термальные.

В различных гидрогеологических структурах соотношение между ярусами и их характер могут меняться в зависимости от географического положения структуры, особенностей ее геологического развития, дренированности, состава водосодержащего комплекса и др.

Мегарегионы щитов представляют бассейны трещинных вод; для них характерно наличие лишь одной, верхней, зоны интенсивного стока.

Мегарегионы горноскладчатых областей (Крымско-Кавказской, Уральской, Саянской и др.) представляют, как правило, бассейны трещинных, трещинно-пластовых и трещинно-карстовых вод с преимущественным распространением верхней зоны интенсивного стока. В артезианских бассейнах межгорных впадин встречаются все три зоны подземного стока.

Для мелиорации земель интерес представляет *верхний ярус* подземных вод, который имеет мощность в различных районах от десятков до сотен метров (в зоне предгорных прогибов) и включает в себя не только грунтовые воды, но и залегающий ниже напорный комплекс подземных вод. Нижняя граница верхнего яруса подземных вод устанавливается по кровле глин, имеющих региональное развитие. За нижнюю границу грунтовых вод принимается первая

резкая смена в литологическом строении водоносной толщи, определяющая появление ниже нового водоносного горизонта, отличного по минерализации, скоростям фильтрации и напорам (Решеткина, 1960).

Грунтовые воды через зону аэрации контактируют с почвами, являющимися непосредственным объектом сельскохозяйственных мелиораций. Поэтому всегда важно знать условия формирования, особенно режима уровня и минерализации грунтовых вод.

Однако крупное гидротехническое и мелиоративное строительство оказывает влияние на подземные воды всего верхнего яруса. А при современных масштабах и темпах в некоторых случаях влияние распространяется на более глубокие горизонты. Соответственно с этим мелиорация не может ограничиваться только регулированием грунтовых вод. Следовательно, предметом изучения и мелиоративного воздействия должен быть верхний ярус подземных вод. С этих позиций видна та крупная роль, которая принадлежит вертикальному дренажу — системе скважин, позволяющих активно воздействовать на значительные толщи верхнего яруса подземных вод. Вполне понятно, что у горизонтального дренажа в этом отношении возможности ограничены.

Принцип регионального воздействия мелиорации на толщу подземных вод верхнего яруса позволяет значительно раздвинуть обычные классические представления об условиях применимости вертикального дренажа.

Вертикальный дренаж в общей системе мелиораций на крупных массивах изымает определенное количество подземных вод, создавая искусственный сток и повышая дренированность. При этом, как показала практика, в тяжелых разрезах при малых коэффициентах фильтрации и, следовательно, при малых скоростях движения процессы идут медленно и мелиоративный эффект сказывается не сразу, а через длительное время, измеряемое годами. И все же, если дренаж рассчитан и построен правильно, то ожидаемый устойчивый эффект неизбежно наступает: грунтовые воды снижаются; под влиянием промывного режима орошения происходит медленное, но неуклонное опреснение почв и зоны аэрации, а в дальнейшем и грунтовых вод (см. гл. 4 и 11). Критериями, определяющими эффективность любого дренажа, служат скорости нисходящей фильтрации в покровной толще, которые должны быть больше скоростей диффузии.

Изучение водного баланса крупных территорий, на которых развиваются мелиорации, — необходимое условие для правильных технических решений, в частности для определения роли вертикального дренажа как одного из составляющих гидромелиоративного комплекса современных технически совершенных мелиоративных систем.

Элементарной единицей территории для изучения водного баланса суши, как известно, служит речной бассейн и именно поэтому составляются комплексные побассейновые схемы. Одновременно он является бассейном подземного стока верхнего яруса подземных вод — зоны интенсивного водообмена, формирующегося под дренирующим воздействием речной сети. Границы областей питания артезианских бассейнов, как показали региональные гидрогеологические исследования, совпадают обычно с современными орографическими водоразделами.

Так, для двух обширных регионов Восточно-Европейской платформы, где в последние десятилетия интенсивно развивается гидротехническое и мелиоративное строительство, гидравлический водораздел подземных вод, установленный по карте изопьез, совпадает с простиранием оси Воронежского кристаллического массива. Этот водораздел отделяет бассейн Волги, принадлежащий Каспийскому морю, от Днепра и Северного Донца, относящихся к бассейну Черного моря.

Такие бассейны, как бассейн Волги, протягиваются на значительные расстояния, пересекая почти все зоны страны и вместе с тем занимая огромные площади, включают ряд гидрогеологических структур II порядка (и более мелких порядков), выделяющихся в пределах одного крупного региона. В пределах бассейна Волги выделяются: Верхневолжский район, охватывающий в основном территорию Московского артезианского бассейна; Волго-Камский район, содержащий систему Волго-Камских артезианских бассейнов (III порядка), и Прикаспийский, включающий Прикаспийский артезианский бассейн.

В соответствии с климатическими и гидрогеологическими особенностями (широтная зональность) названных структур изменяются модули естественного подземного стока от 2—4 л/с на севере до 0,05—0,2 л/с на юге и подземный сток (табл. 3).

Естественно, что строительство плотин и водохранилищ на Волге и ее главных притоках существенно изменяет природный гидрологический режим реки, а вместе с тем и

Таблица 3. **Подземный сток бассейна Волги** (по Б. И. Куделину)

Регион и район	Площадь, тыс. км²	Объем, км³/год	Расход, м³/с
Бассейн Каспийского моря:	1784,7	65,5	2075,8
Верхне-Волжский	415,3	22,4	710
Волго-Камский	898,4	39,8	1263
Прикаспийский	471,0	3,3	102,8

подземную составляющую ее стока, достигающую 25% стока реки.

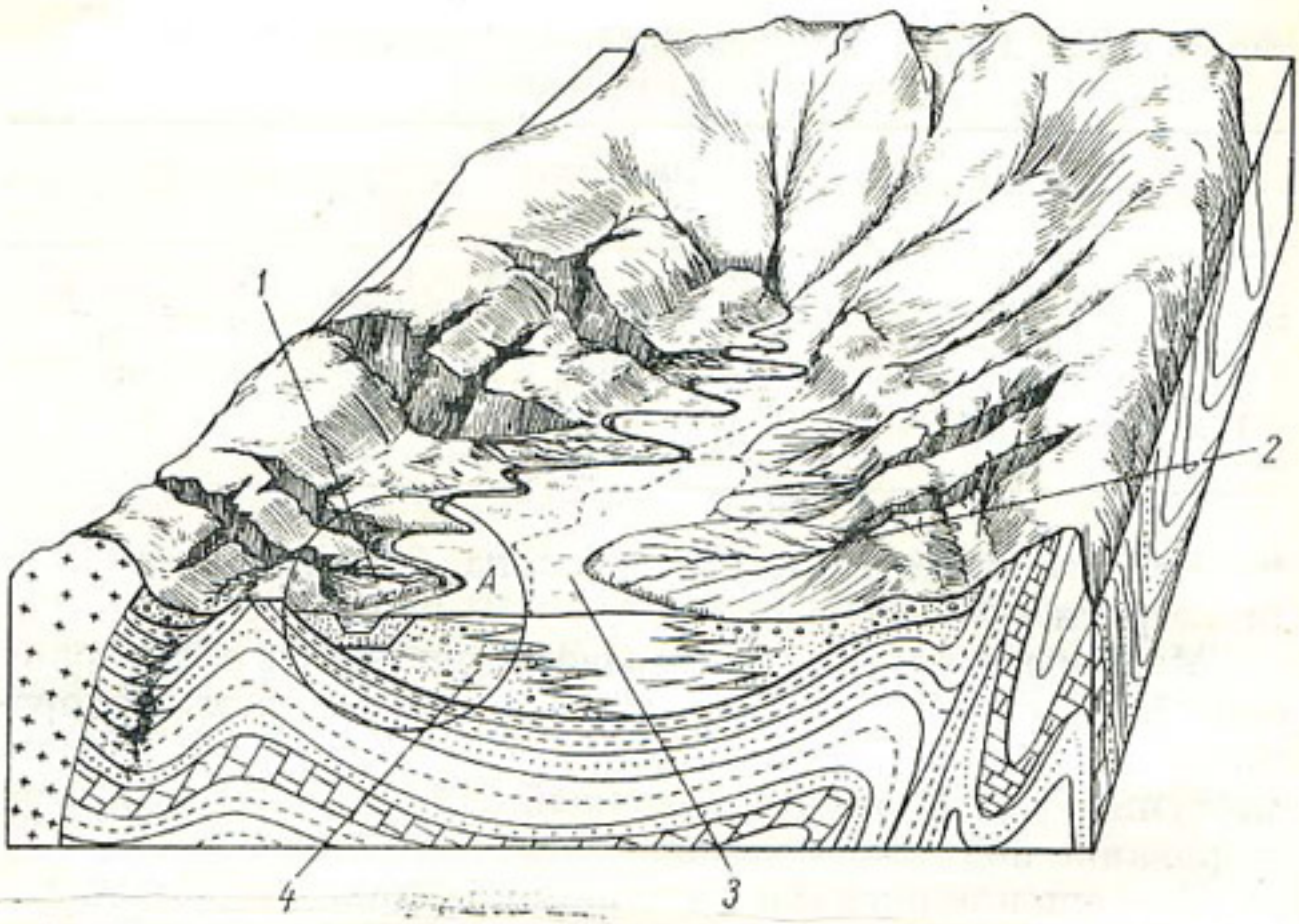
Мелиоративные работы, развернувшиеся на территории бассейна: осушение болот в верховье реки и развитие орошения в средней и нижней частях бассейна — также весьма существенно влияют на водный баланс бассейна и формирование подземного стока.

Совершенно очевидно, что планирование гидромелиорации в бассейне Волги и, в частности, применение там вертикального дренажа должно учитывать эти изменения.

Подпоры, создаваемые каскадами водохранилищ, уменьшают естественную дренированность, следовательно, долю подземного стока, часть которого аккумулируется в террасовых отложениях, заболачивает понижения, непроизводительно расходуется на внутригрунтовое испарение, подтапливает ценные земли автоморфного ряда, понижая их плодородие, и др.

Вместе с тем новое орошение на террасовых и водораздельных землях, накладываясь на эти процессы, ускоряет ухудшение мелиоративного состояния земель и, следовательно, необходимы безотлагательные дренажные мероприятия. В этом случае в общем комплексе гидромелиораций в зависимости от конкретных литологических и почвенно-мелиоративных условий успешно применяется вертикальный дренаж и как мелиоративное, и как профилактическое, и как оросительно-дренажное средство (см. гл. 4, 6 и 11).

В условиях Средней Азии формирование верхнего яруса подземных вод определяется двумя резко различными гидрогеологическими (а вместе с тем и ландшафтно-географическими) зонами: первая — зона предгорных равнин, межгорных и предгорных котловин и долин; вторая — зона низменных пустынных равнин.



Узел А

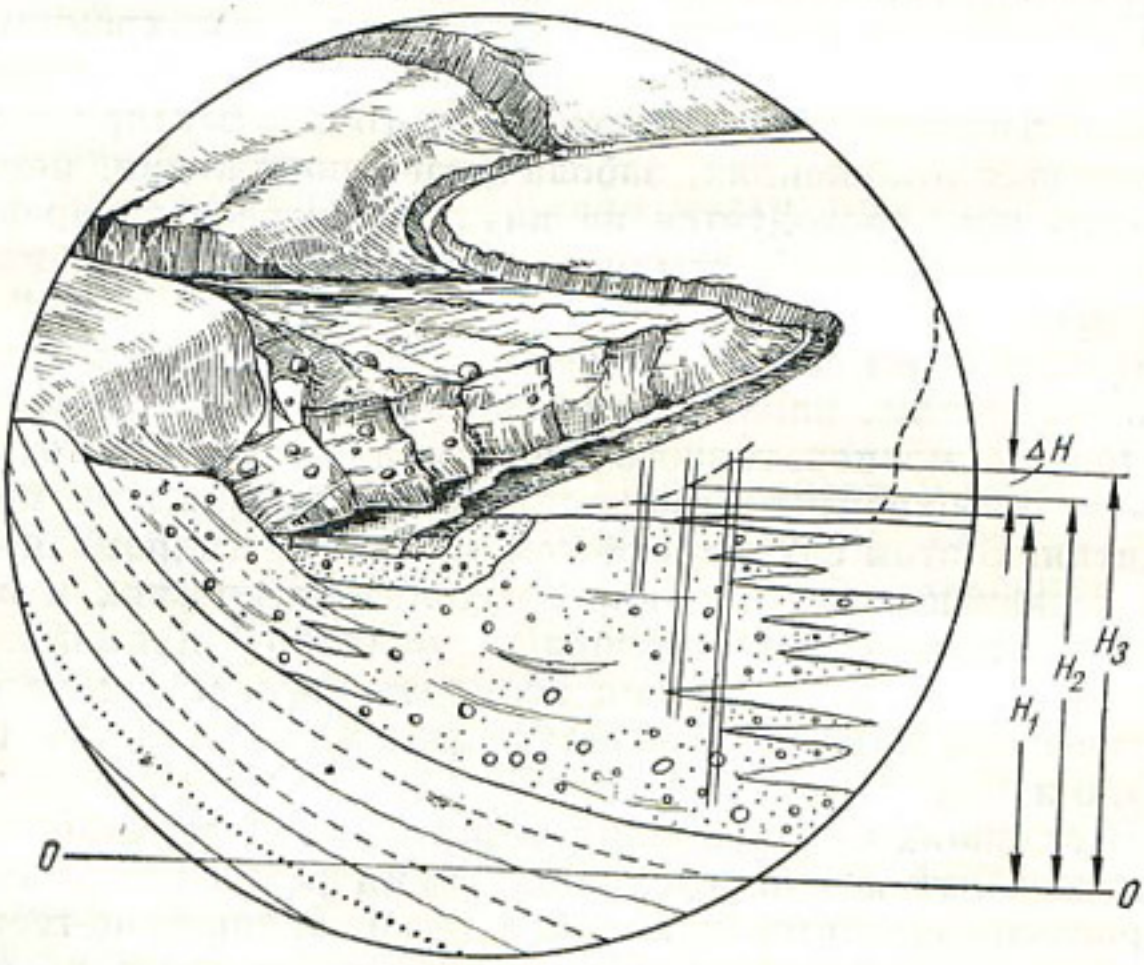


Рис. 1. Схема строения гидрогеологического бассейна I порядка первой гидрогеологической зоны (бассейн межгорного типа): *1* — пролювиальные суходольные бассейны II порядка; *2* — пролювиальный речной бассейн II порядка; *3* — водораздел; *4* — аллювиальный бассейн II порядка.

Межгорные и предгорные котловины и долины — это крупные подземные бассейны первой зоны, современное питание которых происходит в приподнятых краевых частях за счет инфильтрации вод поверхностных водотоков, атмосферных осадков и притока подземных вод из окружающих горных сооружений. Примером могут служить Ферганская котловина, Голодная степь, долина р. Зеравшан и др.

Расходование подземных вод сосредоточено в центральной низменной части, дренируемой крупной рекой. Характерные черты подземных вод верхнего яруса бассейнов этой зоны — большая мощность (сотни метров); наличие в водосодержащих комплексах крупнообломочного материала, количество и крупность которого убывают к центру котловины; увеличение напорности водоносных слоев с глубиной их залегания; уменьшение минерализации подземных вод вниз по профилю; повышение минерализации грунтовых вод с последовательным изменением ее типа от карбонатных к сульфатным и хлоридно-сульфатным от гор к центру котловины. Между минерализацией, литологическими особенностями и дренированностью каждого конкретного участка наблюдается определенная связь. Все эти признаки проявляются значительно резче в межгорных бассейнах, гипсометрически расположенных выше, чем предгорные.

В целом межгорные котловины, как и предгорные, — это крупные аккумуляторы подземных вод хорошего качества, которые можно использовать на орошение и водоснабжение. При этом забор подземных вод вызовет понижение уровня грунтовых вод, сокращение испарения их в равнинных частях котловины и таким образом будет способствовать рассолению земель (рис. 1).

Во второй гидрогеологической зоне (рис. 2), расположенной вдали от гор, в пределах низменных равнин верхний ярус подземных вод представлен маломощными бассейнами, сложенными мелкозернистыми и песчаными аллювиальными (реже озерными) отложениями. Питание и режим подземных вод зависят от режима реки или являются остаточными, измененными под влиянием процесса диагенеза. Этим и определяется совершенно иной характер минерализации подземных вод: она возрастает в сторону от реки и вниз по профилю. Для бассейнов древних аллювиальных равнин, лишенных опресняющего влияния реки, минерализация подземных вод всюду высокая. Эксплуата-

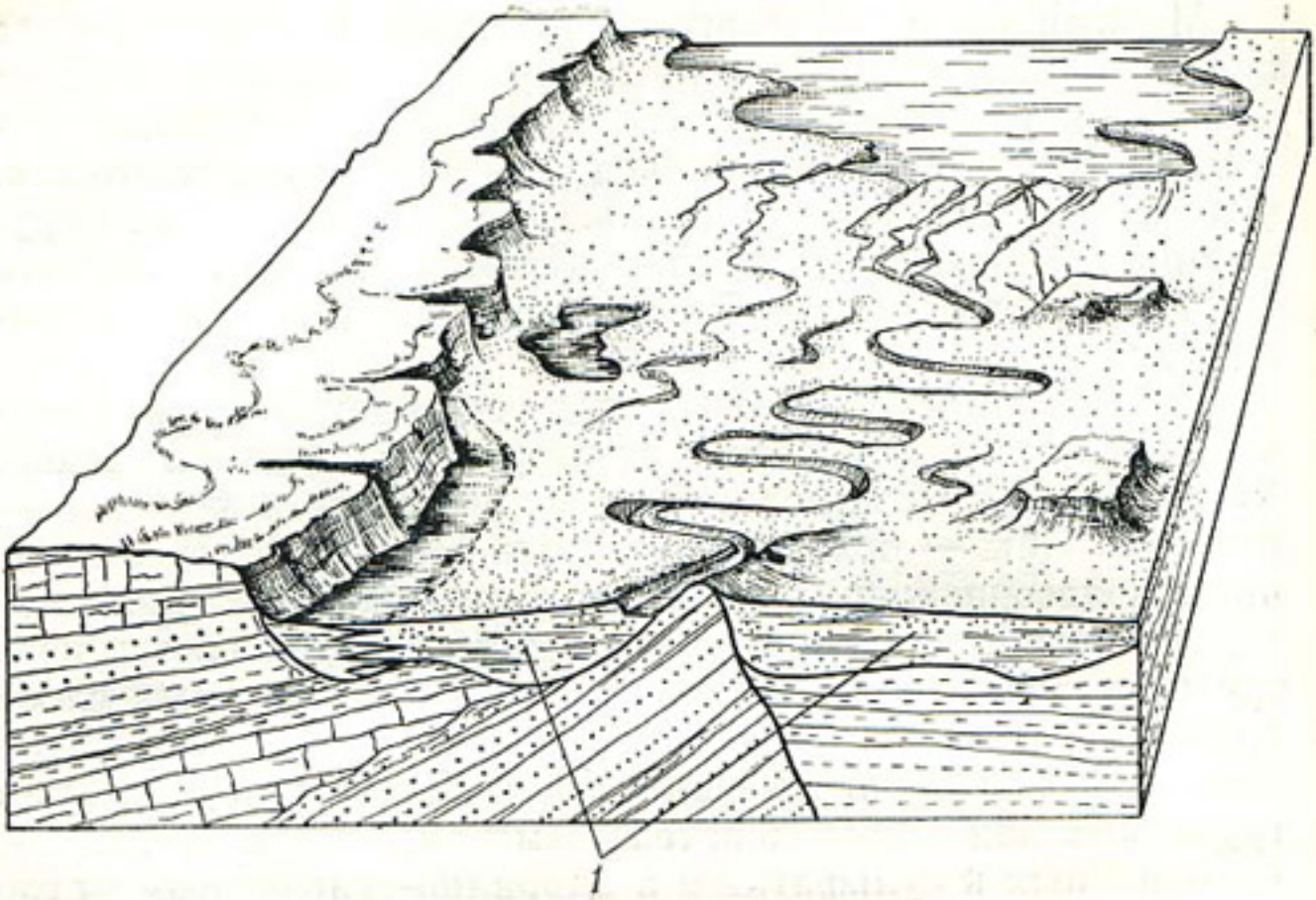


Рис. 2. Схема строения гидрогеологического бассейна I порядка второй гидрогеологической зоны:
1 — дельтовый бассейн II порядка.

ционные запасы подземных вод, которые можно использовать на орошение и водоснабжение, крайне ограниченны и непосредственно зависят от реки и ее притоков, а в орошаемых районах — от водоподачи. Но и в этом случае огромное значение имеет также литология водосодержащих комплексов пород, определяющих условия формирования и движения подземных вод в толщах гидрогеологических бассейнов.

Особенности в формировании верхнего яруса подземных вод двух этих зон обусловливают существенные различия в структуре расходной части баланса подземных вод: для первой зоны в целом она определяется стоком, для второй — испарением.

Каждая зона по структурно-геологическому признаку делится на крупные гидрогеологические бассейны I порядка (Ферганский, Голодностепский и др.), внутри которых по геоморфологическим и геолого-литологическим признакам выделяются более мелкие потоки и бассейны подземных вод второго и третьего порядков (табл. 4).

Таблица 4. Классификация природных подземных водохранилищ верхнего яруса подземных вод Узбекистана (по Н. М. Решеткиной)

Гидрогеологическая зона	Бассейны I порядка	Потоки и бассейны II порядка, классы	Потоки и бассейны III порядка
Первая зона — подгорные шлейфы, предгорные равнины, межгорные котловины и долины (горно-складчатая область). Нижняя граница верхнего яруса — глины континентального неогена. $C:И>1$	Межгорные (Ферганский), $H \approx 1000$ м	Пролювиально-равнинные, подгорно-веерные (предгорные равнины Южной и Северной Ферганы)	Речные (Сохский, Исфаринский), $q=200—1000$; $K=80—100$. Суходольные (Гавасайский), $q=20—100$; $K=2—20$
		Аллювиально-равнинные, равнинно-долинные (Нарын-Карадарьинский аллювиальный бассейн)	$q=50—100$; $K=40—80$
	Предгорные (Голодностепский), $H \approx 300—500$ м	Пролювиально-равнинные, подгорно-веерные (предгорная равнина Туркестанского хребта)	Речные (Чирчик-Ангренский, Санзарский), $q=200—1000$; $K=50—100$. Суходольные, $q=20—100$; $K=2—20$
		Аллювиально-равнинные, равнинно-долинные (Голодностепский аллювиальный)	
Вторая зона — низменные равнины (платформенная область). Нижняя граница верхнего яруса — глины морского палеогена. $C:И<1$	Структурно-эрозионные и аккумулятивные формы, $H \approx 50—200$ м	Аллювиально-равнинные (Каракумский)	Аллювиальные равнины разного возраста, $q=10—50$; $K=0{,}5—10$. Эолово-песчаные
		Дельтовые (низовье Амударьи)	Дельты разного возраста (Хорезмская, Сарыкамышская, современная), $q=5—20$; $K=0{,}2—20$. Эолово-песчаные

Примечание. C — подземный сток; $И$ — испарение подземных вод; q — средний единичный (на 1 км) расход сечения потока верхнего яруса, л/с; K — средний коэффициент фильтрации водоносных толщ, м/сут; H — мощность верхнего яруса, м.

РАЙОНИРОВАНИЕ ПО УСЛОВИЯМ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

База для выявления условий применения любого дренажа — природно-мелиоративное районирование, основанное на ландшафтно-зональном принципе.

Изменение биоклиматических, а следовательно, и мелиоративных условий в стране происходит не только в меридиональном направлении, но и с запада на восток, по мере нарастания континентальности климата. На основе этого В. В. Егоров (1972) выделяет четыре почвенно-климатические провинции: западную и западно-предкавказскую — субгумидные; центральную — умеренно континентальную; сибирскую—холодную, где сказывается влияние промерзания; дальневосточную — муссонную, где процессы засоления проявляются медленно и главная задача дренажа — осушение.

Следующая единица районирования (область или регион) — крупная морфо-тектоническая структура с особыми формами рельефа, типами пород, гидрогеологическими условиями и, как правило, качеством почвенного покрова. К ней относятся: Днепропетровский регион, Окско-Донская низменность, Среднерусская возвышенность, Южноукраинская равнина, Приманычская депрессия, Прикаспийская низменность, Сыртовое Заволжье (высокое и низкое) и другие, то есть в гидрогеологическом отношении структуры II порядка. Для древнеорошаемых районов Средней Азии и Закавказья наравне с областью выделяются обособленные в хозяйственном отношении оазисы (Ферганский, Хорезмский и др.), также совпадающие с геоструктурными единицами, определяющими формирование крупных гидрогеологических бассейнов.

Наконец, за основную единицу районирования предлагается геоморфологический выдел, характеризующийся сходными или близкими литологическим строением, условиями рельефа, состоянием и качеством грунтовых вод и почв, а также одинаковым прогнозом и мелиоративными мероприятиями. Таковы речные террасы в нижнем, среднем и верхнем течении, водораздельные пространства, конусы выносов (вершина, средняя часть, периферия), приморские низменности и др.

Для оценки условий применения вертикального дренажа необходимо в пределах этих мелиоративных районов знать детали литологического строения, определяющие

условия работы колодцев вертикального дренажа, их производительность, режим работы и мелиоративный эффект. На основании этого внутри геоморфологических районов можно выделить подрайоны. Это позволит генетически подойти к оценке природных условий во всем их комплексе и взаимосвязях, что необходимо при проектировании мелиоративных мероприятий.

Министерством геологии СССР была проведена полезная работа по оценке гидрогеологических условий с точки зрения применения вертикального дренажа и выполнено районирование территории СССР в этих целях *. К сожалению, критерии, которые были положены в основу деления, оказались узко гидрогеологическими и не учитывали всей совокупности природно-мелиоративных особенностей территорий и мелиоративных задач дренажа.

Районирование построено на основе следующих факторов (Кац, 1976):

геологического разреза, фильтрационных свойств и водопроводимости отложений до водоупора, а при глубоком залегании последнего до 70—100 м;

связи грунтовых вод покровных отложений с нижележащим водоносным горизонтом, из которого возможна откачка, что определяется в основном геологическим разрезом и фильтрационными свойствами;

химического состава подземных вод с точки зрения пригодности их для орошения.

Они позволили выделить четыре категории площадей с различными условиями применения вертикального дренажа: весьма благоприятные, благоприятные, сложные и неблагоприятные.

Основной принцип для оценки условий — время осушения: чем быстрее, тем лучше. Если бы эта классификация касалась простого водопонижения, она не встречала бы возражений. С мелиоративных же позиций следует отметить, что в группу весьма благоприятных попали земли с маломощным покровом маловлагоемких мелкоземов легкого механического состава. Они лежат на мощных, большой водопроницаемости (более 1000 м^2/сут) песках, гравии, галечниках. Такие разрезы имеют низкие речные террасы с близкими пресными грунтовыми водами и луговыми гидроморфными плодородными почвами, обладающими до-

* Условия применения вертикального дренажа в орошаемых районах СССР. М., ВСЕГИНГЕО, 1970, ч. I, 1973, ч. II.

статочно благоприятными условиями для работы горизонтального дренажа. К таким территориям, в частности, относятся земли Хорезмского оазиса (Рахимбаев, 1967).

Следует напомнить, что в 1951—1952 гг. гидрогеологи Узбекского гидрогеологического треста, не получив желаемого результата на третьей террасе Сырдарьи в Шурузякском понижении (см. гл. 7), перешли с опытными работами на вторую террасу Сырдарьи в колхоз им. Карла Маркса, где суглинки были маломощные, а подземные воды — пресные. Откачки из аллювиальных гравелистых песков быстро дали осушающий эффект и значительный дебит. На основании этого такие территории были отнесены к весьма благоприятным. Третья же терраса Голодной степи, где покров суглинков достигает 30 м и подстилается плывунными мелкозернистыми песками, была отнесена к весьма сложным и малопригодным для применения вертикального дренажа. В дальнейшем практика показала, что на второй террасе проблема мелиорации земель успешно решается с помощью разреженной сети открытых коллекторов. В пределах же третьей террасы на основном Голодностепском плато коренная мелиорация засоленных земель (после длительных попыток рассолить орошаемые земли с помощью горизонтального дренажа) была осуществлена системой вертикального дренажа, построенной на площади порядка 500 тыс. га (см. гл. 4).

Другой пример — по предлагаемой классификации весьма благоприятные условия для вертикального дренажа имеются в Вахшской долине. Однако вторичное засоление этих земель успешно ликвидировали только системой коллекторов. При небольшой мощности покровных суглинков (5—10 м), подстилающих их хорошо проницаемых галечниках, при значительных (более 0,001) усклонах поверхности террас Вахша и пресных грунтовых водах горизонтальный дренаж превосходно работает и самотеком отводит в Вахш дренажные воды незначительной минерализации (1—4 г/л).

На низких террасах рек с малой мощностью покровных мелкоземов, с близкими пресными грунтовыми водами и, как правило, гидроморфным мелиоративным режимом при орошении горизонтальный дренаж создает требуемую дренированность. Вместе с тем он обеспечивает равномерность осушения, сохраняя оптимальный гидроморфный мелиоративный режим, к которому приспособлено орошаемое земледелие в этих условиях. Вертикальный

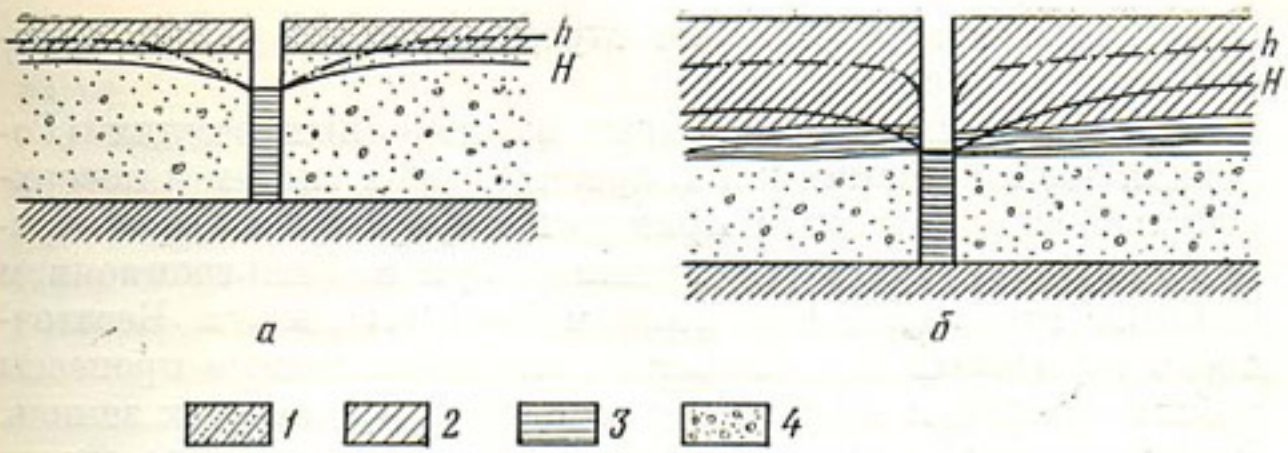


Рис. 3. Схема осушающего действия вертикального дренажа при разной мощности покровных мелкоземов:

а — мощность покровных мелкоземов (легкие супеси и суглинки) менее 10 м; *б* — мощность покровных слабопроницаемых пород более 20 м; *h* и *H* — уровни грунтовых и субнапорных вод; *1* — супеси; *2* — суглинки; *3* — глина; *4* — галечники и пески.

же дренаж, легко и быстро осушая почву и грунты в зоне активного влияния скважин, создает здесь неоднородный мелиоративный фон по территории. Это вызывает подсушку почти на одной трети площади и недобор урожая. Дополнительные поливы в этих случаях осуществлять очень сложно. Главное, они приводят к перепромытости почвы и грунтов зоны аэрации, падению плодородия почв и нередко сопровождаются вспышками щелочности. Подобные явления отмечаются на Краснознаменской системе в местах, «весьма благоприятных» по классификации гидрогеологов и малоблагоприятных для вертикального дренажа с мелиоративных позиций (Блинчик, Гоголев, 1977).

Покровные мелкоземы, мощность которых достигает нескольких десятков метров, являются буферным слоем. Он значительно сглаживает влияние неравномерности пьезометрической поверхности, которая возникает при откачках из системы вертикального дренажа. Уровень грунтовых вод в таких условиях отрывается от пьезометрической поверхности, создается перепад напоров, обеспечивающий сток грунтовых вод в подстилающий песчаный слой, из которого производится откачка. Вместе с тем под влиянием орошения сохраняется относительная однородность в распределении уровня грунтовых вод по территории (рис. 3 и 4).

Такие литологические разрезы чаще всего характерны для широко развитых аллювиальных террас в среднем и нижнем течении рек, имеющих весьма малые уклоны

поверхности, затрудняющие строительство и работу горизонтального дренажа.

В староорошаемых оазисах на подобных землях (Голодная степь) низкий к.п.д. оросительных систем и поверхностный способ полива приводят к формированию гидроморфного мелиоративного режима при инфильтрационном питании грунтовых вод, равном 3—4 тыс. м³/га. Бессточность грунтовых вод вызвала ярко выраженные процессы заболачивания и вторичного засоления орошаемых земель. Ликвидировать эти процессы удалось только после строительства системы вертикального дренажа.

На периферии предгорных равнин, где в разрезах нет песчаных и гравелистых слоев (они выклиниваются выше, ближе к горам) и весь разрез представлен слоистой толщей суглинков, супесей и глин, содержащих напорные воды, условия, согласно гидрогеологической классифика-

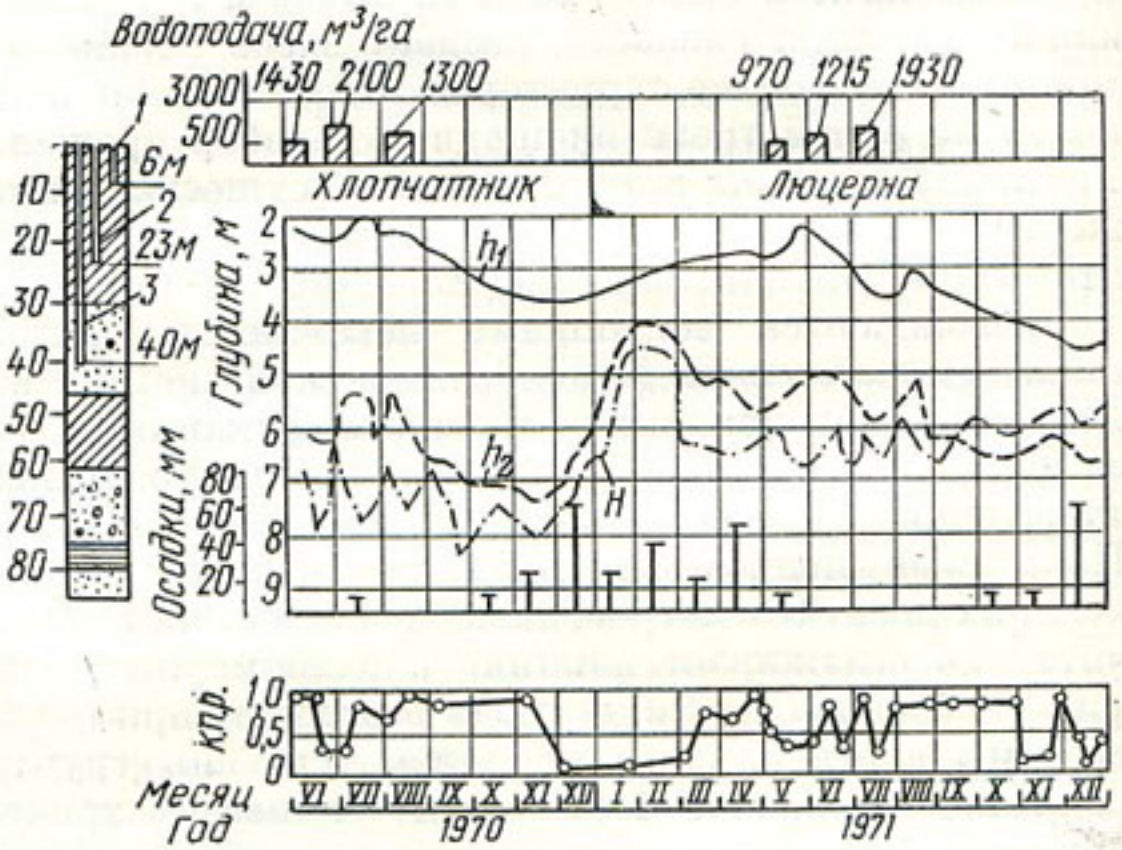
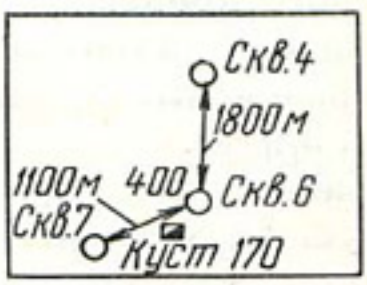


Рис. 4. Режим грунтовых и субнапорных вод на орошаемом поле на фоне вертикального дренажа (куст пьезометров № 170, колхоз «Ленинизм», Голодная степь):

1, 2, 3 — пьезометры; h_1, h_2, H — уровни воды в пьезометрах.



ции, неблагоприятны для строительства вертикального дренажа.

Между тем в долине р. Соленой (штат Аризона, США) именно в таких условиях после безрезультатных попыток рассоления земель горизонтальным дренажем была построена система из 17 скважин вертикального дренажа. Каждая скважина с гравийным фильтром глубиной 70—90 м дала дебит от 23 до 45 л/с, и проблема мелиорации земель была решена.

Аналогичные условия в совхозе «Карадамак», расположенном на периферии предгорной равнины Копет-Дага, к югу от Ашхабада. После строительства Каракумского канала и Ашхабадского водохранилища земли этого совхоза были подтоплены поднявшимися к поверхности солеными грунтовыми водами. Горизонтальный дренаж в этих условиях практически не давал эффекта. Проблема мелиорации земель была решена после того, как на этом участке было построено 14 скважин вертикального дренажа с мощными гравийными фильтрами и дебитами от 14 до 45 л/с (Батыршин, Дубинская, Милькис, 1972).

На водораздельных равнинах могут быть мощные (более 20—30 м) покровные мелкоземы, часто лессовидного характера (юг РСФСР и Украины), более или менее тяжелого механического состава, подстилаемые водоносными породами разной проводимости или водоупорными глинами.

В естественном состоянии эти территории, как правило, достаточно дренированы благодаря расчленяющей их эрозионной сети. Грунтовые воды вскрываются на значительных глубинах, а зональные почвы находятся в автоморфных условиях.

По классификации гидрогеологов эти территории не перспективны для вертикального дренажа. Между тем для этих земель с ценными почвами (черноземы и каштановые) очень важно в целях сохранения и умножения их плодородия при орошении не допускать подъема грунтовых вод выше 8—10 м, то есть поддерживать природный автоморфный режим. Технически это можно сделать только вертикальным дренажем.

Эти земли — развивающегося и перспективного орошения. Искусственный полив на них предусматривается как дотация к атмосферным осадкам. Питание грунтовых вод от осадков (30—70 мм/год) срабатывается естественным дренажем.

Следовательно, искусственный дренаж должен компенсировать только очень скромные добавки к естественному питанию, которые связаны с фильтрационными потерями от орошения. Добавки эти должны быть не более 50—100 мм потому, что системы строятся совершенные, с высоким к.п.д. (0,85—0,95), а водоподача брутто на орошаемые земли в 2—4 раза меньше, чем в староорошаемых оазисах аридной зоны. Соответственно значительно меньше будут и дренажные модули. Значит, мелиоративная эффективность вертикального дренажа в таких условиях может проявляться при дебитах, равных 5—15 л/с для каждой отдельной скважины. В зоне же традиционного орошения (Средняя Азия) эти дебиты измеряются многими десятками и сотнями литров в секунду.

Все вышеизложенное убедительно показывает, что классификация гидрогеологов по условиям применения вертикального дренажа, построенная только на гидрогеологических принципах (литологический разрез и качество откачиваемой воды), не может быть положена в основу выбора типа дренажа или установления целесообразности применения вертикального дренажа в данных условиях. Необходим комплексный подход к оценке условий с мелиоративных позиций, примеры которого приведены в главах 4 и 11.

Литологический разрез и качество откачиваемых вод несомненно важные, но не единственные показатели, на основании которых решается вопрос о проектировании вертикального дренажа.

Литологический разрез, в котором работает насосный колодец, определяет непосредственно конструкцию (см. гл. 7 и 8), дебит, связь грунтовых вод в покровных отложениях с нижележащими водоносными пластами, из которых ведется откачка, скорость снижения уровня грунтовых вод при откачке и другие важные параметры (коэффициенты фильтрации, проводимость и другие, а также вариации их в пространстве.

Не менее важно положение литологического разреза в гидрогеологической структуре и геоморфологическом выделе.

Каждый частный гидрогеологический бассейн или поток (геоморфологический выдел) соответственно его генезису (аллювиальные, пролювиальные, озерные, флювиогляциональные и др.) в пространственном литологическом строении водоносных толщ верхнего яруса подземных вод

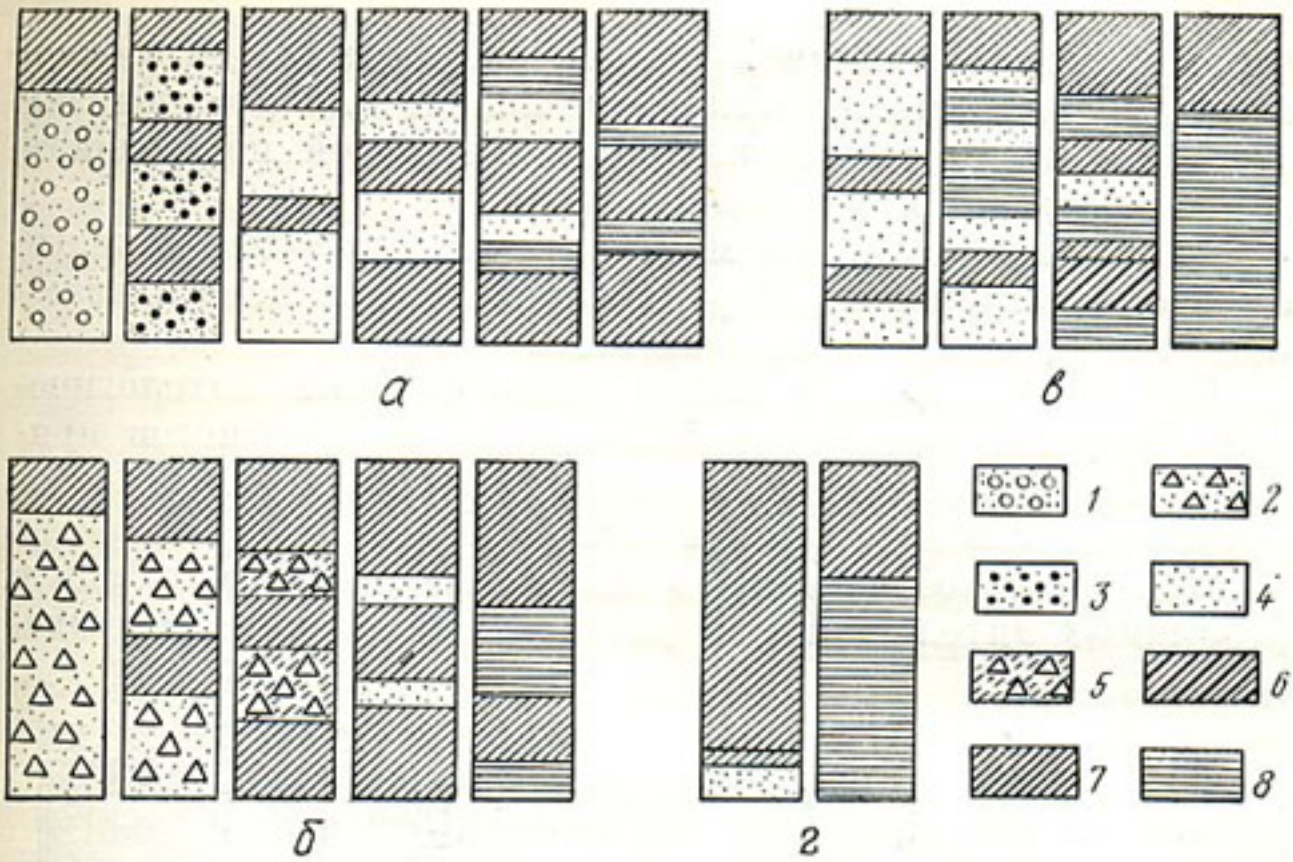


Рис. 5. Генетические ряды типовых литологических разрезов верхнего яруса подземных вод (на глубину 70—100 м):

а — аллювиальные равнины; *б* — предгорные равнины; *в* — дельты и приморские низменности; *г* — водораздельные равнины; *1* — галечник; *2* — угловатый галечник с суглинком; *3* — гравий; *4* — песок; *5* — щебень с мелкоземом; *6* — супесь; *7* — суглинки; *8* — глина.

имеет закономерности, определяющие конкретные условия работы скважин вертикального дренажа.

На рисунке 5 показаны типовые литологические разрезы основных районов современного и перспективного орошения. Разрезы расположены соответственно гипсометрическому положению земель. Для предгорных равнин характерны два генетических ряда разрезов — один связан с аллювием крупных рек и имеет окатанные фракции галечно-песчаных водоносных слоев, последовательно уменьшающиеся от гор к равнине и замещающиеся глинами и песками. Другой связан с временными потоками, для которых характерны угловатость обломков и наличие мелкозема в крупнообломочном материале, замещающемся на периферии суглинисто-глинистыми слоями.

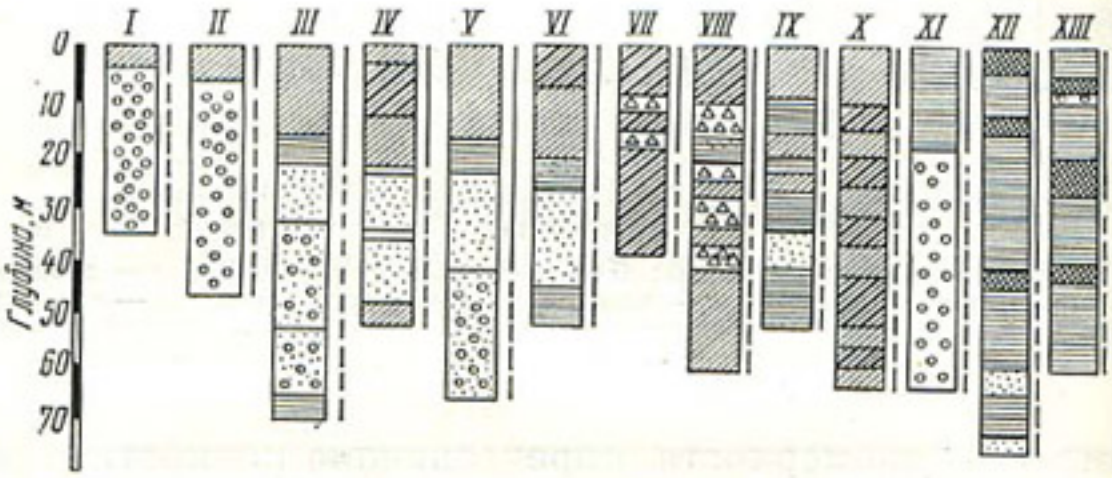
На аллювиальных равнинах платформенной территории преобладают песчаные фракции, которые к низовью и в дельтах переслаиваются с глинами и суглинками. Мощность покровных суглинков увеличивается от молодых террас к более древним с 2—5 м до 25—40 м. Водораздельные равнины в значительной части представлены мощной

лессовой или лессовидной толщей, часто имеющей в основании маломощные флювиогляциальные или древнеаллювиальные пески или лежащей на размытой поверхности пород различной водопроницаемости.

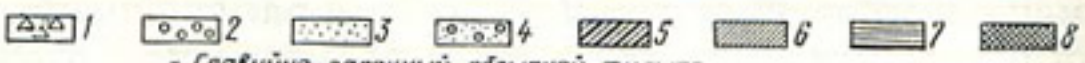
Для приморских низменностей характерны тяжелые глинистые отложения, в различной степени переслаивающиеся с мелкозернистыми песками.

Вся перечисленная гамма разнообразных литологических разрезов для целей фильтрационных расчетов приводится к четырем схемам: однопластовой, двухпластовой, беспластовой и водоупорной (см. гл. 5).

Для того чтобы показать диапазоны работы скважин в различных литологических разрезах, на рисунке 6 приве-



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Диаметр бурения скважины, мм	300	250	1000*	1000*	250	1000*	1500**	1500**	1000*	900–1200*	1000	1000*	1000*
Длина фильтра, м	21	41	25-40	20-36	24	15	19	36	25	25-30	42	42	41
Диаметр фильтра, мм	300	250	400	400	250	300	250	250	350	350	600	300	300
Понижение, м	0,6; 1,6	5	10	12-15	3,5; 7,9; 8,1	15	4	1,65	5-7	12-20	17	14; 20	15
Расход, л/с	40; 85	98	100	60-80	11; 32; 45	42	30	17,7	15-25	14-45	360	42; 45	27
Расстояние между скважинами, км			0,8-1,2	0,6-0,7		1,2			0,65	0,6-0,8	1,6	0,8	0,8



* Гравийно-галечный обсыпной фильтр
** Щебенистый обсыпной фильтр по Панкратову

Рис. 6. Фактические литологические разрезы и параметры эксплуатационных скважин:

I — долина р. Чирчик, водопровод г. Ташкента, 1937 г.; *II* — долина р. Ала-Арча, водопровод г. Фрунзе, 1940 г.; *III* — Голодная степь, Шурузякское понижение, 1970 г.; *IV* — Голодная степь, совхоз «Пахта-арал», 1968 г.; *V* — Голодная степь, Шурузякское понижение (по Макридину), 1930 г.; *VI* — Поволжье, Кисловская оросительная система, 1976 г.; *VII—VIII* — Ашхабад (по Панкратову), 1936—1937 гг.; *IX* — юг Украины, 1972 г.; *X* — Туркмения, совхоз «Карадамак», 1967 г.; *XI*, *XII*, *XIII* — долина р. Соленой, Аризона, 1928 г.; *1* — щебень; *2* — галечник; *3* — песок; *4* — песок с гравием; *5* — супесь; *6* — суглинок; *7* — глина; *8* — шох.

дены фактические данные по основным параметрам скважин, успешно эксплуатирующихся в самых разнообразных условиях по гидрогеологической терминологии от «весьма благоприятных» до «неблагоприятных». Имеются и такие разрезы, которые не вошли в типы условий «возможных» для применения вертикального дренажа (Карадамакские и аналогичные разрезы предгорной равнины в долине р. Соленой, не содержащие песчаных прослоек). Следует отметить, что для весьма благоприятных условий (покров легкого механического состава до 10 м и подстилающие породы — галечник или гравий) приведены скважины для водоснабжения, так как в таких условиях вертикальный дренаж для мелиоративных целей не строится по указанным выше причинам. Так, на Краснознаменской системе при малых мощностях покровных суглинков вертикальный дренаж вызывает неравномерность осушения и, как указывалось, мало благоприятен в этих условиях.

В долине р. Соленой скважины в мощных галечниках с покровом глинистых пород до 30 м и подачей 360—400 л/с используются для орошения. Практика показала, что попытки искусственного ограничения условий применения вертикального дренажа проводимостью толщи (не менее 100 м^2/сут) также не имеют смысла. Например, в Яванской долине Таджикской ССР, где проводимость водоносной толщи составляет 50 м^2/сут, оказалось, что в условиях напорного питания грунтовых вод вертикальный дренаж эффективнее горизонтального. Примеры районирования условий применения вертикального дренажа в соответствии с деталями литологического строения показаны на конкретных объектах в главе 4.

На орошаемых землях степной зоны при современной технике орошения в некоторых случаях профилактический вертикальный дренаж может оказаться экономичным и целесообразным при меньших водопроводимостях.

Таким образом, в основе районирования условий применения вертикального дренажа (как и любого другого) должны лежать ландшафтно-зональный принцип и природно-мелиоративное районирование. Тип дренажа нельзя выбирать путем простого сравнивания приведенных затрат (по минимуму затрат) или только по оценке гидрогеологических условий. Оба эти фактора, несомненно, важные, но не во всех случаях решающие. Необходим также анализ почвенно-агрономической обстановки объекта, нередко определяющей требуемый мелиоративный режим.

Глава 3

ВОДНО-СОЛЕВОЙ РЕЖИМ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МЕЛИОРАТИВНОГО РЕЖИМА И ТИПА ДРЕНАЖА

Необходимость создания технически совершенных мелиоративных систем предъявляет высокие требования к обоснованию оптимального мелиоративного режима и возможных средств управления движением влаги, воздуха, тепла и питательных веществ.

До недавнего времени многие ученые и практики рассматривали в качестве критерия мелиоративного состояния орошаемых земель так называемую критическую глубину до уровня грунтовых вод, понятие о которой впервые было введено М. М. Бушуевым в 1914 г. на основе исследований урожайности хлопчатника в зависимости от положения уровня грунтовых вод (Голодностепская опытная станция). С мелиоративных позиций это понятие было развито Б. Б. Полыновым и В. А. Ковдой. Б. Б. Полынов дал определение критической глубины залегания уровня засоляющей почву грунтовой воды как такого расстояния между зеркалом грунтовой воды и поверхностью почвы, при уменьшении которого начинается поверхностное засоление почвы. В. А. Ковда критической называет такую глубину, выше которой капиллярные соленосные растворы, восходящие от зеркала минерализованных грунтовых вод, достигают поверхности почвы, вызывают соленакопление в почве, угнетение и гибель растений.

Для оценки критической глубины были предложены эмпирические зависимости применительно к конкретным природным условиям (Ковда, 1947).

Наряду с понятием критическая глубина был предложен термин критическая минерализация грунтовых вод (Керзум, Грабовская, 1957).

По мнению Н. Г. Минашиной (1972, 1974), понятия критические глубина и минерализация грунтовых вод не отражают такие важные и непременно действующие факторы, как время, режим орошения и минерализация оросительных вод.

В связи с этим Н. Г. Минашина предложила понятие— критический солевой режим почв. Солевой режим почв может быть назван критическим, когда концентрация почвенных растворов периодически приближается к токсическому уровню для сельскохозяйственных растений, но не превышает его. О поддержании такого режима на орошаемых землях писали А. Н. Костяков, Н. Н. Фаворин, С. Ф. Аверьянов (1956). Вопросы управления мелиоративным режимом на оросительных системах сводились к поддержанию критических положений, а прогнозные расчеты—к определению скорости и продолжительности подъема грунтовых вод до критического уровня для установления сроков строительства дренажа. Однако опыт Голодной степи, Краснознаменской и других оросительных систем показал, что прогнозные расчеты зачастую не оправдывались: скорости подъема грунтовых вод были значительно выше расчетных. Вместе с тем стабилизировать критическое положение на оросительных системах с низким к.п.д., как правило, было невозможно. Это приводило к интенсивному развитию вторичного засоления на землях с недостаточной дренированностью. Весьма значительное засоление орошаемых земель произошло прежде всего там, где грунты и грунтовые воды имели первичные запасы солей — Азербайджан (оросительные системы в Муганской, Сальянской, Мильской степях), Узбекистан (Голодная степь, Бухарский оазис), Туркмения, Казахстан, юг Украины.

На Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам борьбы с засолением и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель Средней Азии, Южного Казахстана и Азербайджана (январь 1964 г., Ташкент) С. Ф. Аверьянов поставил вопрос о пересмотре понятия «критическая глубина грунтовых вод» как универсального критерия, предъявляемого к работе дренажа на орошаемых землях. Критическая глубина, полученная в определенных конкретных условиях и служащая косвенным показателем всего комплекса (почв, солей, культур, климата, режима орошения, дренированности и др.), не является константой и принципиально не может быть перенесена в условия, сколько-нибудь отличные от наблю-

давшихся. Практика показала, что для применения критической глубины и критического режима нужно было устанавливать новые формы связей и учитывать влияние большого числа факторов, в том числе климатические условия года, категории почв и грунтов, степень и характер их засоления, состав выращиваемых культур, режим орошения и др. Итак, вместо физических констант определяется величина, которая пригодна только для того участка и тех конкретных условий, где ее наблюдают. Однако нужна какая-то основа, на которую должны ориентироваться в расчетах. Таким требованиям удовлетворяют режим влажности и солевой состав почвогрунтов (Айдаров, Каримов, 1974).

Н. М. Решеткина (1960, 1964, 1966, 1971, 1972) неоднократно показывала необходимость новых подходов к расчету дренажа и выбору проектных мелиоративных режимов.

Этот вопрос приобрел особую остроту в связи с широким развитием орошения в степной зоне, представленной высокоплодородными зональными почвами автоморфного ряда — черноземами и каштановыми.

Современные технически совершенные гидромелиоративные системы позволяют создавать на территории орошаемых объектов оптимальный мелиоративный режим для данных природных условий. Такой режим при орошении, химизации, высокой агротехнике и прочих мероприятиях не только сохранит естественное плодородие почв, но и обеспечит неуклонное его повышение и получение максимальных урожаев сельскохозяйственных культур при наименьших затратах воды и труда.

В принципе могут быть созданы четыре типа мелиоративных режимов (гидроморфный, полугидроморфный, полуавтоморфный и автоморфный), характеризующихся специфической структурой общего водно-солевого баланса и баланса грунтовых вод, глубиной залегания и режимом грунтовых вод, долей их участия в почвообразовательном процессе и в питании растений (табл. 5).

Гидроморфный и полугидроморфный режимы характерны для пойм, низких террас и речных дельт, низменных приморских равнин, а также зон выклинивания на предгорных равнинах. При этом в условиях хорошей обеспеченности подземного стока (60—70% суммарного расхода) формируются плодородные луговые почвы на пресных грунтовых водах; в условиях слабой дренированности или

Таблица 5. **Мелиоративные режимы и критерии мелиоративного благополучия по основным показателям**

Мелиоративные режимы	Мелиоративные показатели эффективности дренажных систем				Степень использования воды (доля от водоподачи), %	Зоны и районы применения
	глубина грунтовых вод, м	критическая минерализация грунтовых вод, г/л	суммарная дренированность, тыс. м³/га	дренажный модуль, л/с·га		
Гидроморфный	1—2	До 2 $6{,}8 \leqslant pH \leqslant 7{,}5$	5—6	0,3—0,4	40—50	Зоны с природными близкими пресными грунтовыми водами и незасоленными гидроморфными почвами — поймы и низкие террасы рек; зоны выклинивания пресных грунтовых вод на подгорных равнинах; приморские равнины для рисовых систем
Полугидроморфный	2—3	2—5 $pH=6{,}5—7{,}5$	4—5	0,2—0,3	60—70	Низкие террасы и дельты рек с пресными и слабоминерализованными грунтовыми водами; приморские низменные равнины
Полуавтоморфный	3—8	5—10	1—3	0,05—0,2	75—80	Районы древних дельт, приморские и пролювиальные равнины часто с солеными грунтовыми водами и глубоко солончаковатыми почвами
Автоморфный	Более 8—10		0,5—1	0,05—0,1	85—90	Районы с природным автоморфным режимом, с глубокими грунтовыми водами до орошения, пресными почвами. Аллювиальные террасы на платформах, водораздельные равнины

Примечания. 1. В понятие водоподачи включается или только оросительная вода (аридная зона), или вместе с осадками (степная и лесостепная зоны).
2. При автоморфном режиме качество подземных вод рассматривается при использовании их на орошение.
3. На рисовых системах дренажный модуль возрастает до 0,8—1 л/с·га.

в бессточных условиях развиваются почвы в различной степени засоленные и солончаки на соленых грунтовых водах (Прикаспийская низменность, Присивашские земли, земли Манычского прогиба и др.).

В зонах молодых тектонических поднятий — высокие террасы рек, расчлененные водораздельные равнины и плато, где во многих случаях почвы прошли ранее стадию гидроморфизма, развиты почвы автоморфного и полуавтоморфного ряда в зависимости от степени поднятий и соответственно глубины грунтовых вод. К этим районам относится лессовая равнина юга Украины, верхние террасы Волги, Заволжская Сыртовая равнина, северо-восточные части Прикаспийской впадины и другие районы, находящиеся в стадии естественного рассоления.

Для этих районов главная цель дренажа при орошении — сохранение природного рассолительного процесса и профилактика вторичного засоления.

Эта задача должна лежать в основе выбора типа дренажа. При поддержании полуавтоморфного и автоморфного режимов и сохранении рассолительного природного процесса дренаж должен быть глубоким. Для полуавтоморфного режима может быть применен и вертикальный дренаж, и горизонтальный дренаж (глубиной не менее 5 м), а для автоморфного режима пока (по техническим причинам) только вертикальный дренаж, позволяющий поддерживать уровень грунтовых вод на любой заданной глубине.

Естественная и искусственная суммарная дренированность показана в таблице 5. На пойменных землях с близкими пресными грунтовыми водами и незасоленными луговыми почвами на галечниковом аллювии горных рек естественный сток (дренированность) полностью обеспечивает благоприятный водно-солевой режим при орошении, поэтому дренаж не нужен. Противоположный случай — низменная приморская равнина, где при развитии орошения (рисовые системы на юге Украины или в дельте Кубани) промывной режим его и дренаж должны полностью обеспечивать необходимый водно-солевой режим почв.

Могут быть средние случаи (Волго-Ахтубинская пойма), где дренаж при орошении должен дополнять недостаточную естественную дренированность.

Вопрос сводится к определению оптимального для данных природных условий мелиоративного режима и к подбору соответствующего состава мелиоративных меропри-

тий — комплекса технических решений для поддержания и регулирования заданного режима.

Глубокий анализ природных процессов: их направленности, взаимосвязей, существующих и возможных (при мелиоративном воздействии) изменений и темпов этих изменений, то есть все то, что объединяется общим термином—мелиоративный прогноз, позволяет сделать правильный выбор проектного мелиоративного режима и принять соответствующие технические решения.

Для почв степной зоны автоморфного ряда — черноземов и каштановых, склонных к процессам содообразования, осолонцевания и слитообразования, что существенно сказывается на их плодородии, весьма ответственным является выбор способа, техники и режима орошения (Егоров, Бондарев, Зимовец, 1973; Вадюнина, 1970).

Бережное отношение к этим почвам, представляющим национальное богатство страны, требует прежде всего возможно более полного сохранения оптимальных природных условий. Поэтому предпочтение отдается мелкокапельному дождеванию с малой интенсивностью как дотации к осадкам. Возможно, для отдельных районов перспективным окажется аэрозольное, мелкодисперсное орошение, импульсное или даже внутрипочвенное.

Дренаж в этих условиях должен обеспечить сохранение природного автоморфного режима (Решеткина, 1972).

В полупустынной зоне Прикаспийской низменности на комплексных светло-каштановых почвах поверхностный способ орошения в сочетании с мелиорациями солонцов будет занимать существенное место (Кистанов, 1970; Костин, 1971).

Таким образом, ландшафтно-зональный, гидрогеолого-почвенно-мелиоративный принцип должен быть основой выбора оптимального мелиоративного режима.

ВОДНО-СОЛЕВЫЕ БАЛАНСЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ДРЕНАЖА

Водный и солевой балансы отражают разность между суммарным поступлением и расходованием воды и солей, равную изменению их запасов в пределах балансового участка за определенный период времени. В зависимости от поставленных задач соответственно изложенному в главе 2 рассматриваются балансы крупных регионов, бассей-

Таблица 6. **Уравнения водных и солевых балансов**

Условия	Баланс	Водный баланс	№ формул	Солевой баланс	№ формул
В естественных условиях	Общий	$\Delta W = (\overline{П} - \overline{О}) + (\underline{П} - \underline{О}) + (О_с - C_п) - И_п - (И + T_р) \pm p$	1	$\Delta S = (S_{\overline{п}} - S_{\overline{о}}) + (S_{\underline{п}} - S_{\underline{о}}) + S_А \pm S_р$	9
	Зоны аэрации	$\Delta W_а = (\overline{П} - \overline{О}) + (О_с - C_п) - И_п - (И + T_р) \pm q$	2	$\Delta S_а = (S_{\overline{п}} - S_{\overline{о}}) + S_А \pm S_q$	10
	Грунтовых вод	$\Delta W_{гр} = (\underline{П} - \underline{О}) \pm q \pm p$	3	$S_{гр} = (S_{\underline{п}} - S_{\underline{о}}) \pm S_р \pm S_q$	11
При орошении	Общий	$\Delta W = (\overline{П} - \overline{О}) + (\underline{П} - \underline{О}) + (О_с - C_п) + (B - C_о) - И_п - (И + T_р) \pm p$	4	$\Delta S = (S_п - S_о) + (S_{\underline{п}} - S_{\underline{о}}) + S_А + S_в - S_с \pm S_р$	12
	Зоны аэрации	$\Delta Wa = (\overline{П} - \overline{О}) + (О_с - C_п) - И_п - (И + T_р) + (B - C_о) + (1 - \alpha)\, Ф_к \pm q$	5	$\Delta S_а = (S_{\overline{п}} - S_{\overline{о}}) + S_А + S_в + S_ф \pm S_q$	13
	Грунтовых вод	$\Delta W_{гр} = (\underline{П} - \underline{О}) + \alpha Ф_к \pm q \pm p$	6	$\Delta S_{гр} = (S_{\underline{п}} - S_{\underline{о}}) + S_ф \pm S_q \pm S_р$	14
При орошении и дренаже	Общий	$\Delta W = (\overline{П} - \overline{О}) + (\underline{П} - \underline{О}) + (О_с - C_п) + (B - C_о) - (И + T_р) - И_п - Д \pm p$	7	$\Delta S = (S_п - S_о) + (S_{\underline{п}} - S_{\underline{о}}) + S_А + S_в - S_с - S_д \pm S_р$	15

Зоны аэрации	Водобалансовое уравнение (5)		Уравнение (13)	
Грунтовых вод	$\Delta W_{гр} = (\underline{П} - \underline{О}) + \alpha Ф_к - Д \pm$ $\pm q \pm p$	8	$\Delta S_{гр} = (S_{\underline{п}} - S_{\underline{о}}) + S_ф - S_д \pm$ $\pm S_q \pm S_р$	16

Примечание. ΔW — суммарное изменение запасов воды в границах балансового участка за расчетный период; $\overline{П}$ — приток поверхностных вод; $\overline{О}$ — отток поверхностных вод за пределы балансового участка; $\underline{П}$ — приток грунтовых вод; $\underline{О}$ — отток грунтовых вод; $О_с$ —атмосферные осадки; $С_п$ — поверхностный сток; $И_п$ —испарение поверхностных вод; $(И+Т_р)$—испарение и транспирация из почвы; $\pm p$ — вертикальный водообмен балансового слоя с глубокими подземными водами (знак «+» — восходящее напорное питание, знак «—» — нисходящий поток грунтовых вод); $\Delta W_а$ — изменение запасов влаги в зоне аэрации в границах балансового участка за расчетный период; $\pm q$ — вертикальный водообмен между почвенными и грунтовыми водами; $\Delta W_{гр}$ — изменение запасов грунтовых вод в пределах балансового участка за расчетный период; $В$ — водоподача оросительной воды; $С_о$ — сброс с поверхности полей; $Ф_к$ — фильтрационные потери из каналов; α — коэффициент, выражающий долю от фильтрации из каналов, идущую на питание грунтовых вод; $(1-\alpha)$ — коэффициент, выражающий долю от фильтрации из каналов, идущую на пополнение запасов воды в зоне аэрации; $Д$ — дренажнйй сток; ΔS — суммарное изменение запасов солей в границах балансового участка за расчетный период; $S_{\overline{п}}$ — поступление солей с поверхностными водами; $S_{\overline{о}}$ — вынос солей поверхностными водами за пределы балансового участка; $S_{\underline{п}}$ — поступление солей с притоком грунтовых вод; $S_{\underline{о}}$ — вынос солей с оттоком грунтовых вод; $S_А$ — поступление солей с атмосферными осадками; $\pm S_p$ — поступление или вынос солей при вертикальном водообмене с глубокими горизонтами подземных вод; $\Delta S_а$ — изменение запасов солей в зоне аэрации; $\pm S_q$ — поступление или вынос солей при вертикальном водообмене между почвенными и грунтовыми водами; $\Delta S_{гр}$ — изменение запасов солей в горизонте грунтовых вод; $S_в$ — поступление солей с оросительными водами; $S_ф$ — поступление солей с фильтрационными потерями из каналов; $S_д$ — вынос солей с дренажным стоком.

нов, оросительных систем, отдельных участков; в каждом конкретном случае определяются пространственные границы балансовой территории и расчетный период времени.

Взаимосвязь поверхностных, грунтовых и почвенных вод наиболее полно раскрывает метод раздельного составления балансов, предложенный С. Ф. Аверьяновым (1959, 1965).

Приведенные уравнения водного и солевого балансов (табл. 6) для различных условий конкретного объекта мелиораций позволяют установить направленность мелиоративного процесса и общие количественные изменения за определенный период.

В процессе развития орошения составляющие водных и солевых балансов претерпевают изменения. Анализ динамики этих составляющих по выделенным природно-мелиоративным районам дает возможность более надежно наметить необходимую интенсивность и режим дренирования, тип и конструкцию дренажа соответственно литологическому строению и технико-экономическим расчетам.

При расчете на среднемноголетний период ($\Delta W=0$) нагрузка на дренаж определяется из уравнений (7) и (8):

$$Д=(\overline{П}-\overline{О})+(\underline{П}-\underline{О})+(О_с+С_п)+(В-С_о)-$$
$$-И_п-(И+Т_р)\pm p$$

или

$$Д=(\underline{П}-\underline{О})+\alpha Ф_к\pm q\pm p.$$

Все элементы, входящие в уравнение балансов, за исключением осадков, взаимосвязаны. Это позволяет по известным величинам составлять прогнозные водно-солевые балансы.

Однако нельзя использовать балансовые уравнения для вычисления недостающих величин, подставляя в них величины, полученные для других условий. Нужно весьма осторожно и умело использовать данные лизиметрических наблюдений и исследований, которые сами по себе дают весьма ценный материал для вскрытия природы водно-солевого баланса монолита почвогрунта в определенных моделируемых условиях (то же относится и к данным опытных участков).

В естественных условиях общий водный и солевой балансы, гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия неразрывно связаны. Можно сказать, что водно-солевой баланс — это количественный показатель гидро-

геолого-почвенно-мелиоративных условий территории. Для подтверждения сказанного в таблице 7 приведена структура баланса поверхностных вод Ферганской долины, а в таблицах 8 и 9 (по данным Н. М. Решеткиной) показаны изменения в балансах грунтовых вод и солей в связи с развитием орошения и строительством дренажа за 20 лет.

Таблица 7. **Баланс поверхностных вод Ферганского гидрогеологического бассейна** (по среднемноголетним данным В. А. Шульца)

Приход	м³/с	Расход	м³/с
Атмосферные осадки	154	Суммарное испарение	402
Приток поверхностных вод	788	Отток поверхностных вод (по станции Запорожская на Сырдарье)	540
Итого	942		942

Общая дренированность Ферганского бассейна возросла и солевой сток увеличился в 2,5 раза в соответствии с ростом минерализации воды в Сырдарье.

Внутри гидрогеологических бассейнов на отдельных участках в зависимости от геоморфологических условий и литологического строения водно-солевой баланс может быть весьма разнообразным. При этом главное значение имеет естественная дренированность (обеспеченность подземного стока), определяющаяся гипсометрическим положением, расчлененностью рельефа и литологическим строением территории.

В структуре баланса естественная дренированность выражается соотношением двух наиболее важных элементов расходной части баланса: суммарным испарением и суммарным стоком. В процессах накопления легкорастворимых солей определяющее значение имеет суммарное испарение, в результате которого все соли остаются на месте (в почве, на массиве, в оазисе). Поэтому чем больше испарение, тем менее дренирован объект и тем больше солей остается в его пределах.

Таблица 8. **Структура баланса подземных вод Ферганского гидрогеологического бассейна**

Приход, км³/год	1952 г.	1972 г.	Расход, км³/год	1952 г.	1972 г.
Приток подземных вод из горной области	3,8	3,8	Родниковое выклинивание (вода используется внутри котловины)	2,0	1,2
Образование подземных вод внутри котловины за счет инфильтрации ирригационных вод, а также атмосферных осадков	9,2	10,3	Откачки из скважин	—	0,8
			Сток в Сырдарью:		
			подземный	4,8	5,5
			по коллекторам	1,8	3,6
			Непроизводительное испарение и транспирация грунтовых вод	3,9	1,4
			Подземный сток	0,5	0,5
Итого	13,0	14,1		13,0	14,1

Таблица 9. **Суммарный солевой баланс Ферганской котловины**

Приход, млн. т/год	1952 г.	1972 г.	Расход, млн. т/год	1952 г.	1972 г.
С поверхностным стоком	8,4	8,4	С поверхностным стоком	9,1	20,2
С подземным стоком	1,1	1,1	Потребление растениями	1,1	1,9
Сельскохозяйственные удобрения	0,1	0,3	Подземный сток	1,5	2,1
Итого	9,6	9,8		11,7	24,2

Процессы рассоления регулируются суммарным стоком. При этом особенно большое значение имеет подземный сток, ибо бо́льшая часть солей из почвогрунтов выносится с ним естественным или искусственным дренажем (табл. 10).

В распределении естественной дренированности (или обеспеченности подземного стока) прослеживаются определенные закономерности, связанные с гипсометрическим

Таблица 10. Зоны по степени естественной дренированности и по структуре расходной части баланса

Гидрогеологические зоны	Соотношение стока (C) и испарения ($И$)	Тип солевого баланса
I. Хорошо дренированные территории	$C \gg И$	Интенсивного рассоления
Дренированные	$C > И$	Рассоления
Слабодренированные	$C \approx И$	Стабильный
II. Очень слабодренированные	$C < И$	Слабого засоления
Бессточные	$C \ll И$	Сильного засоления

положением, расчлененностью и литологическим строением территорий.

Для горных областей можно сказать, что выделенные выше зоны (по естественной дренированности) сменяются последовательно от гор к низменностям, по направлению к которым уменьшаются уклоны, снижаются отметки поверхности, мельчает материал четвертичного покрова — водосодержащей среды, уменьшаются скорости движения подземных вод, увеличивается их минерализация и все большее значение в расходной части баланса занимает суммарное испарение.

Следует подчеркнуть еще одну общую закономерность, связанную с изменением естественной дренированности: изменение минерализации подземных вод по вертикальному профилю.

Для хорошо дренированных территорий характерно формирование пресных и ультрапресных подземных вод на всю глубину вертикального профиля.

В хорошо дренированных районах подземный сток значительно превышает суммарное испарение грунтовых вод. В результате здесь складывается солевой баланс по типу рассоления. Однако на целинных землях при глубоком залегании грунтовых вод в аридной и засушливой зонах нередко наблюдается реликтовое засоление в верхних горизонтах почвогрунтов.

Гипсометрически это наиболее высокорасположенные части гидрогеологических бассейнов в пределах расчлененных предгорных равнин, верхних частей конусов выноса, высоких древних аллювиальных террас и водораздельных

плато. Это области питания подземных вод, где благодаря обеспеченному подземному стоку глубина залегания грунтовых вод, как правило, больше 10 м и они не влияют на процесс почвообразования. Последний здесь развивается обычно по автоморфному типу.

На дренированных территориях грунтовые воды в естественном состоянии могут залегать и у поверхности земли, формируя луговые пресные почвы, и на различной глубине от поверхности, не участвуя в почвообразовательных процессах (средние террасы рек и верхние части подгорных конусов выноса).

Для слабодренированных земель, например в центральных частях межгорных котловин и впадин или дельтах рек, общая минерализация грунтовых вод повышается до 2—3 г/л, но вблизи их уровня из-за существенного испарения концентрация солей в грунтовых водах может достигать значительных величин; по типу это сульфатные или сульфатно-хлоридные воды. На орошаемых землях уровень их залегает не глубоко, и они тесно связаны с почвообразовательным процессом, определяя лугово-солончаковое его направление, если не обеспечивается искусственное дренирование орошаемых земель. В последнем случае земли переводятся в группу дренированных.

Наконец, для очень слабодренированных и бессточных территорий характерно засоление по всему вертикальному профилю подземных вод (баланс засоления), различающееся лишь по степени и типу: наибольшие концентрации наблюдаются на бессточных территориях, где преобладает хлоридный тип засолений, в очень слабодренированных— сульфатно-хлоридный. Это районы в низовьях рек, приморских дельтах и приморских низменностях.

Таким образом, в распределении, накоплении и перемещении легкорастворимых солей огромное значение имеют подземные и фильтрационные воды. А в целом для гидрогеологических бассейнов и их отдельных частей устанавливается тесная связь между их гидродинамикой и гидрохимией. Поэтому для успешных расчетов водного и солевого балансов по любому бассейну, участку, массиву или профилю нужно изучить строение и основные закономерности движения воды и солей и составить гидрогеодинамические и гидрогеохимические расчетные схемы. По ним составляют необходимые уравнения водного и солевого балансов, отвечающих природным и ирригационно-хозяйственным условиям объекта.

Однако нельзя забывать, что главная цель сельскохозяйственных мелиораций, и в частности вертикального дренажа на орошаемых землях, — поддержание оптимального водно-солевого баланса в пахотном слое и в зоне аэрации, то есть выше уровня грунтовых вод. На нее уже не распространяются гидрогеодинамические схемы, о которых речь шла выше. Поэтому важно установить связи между зоной аэрации, на которую хотим воздействовать, и зоной подземных вод, на которую непосредственно влияет дренаж. Это особенно важно, так как именно через зону аэрации регулируется солевой баланс орошением (промывками) и дренажем.

ВОДНО-СОЛЕВЫЕ БАЛАНСЫ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВОГО ПРОФИЛЯ ЗОНЫ АЭРАЦИИ

В формировании водно-солевого баланса зоны аэрации характерно наличие трехфазной среды и преимущественно вертикальное направление передвижения воды и солей, определяющее связь поверхностных процессов с грунтовыми водами.

Все изменения при орошении происходят прежде всего на самом орошаемом массиве в вертикальном профиле зоны аэрации, непосредственно влияющей на плодородие почв. Появление оросительной воды изменяет режим не только в корнеобитаемом слое, но и во всей зоне аэрации независимо от ее мощности. Даже при глубоком залегании грунтовых вод изменения водно-теплового, газового, солевого режимов постепенно распространяются на всю зону аэрации.

В настоящее время накоплен богатейший материал наблюдений за режимом зоны аэрации при орошении, дающий в схеме достаточно убедительное представление о ходе процессов. Однако эти процессы настолько сложны, что пока с трудом поддаются моделированию и расчету. Нестационарность потоков, необходимость учета гистерезисных явлений, существование высоких градиентов растворенных веществ и температур — характерные черты этой зоны.

Именно этим объясняется тот факт, что пока еще точность расчетного (прогнозного) подъема уровня грунтовых вод на массиве весьма приблизительна и, как показывает опыт, отклонения получаются в сторону завышения расчетных сроков. Это приводит к опозданию строительства дре-

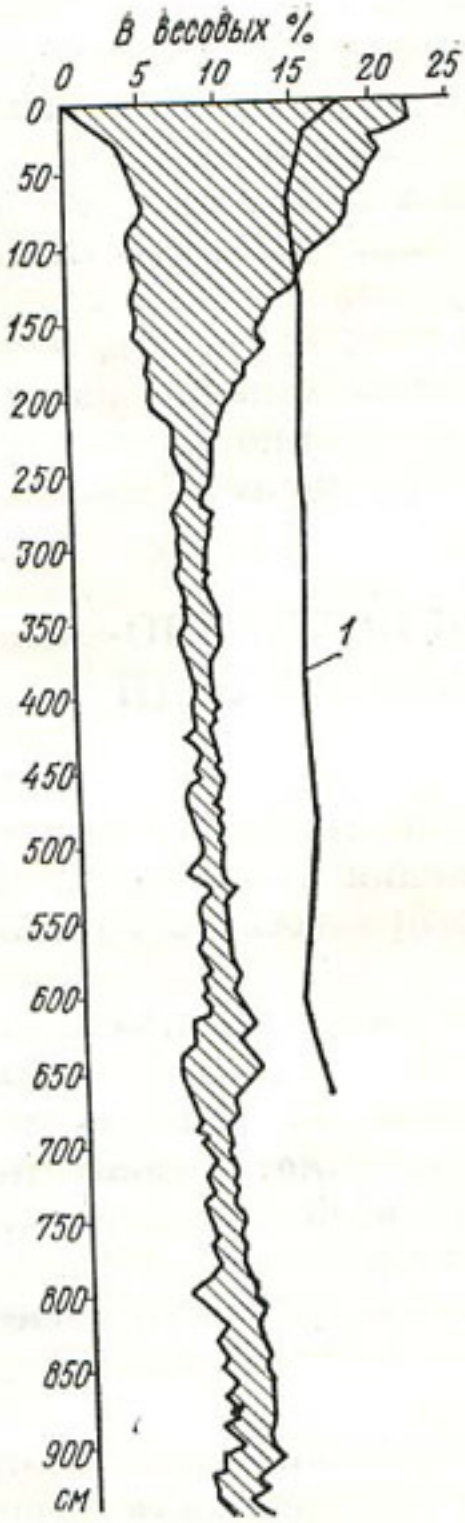


Рис. 7. Зона изменения профиля влажности типичного серозема на целине с 11/VI 1959 г. по 15/IX 1960 г.:

1 — максимальная молекулярная влагоемкость по Лебедеву.

нажа. Поэтому натурные исследования водного и солевого балансов зоны аэрации приобретают все большее значение.

В зависимости от глубины залегания грунтовых вод следует различать два типа водно-солевых балансов.

Водно-солевой баланс зоны аэрации при глубоких грунтовых водах (автоморфный режим почвообразования). В этом случае мощность зоны аэрации превышает высоту капиллярного поднятия грунтовых вод. На рисунке 7 показан типичный профиль влажности для целинных земель (неорошаемых) Приташкентского оазиса. В верхней части наблюдается переменная влажность в зависимости от глубины промачивания осадками и иссушения испарением. Эта глубина зависит от зонально-ландшафтных особенностей почвенного профиля и изменяется от 1,5 м на предгорных равнинах с относительно большим количеством осадков до 0,3—0,5 м в сухих степях и полупустынях, где величина атмосферных осадков в год опускается до 200 мм и менее.

В средней части профиля относительно стабильная влажность, близкая к влажности завядания (мертвый горизонт). Нижняя часть, характеризующаяся последующим нарастанием влажности, связана с подпертой капиллярной водой грунтовых вод. Мощность зоны мертвого горизонта возрастает с увеличением глубины залегания УГВ.

Профиль влажности значительно зависит и от механического состава почвогрунтов (Балаев, 1972). Описанный профиль характерен для однородных лессовых толщ.

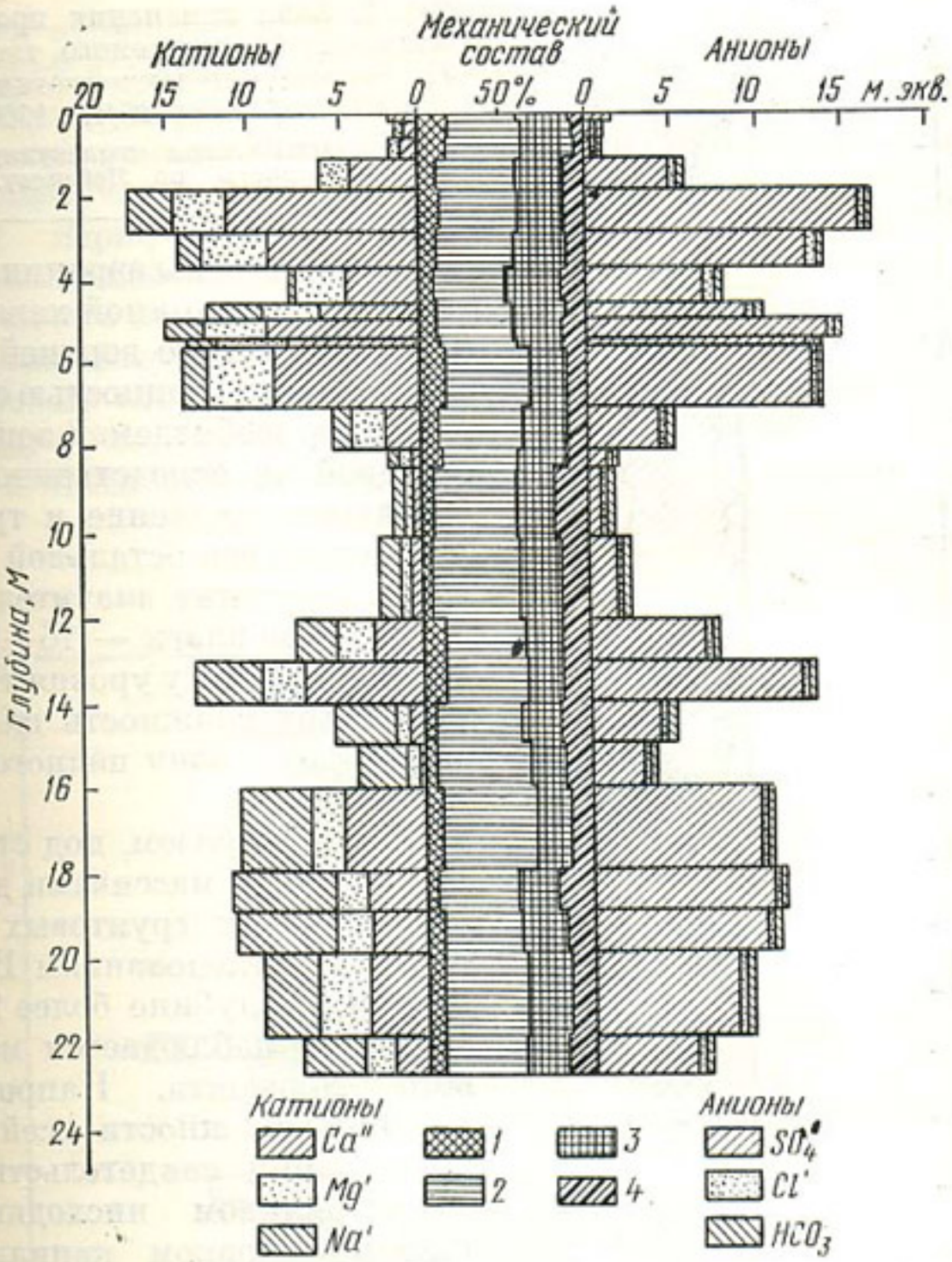


Рис. 8. Солевой профиль типичного серозема на лессе Ташкентского цикла:

1 — песок; 2 — крупная пыль; 3 — остальная пыль; 4 — ил.

Отклонения показывают также реликтовые солевые горизонты, обнаруживающиеся довольно часто в пределах почвенно-грунтового профиля выше уровня грунтовых вод (рис. 8, исследования В. Б. Гуссак и др.). Эти солевые горизонты обычно свидетельствуют об уровнях грунтовых вод на более ранних фазах развития лессовых равнин.

На староорошаемых землях с глубоким залеганием грунтовых вод и, следовательно, хорошо естественно дренированных (например, Приташкентский оазис) профиль

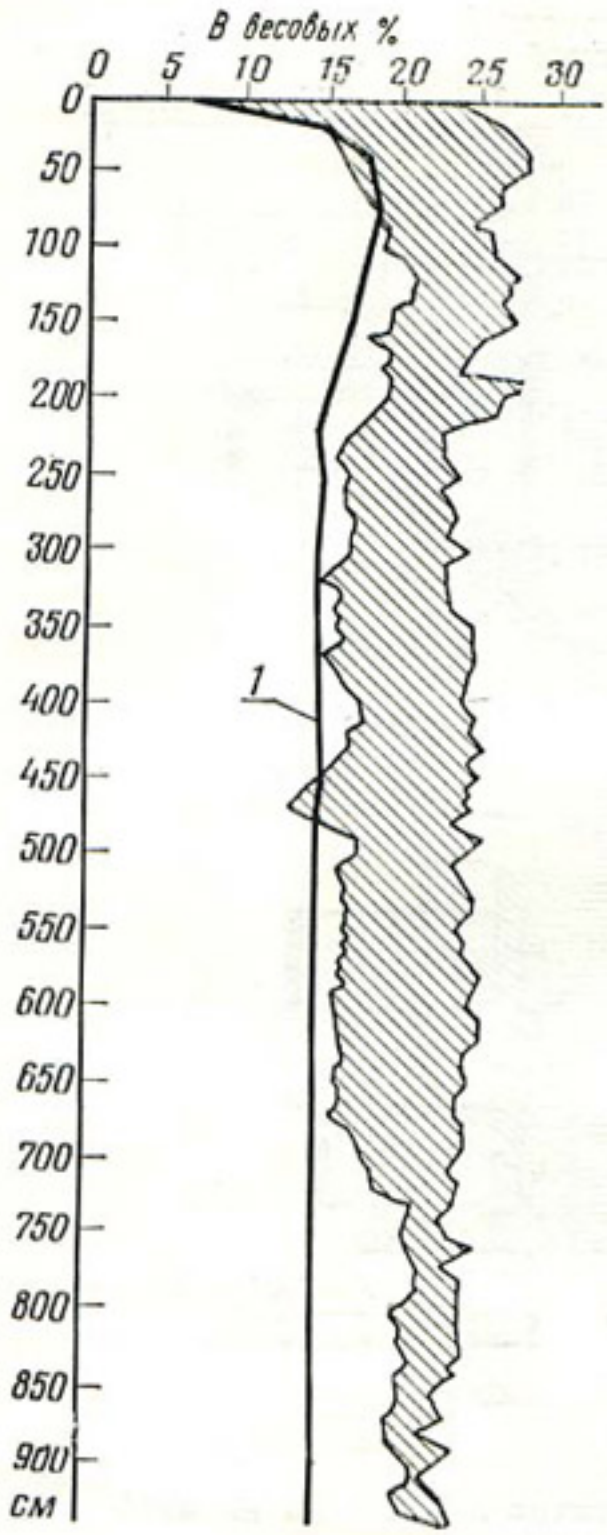


Рис. 9. Зона изменения профиля влажности орошаемого типичного серозема под хлопчатником с 4/VI 1959 г. по 25/IX 1960 г.:

1 — максимальная молекулярная влажность по Лебедеву.

влажности зоны аэрации имеет совершенно иной характер (рис. 9). Кроме верхней части профиля мощностью около 1 м (корнеобитаемая зона), в которой непосредственно сказываются орошение и транспирация, весь остальной профиль содержит значительное количество влаги — 16—23% весовых. Лишь у уровня грунтовых вод влажность плавно переходит в зону полного насыщения.

Таким образом, под староорошаемыми массивами даже при глубоких грунтовых водах (по исследованиям В. Б. Гуссак, на глубине более 12—15 м) не наблюдается мертвого горизонта. Напротив, профиль влажности всей зоны аэрации свидетельствует об устойчивом нисходящем токе в основном капиллярных вод (а, возможно, периодами и гравитационных) из корнеобитаемой зоны в грунтовые воды под влиянием вегетационных поливов и зимне-весенних осадков. При этом естественно ожидать, что даже после первичного засоления почвенно-грунтовый профиль будет постепенно рассоляться под влиянием медленных нисходящих токов фильтрационных вод. Именно это и подтверждают изученные В. Б. Гуссак солевые профили зоны аэрации под староорошаемыми землями Приташкентского оазиса (рис. 10).

Итак, водно-солевой баланс зоны аэрации на староорошаемых землях с глубокими грунтовыми водами склады-

вается отрицательным или по типу рассоления благодаря хорошей естественной дренированности этих земель.

Другая картина наблюдается, когда отсутствует естественная дренированность. Таковы, например, земли центральной части Голодной степи. Генетически они представляют периферическую часть пролювиальной равнины подножий северного склона Туркестанского хребта, контактирующего с краевой частью аллювиального бассейна левобережья Сырдарьи. Литологический разрез верхнего 20-метрового слоя зоны аэрации представлен пестрой толщей пород: от легких суглинков и супесей до тяжелых суглинков с прослойками мелкозернистых песков и реже глин.

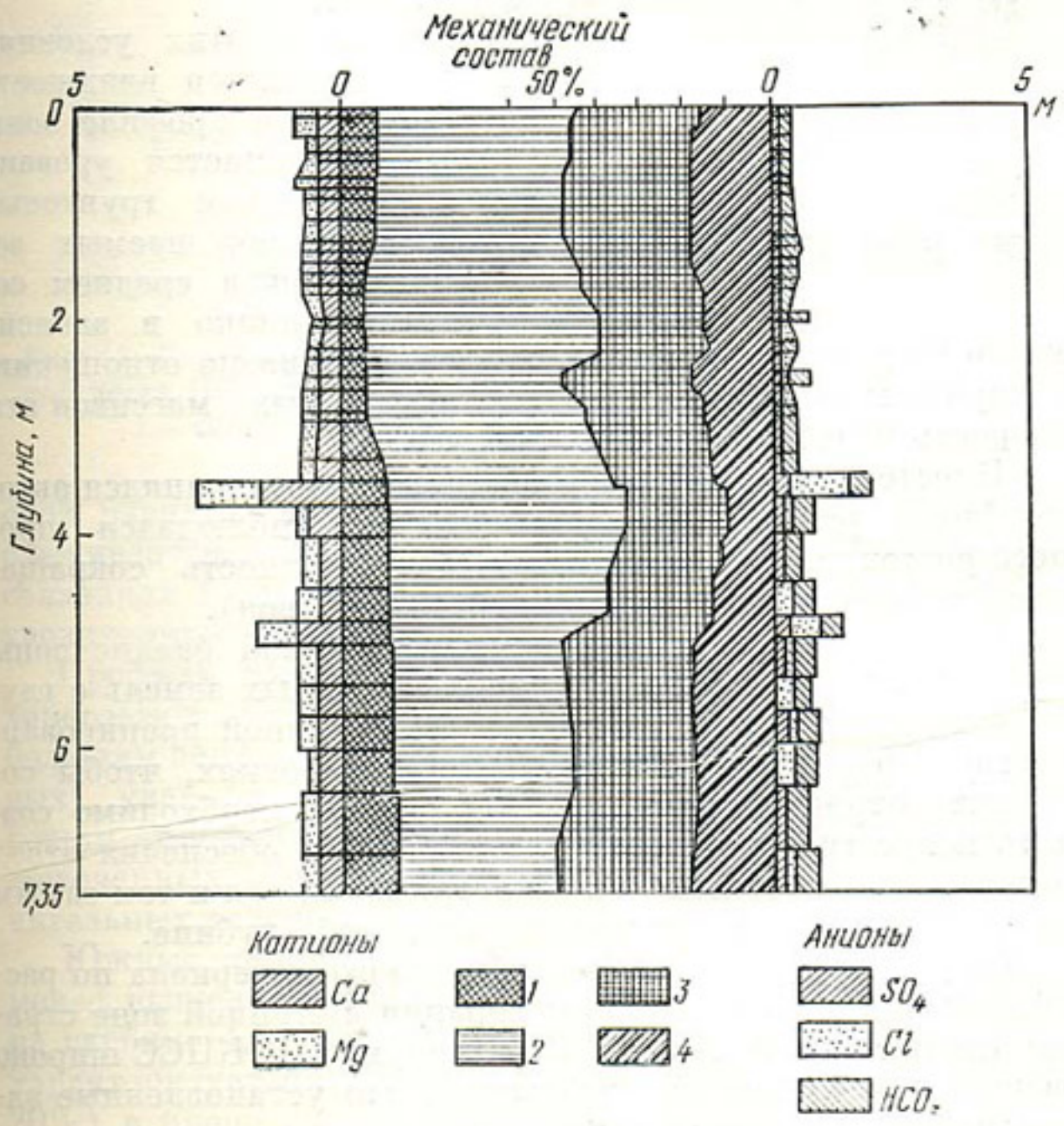


Рис. 10. Солевой профиль орошаемого типичного серозема на лессе Ташкентского цикла:

1 — песок; 2 — крупная пыль; 3 — остальная пыль; 4 — ил.

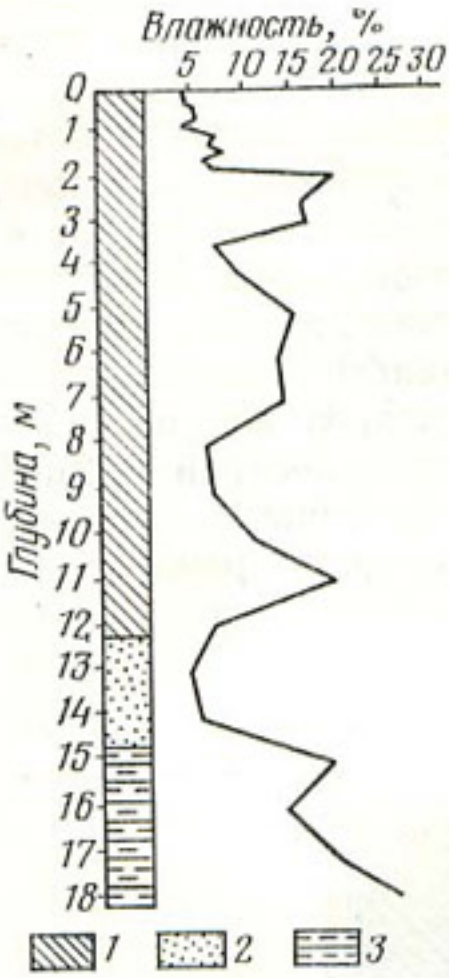


Рис. 11. Профиль влажности на целине в центральной части Голодной степи (точка заложена на богаре, грунтовая вода не вскрыта, 1963 г.):

1 — средний суглинок; *2* — песок; *3* — легкий суглинок.

Исходный профиль влажности (целина до орошения) свидетельствует о весьма неоднородном распределении влаги, связанном как с пестротой в механическоом составе водовмещающих пород, так и с наличием солей (рис. 11, 12).

При орошении в этих условиях не только увеличивается влажность в почвенно-грунтовом профиле зоны аэрации, но и повышается уровень грунтовых вод. Подъем грунтовых вод в условиях новоорошаемых земель Голодной степи в среднем составлял 2 м в год, однако в зависимости от расположения точек наблюдения по отношению к крупным каналам и размеров орошаемых массивов эта скорость колебалась от 0,5 до 4 м в год.

Вместе с тем в первые годы, пока еще сохранялся автоморфный режим почвообразования, наблюдался процесс рассоления в зоне аэрации (мощность сокращалась по мере подъема уровня грунтовых вод).

Таким образом, отрицательный солевой баланс зоны аэрации в первые годы орошения целинных земель с глубокими грунтовыми водами без естественной дренированности — временный эффект. В этих условиях, чтобы сохранить отрицательный солевой баланс, необходимо создать искусственный дренаж, который бы обеспечил отвод рассоляющего расхода из зоны грунтовых вод и тем самым стабилизировал их уровень на заданной глубине.

Просмотр накопившегося обширного материала по распределению влажности зоны аэрации в степной зоне страны, где после майского (1966) Пленума ЦК КПСС широко развивается орошение, показывает, что установленные закономерности правомерны и здесь.

Для зональных почв автоморфного ряда (черноземы и каштановые, развитые на породах лессовой формации Рус-

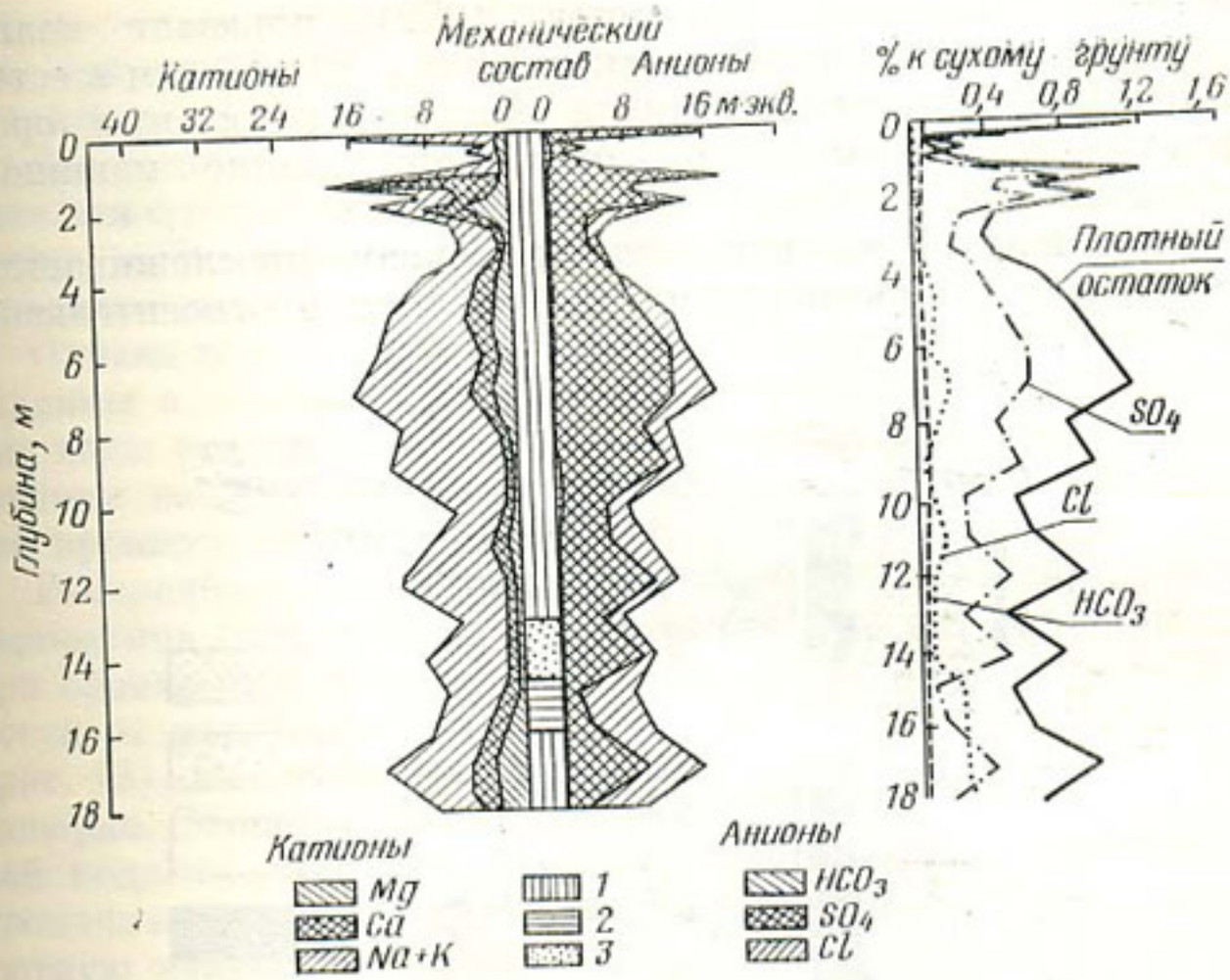


Рис. 12. Солевой профиль почвогрунтов на целине в центральной части Голодной степи (грунтовая вода не вскрыта, 1963 г.):
1 — средний суглинок; 2 — легкий суглинок; 3 — песок.

ской равнины или аллювиальных суглинках) четко прослеживается с севера на юг следующая закономерность, связанная с уменьшением в этом направлении осадков и увеличением испаряемости.

Профили влажности зоны аэрации для обыкновенных черноземов наиболее северных районов характеризуются большим запасом влаги по всему профилю (18—22% весовых), указывая на нисходящий ток влаги и промывной режим этой зоны, что определяет здесь формирование выщелоченных черноземов и отсутствие сколько-нибудь значительных солевых аккумуляций.

Южные черноземы и темно-каштановые почвы имеют менее выщелоченный профиль, нередки скопления солей на глубине 1,5—2 м, профиль влажности зоны аэрации характеризуется несколько меньшими цифрами (16—20%) в пределах так называемого мертвого горизонта по А. Ф. Лебедеву.

Прямые наблюдения на глубоких шурфах, проведенные Киевским Государственным университетом (КГУ,

Жернов, Ситников, Муромцев, 1972), показали наличие нисходящего тока влаги порядка 30—50 мм в естественных условиях, который увеличивается при орошении до 70—80 мм и более (дождевание машиной «Фрегат»).

Еще южнее на каштановых почвах прослеживается уменьшение запасов влаги зоны аэрации и относительное

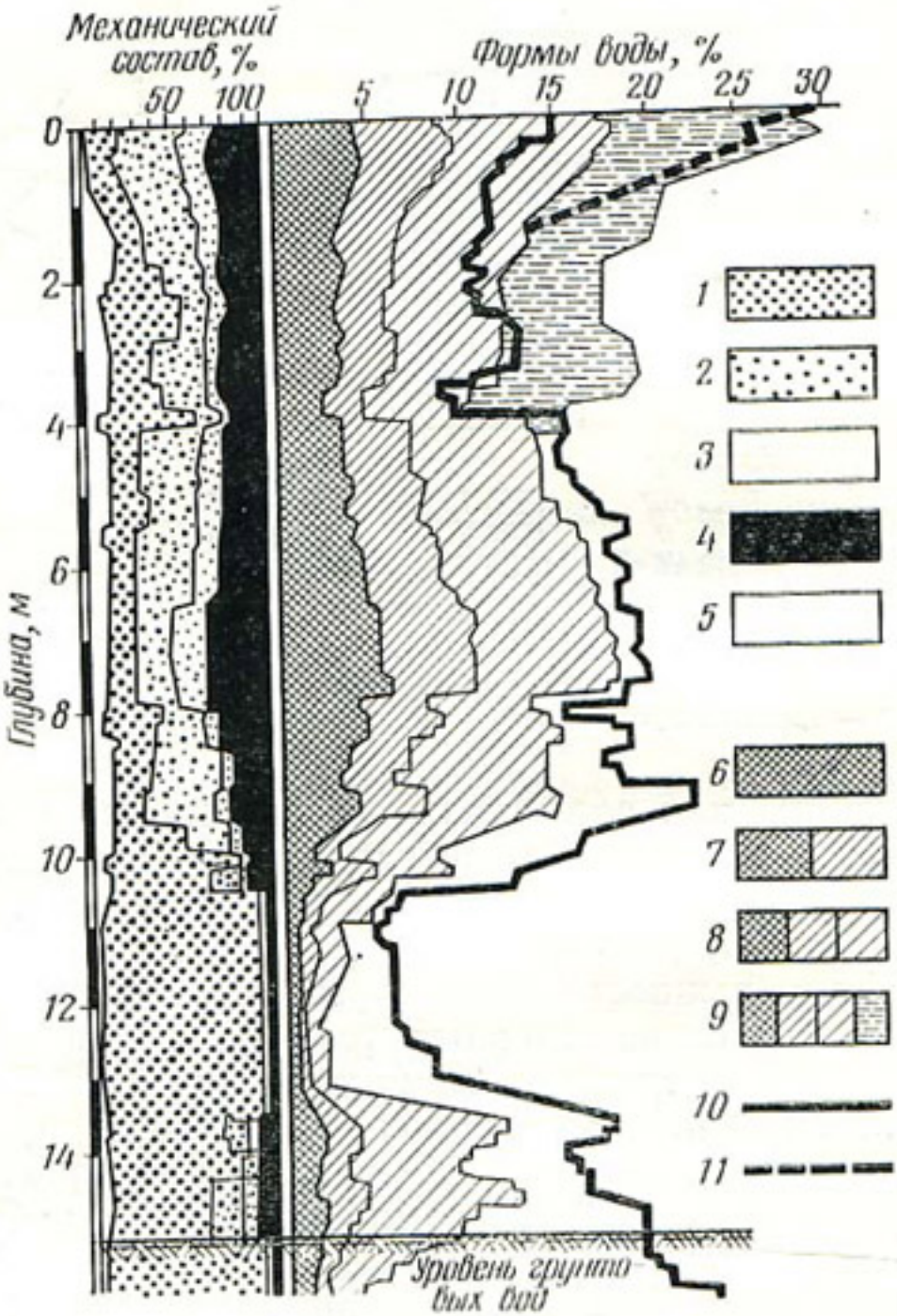


Рис. 13. Механический состав, некоторые формы воды и абсолютная влажность, % веса сухой почвы. Куйбышевская область, Екатериновский орошаемый участок, вторая надпойменная терраса Волги (по Н. А. Качинскому и З. А. Корчагиной):

1 — песок (>0,05 мм); *2* — крупная пыль (0,05—0,01); *3* — пыль (0,01—0,001); *4* — ил (<0,001); *5* — потери при обработке HCl; *6* — гигроскопическая вода; *7* — максимальная гигроскопическая вода; *8* — пленочная вода (по А. Ф. Лебедеву); *9* — общая влагоемкость; *10* и *11* — абсолютная влажность до и после полива.

иссушение ее профиля, а вместе с этим увеличение солевых аккумуляций. Характерным для этой зоны является значительная пестрота в распределении влаги по профилю в естественном состоянии (от 12 до 20% весовых), что связано как с неравномерностью и относительно меньшим питанием инфильтрационными водами, так и более сложным строением почвенно-грунтового профиля этой зоны.

Однако всюду, даже на тяжелых профилях Хвалынской равнины в Прикаспийской низменности, там, где грунтовые воды залегают глубоко, в многолетнем разрезе в зоне аэрации наблюдается нисходящий поток влаги и вместе с тем процессы рассоления почвенного профиля.

Распределение влаги в зоне аэрации для террасовых черноземов (автоморфные, глубина до грунтовых вод 15 м) при орошении показал Н. А. Качинский (1970) в зависимости от механического состава слоистой толщи аллювия (рис. 13). Исследования были проведены летом 1939 г. на люцерне. Общая влагоемкость, соответствующая капиллярной подвешенной воде, была найдена после длительного промачивания почвы и закладки шурфа 15 июня. Абсолютную влажность почвы определяли до и после полива поля, проведенного 7—11 августа нормой 1200 м^3/га. Уровень грунтовых вод был установлен 17 августа.

На графике по оси ординат отложены глубины, по оси абсцисс — содержание фракций механических элементов почвы подстилающих пород (слева), абсолютная влажность почвы (справа), причем каждая из водных характеристик откладывалась по оси абсцис от нулевой точки. Почва сформирована в 2-метровой толще на делювиальном тяжелом иловато-пылеватом суглинке. Ниже 2 м (до 8 м) залегает древний аллювий также тяжело суглинистый, иловато-пылеватый. Еще ниже отмечается резкая смена механического состава — порода переходит в средний суглинок, супесь и на глубине 10,3 м—песок. Ниже 13,2 м находится тяжелая супесь и легкий суглинок. Грунтовые воды вскрыты в песках на глубине 15 м. Из правой части рисунка хорошо видно, что водные константы строго следуют механическому составу, достигая максимума в наиболее тяжелых по механическому составу горизонтах.

Абсолютная влажность почвы до полива в пределах верхних 2,5 м колебалась от 12 до 15 весовых процентов, на 4—5% превышала максимальную гигроскопичность и на 3—4% была ниже максимальной молекулярной влагоемкости по Лебедеву. Ниже по профилю, до глубины 4 м,

абсолютная влажность соответствует максимальной молекулярной влагоемкости. На глубине 4 м над песчаной прослойкой она выравнивается с общей влагоемкостью почвы и далее, в глубь профиля, все время соответствует общей влагоемкости, значительно превосходя максимальную молекулярную влагоемкость. «По-видимому, — отмечает Н. А. Качинский (1970), — при предыдущих поливах почвы, особенно при влагозарядковых поливах, почва промачивалась на большую глубину». Вода в этой толще (4—10 м) могла также накапливаться в силу термокапиллярного передвижения и под влиянием градиента химического потенциала, а также конденсационным путем.

С глубины 8 м при смене механического состава начинает формироваться зона капиллярно посаженной воды (посаженной на мениски). Особенно резко она выражена на глубине около 10 м, где порода переходит в рыхлый песок. Абсолютная влажность в этой зоне достигает 22%, что соответствует общей влагоемкости породы. Ниже 11 м и до уровня грунтовых вод (15 м) выявляется зона общей влагоемкости, соответствующей капиллярной подпертой воде. Абсолютная влажность в зоне легкого суглинка и тяжелой супеси в 2-метровой толще над уровнем грунтовых вод колеблется в пределах 20—16%, а в песчаной толще на высоте от 2 до 4,5 м над уровнем грунтовых вод от 8 до 6%, при этом абсолютная влажность капиллярной подпертой воды значительно превосходит максимальную молекулярную влагоемкость по А. Ф. Лебедеву.

Значительно позже для автоморфных почв Поволжья аналогичные результаты были получены многими другими исследователями (В. В. Бейлин, И. П. Мочалов и др.). Однако данные Н. А. Качинского по выполнению и трактовке являются классическими и существенно раскрывают формирование влажности зоны аэрации в слоистой толще при глубоком залегании уровня грунтовых вод в условиях орошения.

Водно-солевой баланс зоны аэрации при неглубоких грунтовых водах. Если грунтовые воды залегают на глубинах, при которых они влияют на почвообразовательный процесс и с помощью капиллярной каймы могут питать растения, то связь между водно-солевым балансом зоны аэрации (практически это зона капиллярной каймы грунтовых вод) и грунтовыми водами еще более тесная и очевидная, чем при глубоких грунтовых водах. Обычно в аридных не дренированных районах с неглубокими грунто-

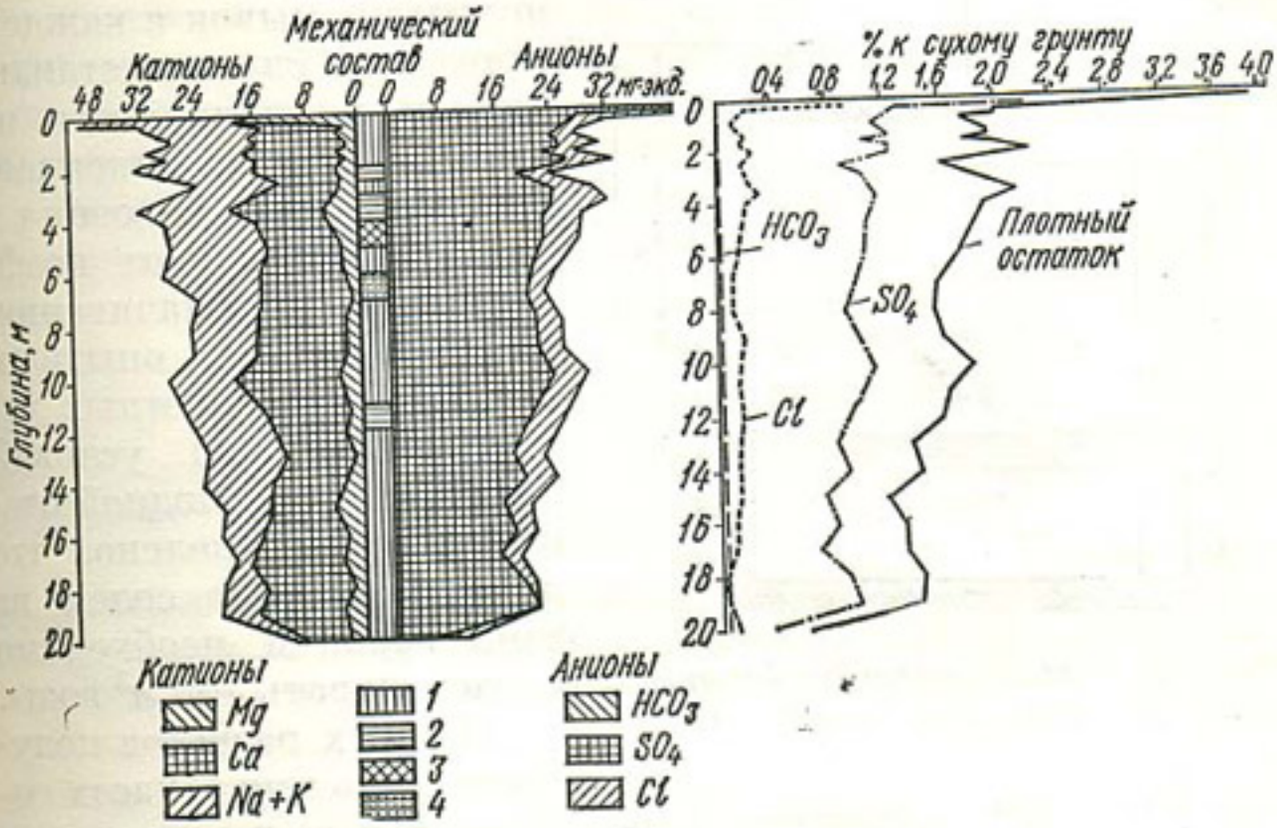


Рис. 14. Солевой профиль почвогрунтов совхоза № 4 Голодной степи (сазово-солончаковая зона, уровень грунтовых вод на глубине 2,8 м, июль 1962 г.):

1 — средний суглинок; *2* — легкий суглинок; *3* — тяжелый суглинок; *4* — супесь.

выми водами на неорошаемых землях солевой баланс зоны аэрации складывается положительно, а интенсивность соленакопления зависит от глубины залегания грунтовых вод и степени их минерализации (Б. Б. Полынов, В. Р. Волобуев, В. А. Ковда, А. Н. Розанов и др.). Поэтому засоленность почвогрунтов и минерализация грунтовых вод хорошо коррелируется с их глубинами: чем ближе уровень грунтовых вод, тем интенсивнее процесс их испарения, в результате которого накапливаются легкорастворимые соли в почвогрунтах и в верхних слоях грунтовых вод.

На таких землях орошение и дренаж должны быть построены таким образом, чтобы обеспечить устойчивый отрицательный солевой баланс в зоне аэрации. При этом если минерализация грунтовых вод высокая, а засоленность почвогрунтов зоны аэрации выше допустимых для развития растения норм (рис. 14), например земли нового орошения в южной части Голодной степи (совхозы № 4, 5), то эти земли необходимо рассолить до их пуска в оборот. Для этого перед освоением земель проводят промывные поливы на фоне искусственного дренажа. Причем

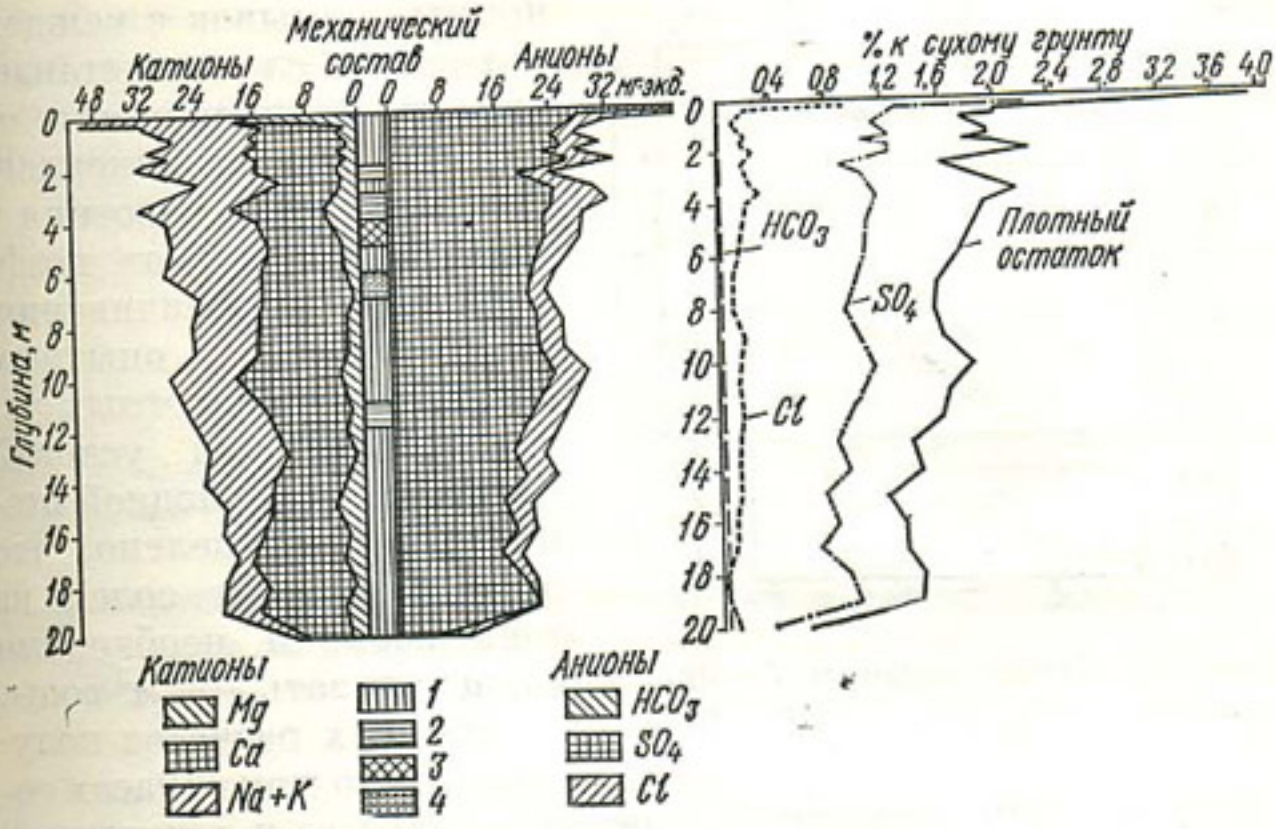


Рис. 14. Солевой профиль почвогрунтов совхоза № 4 Голодной степи (сазово-солончаковая зона, уровень грунтовых вод на глубине 2,8 м, июль 1962 г.):

1 — средний суглинок; *2* — легкий суглинок; *3* — тяжелый суглинок; *4* — супесь.

выми водами на неорошаемых землях солевой баланс зоны аэрации складывается положительно, а интенсивность соленакопления зависит от глубины залегания грунтовых вод и степени их минерализации (Б. Б. Полынов, В. Р. Волобуев, В. А. Ковда, А. Н. Розанов и др.). Поэтому засоленность почвогрунтов и минерализация грунтовых вод хорошо коррелируется с их глубинами: чем ближе уровень грунтовых вод, тем интенсивнее процесс их испарения, в результате которого накапливаются легкорастворимые соли в почвогрунтах и в верхних слоях грунтовых вод.

На таких землях орошение и дренаж должны быть построены таким образом, чтобы обеспечить устойчивый отрицательный солевой баланс в зоне аэрации. При этом если минерализация грунтовых вод высокая, а засоленность почвогрунтов зоны аэрации выше допустимых для развития растения норм (рис. 14), например земли нового орошения в южной части Голодной степи (совхозы № 4, 5), то эти земли необходимо рассолить до их пуска в оборот. Для этого перед освоением земель проводят промывные поливы на фоне искусственного дренажа. Причем

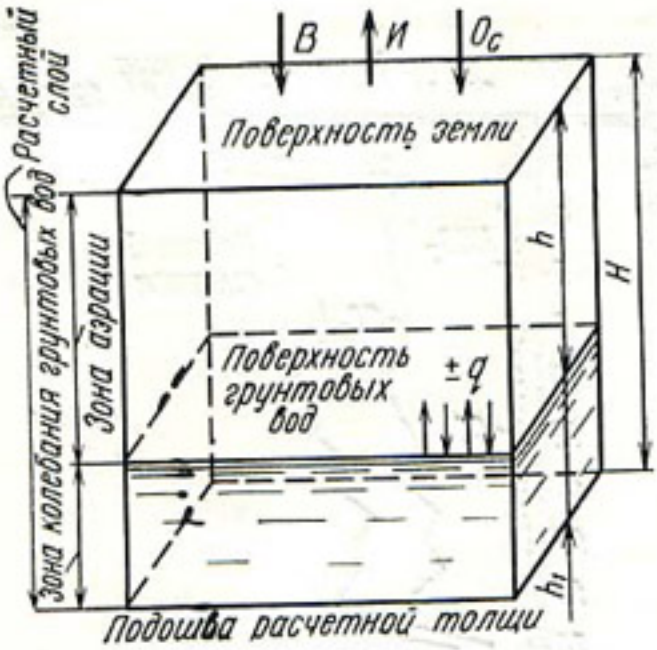


Рис. 15. Схема водного баланса зоны аэрации орошаемого поля.

нормы промывок в каждом отдельном случае устанавливают в зависимости от запасов солей, накопленных к моменту освоения в зоне аэрации, и от коэффициента выщелачивания, определяемого опытным путем для конкретных условий. Так, для условий совхоза № 5 Голодной степи было определено, что для выноса 1 т солей из зоны аэрации необходимо израсходовать 100 м³ воды.

Из этих расчетов получается, что при запасах солей в верхнем 3-метровом слое 450—600 т/га и допустимом содержании в нем легкорастворимых солей 140 т/га нормы промывок составят 30—45 тыс. м³/га. Если дренированность и промывной режим орошения обеспечены, то при хорошей планировке и высокой агротехнике, как показывает практика, достаточно в первый год рассолить верхний метровый слой зоны аэрации, в котором непосредственно развивается корневая система растений (в данном случае хлопчатника как основной культуры). В дальнейшем сочетание орошения с дренажем обеспечит при промывном режиме отрицательный солевой баланс зоны аэрации и последовательный вынос легкорастворимых солей в грунтовые воды. Вместе с ними по дренажным сооружениям соли отводятся за пределы орошаемого массива.

При неглубоких грунтовых водах при проектировании вертикального дренажа особенно важно проверять солевой баланс зоны аэрации для разных фонов (хлопок, люцерна и др.) и на разные характерные сроки (вегетационный и невегетационный период) или по месяцам в течение года соответственно мощности запроектированного вертикального дренажа. Мощность дренажа нужно корректировать контрольными расчетами водно-солевого баланса почвенно-грунтового профиля зоны аэрации внутри орошаемого поля.

Из водного баланса зоны аэрации поля определяют рассоляющий расход фильтрационных вод (рис. 15), выщела-

чивающий из почвогрунтов легкорастворимые соли и переводящий их в грунтовые воды (рассоляющий расход равен суммарной водоподаче плюс осадки минус суммарное испарение).

Водный баланс зоны аэрации орошаемого поля в упрощенном виде выразится уравнением:

$$\Delta W_{\text{А}} = B + O_{\text{с}} - И \pm q, \qquad (17)$$

где $\Delta W_{\text{А}}$ — изменение запасов влаги в зоне аэрации за изучаемое время; B — водоподача за это время; $O_{\text{с}}$ — осадки, выпавшие в тот же период; $И$ — суммарное испарение и транспирация; $\pm q$ — приток или отток из зоны аэрации в грунтовые воды.

В соответствии с этим солевой баланс складывается в зависимости от величины $\pm q$:

если $q=0$, то $И = O_{\text{с}} + B$ и $\Delta S_{\text{А}} = O_{\text{с}} M_{\text{о}} + B M_{\text{в}}$;

если $q>0$, то $И > O_{\text{с}} + B$ и $\Delta S_{\text{А}} = O_{\text{с}} M_{\text{о}} + B M_{\text{в}} + q M_{\text{гр}}$;

если $q<0$, то $И < O_{\text{с}} + B$, при этом наблюдается рассоляющий расход, так как

$$q M_q > (O_{\text{с}} M_{\text{о}} + B M_{\text{в}}),$$

где $\Delta S_{\text{А}}$ — изменение запасов солей в зоне аэрации; $M_{\text{о}}$ — минерализация атмосферных осадков; $M_{\text{в}}$ — минерализация оросительных вод; $M_{\text{гр}}$ — минерализация грунтовых вод; M_q — минерализация рассоляющего расхода воды, прошедшей через зону аэрации в грунтовые воды.

Известно, что суммарное испарение растет с приближением к поверхности земли грунтовых вод. Так, при хорошей агротехнике и глубине грунтовых вод более 3 м суммарное испарение хлопкового поля может поддерживаться на уровне физиологической потребности растений, равной 5,5—6,5 тыс. м^3/га (зависит от урожая) за вегетацию. Тогда превышение водоподачи на 1,5—2 тыс. м^3/га позволит иметь рассоляющий расход 1,5—2 тыс. м^3/га. Однако в этом случае дренаж должен обеспечить соответствующее положение уровня грунтовых вод, гарантирующее названную величину суммарного испарения и транспирации, то есть отвод рассоляющего расхода в дренажные сооружения. При этом полагаем, что за год $\Delta W_{\text{А}} = 0$.

Количество солей, которое будет отводиться рассоляющим расходом, $q_{\text{расс}}$ $M_{q_{\text{расс}}}$ будет зависеть от первичного засоления почвогрунтов: количества солей и их состава. Принято говорить о коэффициенте выщелачивания — количестве воды, необходимом для удаления 1 т солей. Оно

колеблется от 30 до 100 м³/с и более и определяется опытным путем.

Солевой баланс зоны аэрации при близком залегании грунтовых вод:

1. Стабильный, если суммарное количество солей, поступающих с оросительными водами B (водоподача, м³/год), равно количеству солей, отводимых с рассоляющим расходом $q_{расс}$ (м³/год):

$$BM_в = q_{расс} M_{q_{расс}},$$

где $M_в$ — средняя минерализация оросительной воды в расчетный период, кг/м³; $M_{q_{расс}}$ — средняя минерализация рассоляющего расхода, поступающего на поверхность грунтовых вод, кг/м³.

2. Баланс засоления, если суммарное испарение больше водоподачи $B < И_{г.в}$, то

$$BM_в + И_{г.в} M_{г.в} = +\Delta S,$$

где $+\Delta S$ — накопление солей в зоне аэрации за расчетный период, кг; $И_{г.в}$ — суммарное испарение грунтовых вод, м³/год; $M_{г.в}$ — средняя минерализация грунтовых вод, кг/м³.

3. Баланс рассоления, если вынос солей рассоляющим расходом больше, чем приход солей с оросительной водой:

$$BM_в < q_{расс} M_{q_{расс}}$$

или

$$q_{расс} M_{q_{расс}} - BM_в = -\Delta S,$$

где $-\Delta S$ — количество солей, вынесенных за расчетный период из зоны аэрации, кг.

Из этих зависимостей хорошо видно, что, если нет даже первичного засоления почвогрунтов зоны аэрации, все равно необходимо поддерживать равновесие, то есть иметь рассоляющий расход, который обеспечивает вынос солей из пахотного слоя, вносимых туда с оросительной водой. В степной зоне роль рассоляющего расхода выполняют осадки (в невегетационный период). Однако в каждом конкретном случае необходим контроль.

ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ВОДНОГО И СОЛЕВОГО РЕЖИМОВ *

Сложность и разнообразие природных условий мелиорируемых земель предопределяют необходимость надежного обоснования оптимального мелиоративного режима, обеспечивающего нормаль-

* Раздел написан С. Я. Сойфер.

ный рост и развитие сельскохозяйственных культур, получение высоких и устойчивых урожаев. Основные показатели, характеризующие мелиоративный режим в корнеобитаемой зоне,— это пределы изменения влажности в соответствии с потребностями растений и допустимое содержание легкорастворимых солей (Аверьянов, 1965). Вместе с тем практически значимы состояние и развитие процессов в почвенно-поглощающем комплексе и питательный режим корнеобитаемой зоны. Эти показатели регулируются системой мелиоративных мероприятий, и в частности режимом и техникой орошения, химическим составом оросительных вод, различными приемами агротехники, агрохимии и дренажем, а в некоторых случаях применением химических мелиорантов.

Для поддержания оптимальной влажности в соответствии с потребностями растений установлено, что очередной полив необходимо назначать тогда, когда влажность в расчетном слое ниже 0,75—0,85 ППВ (предельной полевой влагоемкости). Количество воды (нетто), необходимое для полива, определяется как разница между запасами влаги при 0,75—0,85 ППВ и исходной влажностью перед поливом. После окончания полива испарение с поверхности почвы и транспирация создают ток влаги в восходящем направлении, а грунтовые воды, пополненные оросительными водами, срабатываются дренажем. В зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод перераспределение влаги в процессе полива и в межполивной период будет различным. Необходимость надежного регулирования водного режима обусловливает широкую постановку экспериментальных и теоретических исследований перераспределения влаги при поливах с учетом изменения погодных условий, взаимодействия между почвой и растениями, а также режима работы мелиоративной системы. Уравнения, описывающие передвижение влаги при неполном насыщении, имеют сложный вид. Для их решения разработаны программы для ЭЦВМ «Раздан-2», М-222, БЭСМ-3М, позволяющие рассчитывать режим орошения при заданных пределах изменения влажности, водный режим почв при заданном режиме орошения, влагообмен почвенных и грунтовых вод (Аверьянов, Голованов, Никольский, 1974).

Составление аналогичных программ с надежным экспериментальным и научным обоснованием применимости их к конкретным природным условиям наряду с усовершенствованием способов и техники контроля за влажностью почв открывают возможности оперативного управления системой для поддержания водного режима на оптимальном уровне.

Такой подход к расчету водного режима правомерен при орошении на незасоленных землях после проведения комплекса мероприятий (к началу вегетационного периода), снижающих содержание токсичных солей активного слоя почв и грунтов ниже допустимых значений, и при глубоком положении уровня минерализованных грунтовых вод. Вместе с тем качество оросительной воды должно быть таким, чтобы в корнеобитаемом слое накопление солей не превышало допустимые значения и чтобы исключало вредное влияние оросительной воды на почву.

Количество воды, необходимое для удаления солей из корнеобитаемой зоны, режим промывок и орошения засоленных или склонных к засолению земель, перераспределение солей при орошении определяются на основе изучения и прогнозирования солевого режима почв и грунтов.

Для расчета промывных норм ($N_н$), необходимых для опреснения почв, Л. П. Розов впервые предложил эмпирическую зависимость вида:

$$N_н = П - m + nП, \tag{18}$$

где $П$ — предельная влагоемкость, м³/га; m — исходная влажность, м³/га; $nП$ — дополнительное количество воды, необходимое для удаления растворенных солей, м³/га; n — коэффициент, зависящий от количества и состава солей, определяется опытным путем.

В дальнейших исследованиях подход к решению задачи оставался прежним, вводились лишь новые эмпирические коэффициенты (Костяков, 1960; Легостаев, 1959). Основные предпосылки, принятые при составлении эмпирических зависимостей, заключаются в том, что при насыщении почв и грунтов до полной влагоемкости происходит полное растворение солей, которые удаляются путем поршневого вытеснения пресной поливной водой. Вместе с тем не учитывается работа дренажа и интенсивность подземного оттока.

Эти допущения, как показали результаты экспериментальных исследований, весьма приближенные. При однократной смене почвенного раствора количество вытесненных солей всегда меньше 100%: в песках выщелачивается до 90% солей, в пылеватых суглинках до 80%, а в агрегированных грунтах до 60% (Л. П. Розов, П. С. Панин и др.).

В. Р. Волобуев предложил определять промывную норму для метрового слоя по формуле, м³/га:

$$N_н = 10\,000\,\alpha \lg\left(\frac{S_1}{S_2}\right), \tag{19}$$

где α — показатель солеотдачи (в условиях обеспеченного оттока); S_1 и S_2 — соответственно исходное и допустимое содержание солей в метровой толще почвогрунта, %.

Для слоя более одного метра, м³/га:

$$N_н = 10\,000\left(\alpha \lg \frac{S_1}{S_h} + \frac{\alpha}{\mu} h\right), \tag{20}$$

где S_h — допустимое содержание солей на глубине h, %; μ — коэффициент, зависящий от скорости отвода промывных вод; h — расчетная глубина опреснения почвогрунтов, м.

Для прогноза солевого режима в метровом слое почвогрунтов В. Р. Волобуев предложил зависимость:

$$S_t = S_0 e^{\frac{E}{\gamma m} - \frac{Д}{\alpha m}}, \tag{21}$$

где S_0 и S_t — содержание солей в метровом слое соответственно на начальный момент и в момент времени t, %; E — суммарное испарение, м³/га; $Д$ — дренажный сток, м³/га; γ и m — коэффициенты ($\gamma = 2{,}718$, $m = 0{,}434$).

Для сохранения или улучшения солевого режима необходимо, чтобы $S_t \leqslant S_0$ или

$$\frac{E}{\gamma m} - \frac{D}{\alpha m} \leqslant 0.$$

Для легких почвогрунтов ($\alpha=0{,}62$) и хлоридного типа засоления $Д \geqslant 0{,}23\ E$, для средних по механическому составу почв ($\alpha=0{,}92$) $Д \geqslant 0{,}34\ E$. В приведенных зависимостях учитывается глубина опреснения и дренажный сток введением эмпирических коэффициентов, которые должны определяться в каждом конкретном случае.

Для более надежного регулирования водного и солевого режимов почв и грунтов надо знать законы движения солей и воды, влияние гетерогенности строения среды, сложного комплекса физико-химических процессов и жизнедеятельности растений и микроорганизмов на перераспределение солей при орошении.

В последние годы в различных отраслях науки и производства широкое развитие получила теория конвективно-диффузионного подхода к описанию процессов массопереноса в пористых средах.

В реальных условиях процессы солепереноса сложны, прежде всего потому, что фильтрация — не чисто гидродинамическое явление (С. В. Нерпин, Б. В. Дерягин, Н. И. Гамаюнов и др.), а осложнена различными факторами, влияние которых проявляется наиболее активно в верхней части разреза. К ним относятся электрокинетические и осмотические явления, термодиффузия, наличие граничных слоев на поверхности частиц твердой фазы (сольватный, диффузионный и др.), неоднородность строения среды, наличие макроканалов и трещин, тупиковых и тонких микропор. При замене реального грунта некоторой физической моделью (пористая среда) и упрощении описания многочисленных микропроявлений движение растворов в пористой среде с позиции физико-химической гидродинамики описывается дифференциальным уравнением конвективной диффузии и уравнениями массообмена и растворения. При постоянной скорости фильтрации, линейной кинетике обмена и растворения уравнение конвективной диффузии для одномерного случая имеет вид (Веригин, 1957; Аверьянов, 1965; Шестаков, 1973):

$$n\frac{\partial C}{\partial t}=D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}-v\frac{\partial C}{\partial x}+\frac{\partial N_1}{\partial t}+\frac{\partial N_2}{\partial t}, \qquad (22)$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial t}=-\beta\,(\alpha N_1-nC), \qquad (23)$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial t}=\gamma\,(C_н-C)\,N_2^{\alpha_*}, \qquad (24)$$

где C — масса растворенных солей в единице объема грунта, г/л; N_1 — массовое содержание солей в неподвижном почвенном растворе, отнесенное к единице объема грунта, кг/м^3; N_2 — массовое количество солей в твердой фазе, отнесенное к единице объема грунта, кг/м^3; $C_н$ — концентрация предельного насыщения, г/л; D — коэффициент конвективной диффузии (гидродисперсии), м^2/сут, $D=D_м+\lambda v$ (при однородном строении); $D_м$ — коэффициент молекулярной диффузии, м^2/сут; λ — параметр дисперсии, м; v — скорость фильтрации, м/сут; n — активная пористость грунта; β — коэффициент скорости обмена между подвижным и неподвижным почвенным растворами, 1/сут; α — коэффициент распределения вещества ($\alpha=1/Г$, Г — постоянная типа Генри); γ — коэффициент скорости растворения; α_* — коэффициент, характеризующий тип засоления ($\alpha_*=0{,}5$ — дисперсное засоление, характерное для кон-

тинентального типа засоления; $\alpha_* = 0$ — поверхностное засоление, характерное для вторично-засоленных земель); x — ордината, отсчитываемая от поверхности земли; t — время, сут.

Задача солепереноса усложняется при наличии солей в твердой фазе. При сульфатно-хлоридном и хлоридно-сульфатном типах засоления почвенные растворы содержат до 60—100% общего количества солей (Ковда, 1946). В этом случае влиянием процессов растворения пренебрегают ($\beta = 0$). В теории массопереноса часто пренебрегают также кинетикой сорбций.

Решения Д. Ф. Шульгина и Р. М. Машарипова показали, что при достаточно длительных ($t \gg 1/\alpha\beta$) промывках и промывных режимах орошения, или критерии обмена $B = \beta L n^2/v \geqslant 7{,}8$, в почвах и грунтах устанавливается равновесный солевой обмен и задача сводится к решению одного уравнения конвективной диффузии:

$$n_э \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (0 \leqslant x \leqslant L), \tag{25}$$

где $n_э = n(1+\alpha)/\alpha$ — эффективная пористость, введение которой в уравнение (25) приводит к замедлению и растягиванию процесса перераспределения солей при математическом описании; L — мощность исследуемой толщи породы, м.

В этом случае можно ограничиться определением двух параметров переноса солей $n_э$ и D и исследованием поля скоростей фильтрации.

В таблицах 11 и 12 приведены основные аналитические решения уравнений солепереноса для толщи конечной и полуограниченной мощности с учетом растворения солей, находящихся в твердой фазе (34)—(39), и при условии, что все соли содержатся в растворе (26)—(33). Начальные условия ($t = 0$) характеризуются равномерным исходным засолением $C(x, 0) = C_0$ или заданы полиномом (37), (38), ступенчатой функцией (32), (33), (36) и в виде ломаной (30), (31), (35). Граничные условия ($t > 0$) отражают постепенное (условие III рода) и скачкообразное (I рода) изменения концентрации на верхней границе ($x = 0$). На нижней границе заданы условия II рода, в решении (39) — условие I рода. Выбор решения для расчета солевого режима в каждом конкретном случае строго индивидуален и должен быть надежно обоснован.

Приведенные решения не отражают гетерогенность строения среды и влияние на солевой режим корневой системы растений. С. Ф. Аверьянов (1965) предложил решение уравнения конвективной диффузии для стационарного режима при постоянной интенсивности отбора влаги корнями растений. Это направление с учетом влияния неравномерности отбора влаги на характер распределения солей было развито в работах И. П. Айдарова, В. Х. Хачатурьяна, А. И. Голованова.

Расчетная модель гетерогенной среды рассмотрена в работах В. М. Шестакова и А. А. Рошаля. В схеме гетерогенно-блокового строения с сосредоточенной емкостью блоков предполагается, что конвективный перенос осуществляется только по проницаемым каналам, в слабопроницаемых блоках солеперенос происходит только диффузионным путем. Таким условиям отвечает «столбчатая» схема строения среды. Вместе с тем рассмотрена «мозаичная» схема, в которой конвективный поток по каналам имеет извили-

стый характер; по блокам солеперенос осуществляется не только диффузионным, но и конвективным путем (сверху вниз).

Система дифференциальных уравнений для концентрации солей в каналах (C) и блоках (C^*) при вертикальном солепереносе представлена в работах В. М. Шестакова и А. А. Рошаля в виде:

$$n_э \partial C^*/dt = \alpha (C - C^*), \tag{40}$$

$$v \partial C/\partial z = \alpha (C^* - C), \tag{41}$$

где $n_э$ — эффективная пористость; v — средняя скорость фильтрации, м/сут; t — расчетное время солепереноса; α — коэффициент массообмена между каналами и блоками; $\alpha = \alpha_д + \alpha_v$, где $\alpha_д$ и α_v — отражают соответственно диффузионный и конвективный перенос в блоках. Причем

$$\alpha_д \sim D_м/l_б^2, \qquad \alpha_v \sim \tilde{k}v/l_б,$$

где $l_б$ — характерный размер блока; $\tilde{k}$ — отношение коэффициента фильтрации блока ($k_б$) к среднему значению для системы.

В частности, принимая кубическую форму блоков, при мозаичном строении:

$$\alpha_д = 12 D_м/l_б^2, \qquad \alpha_v = \tilde{k}v/l_б. \tag{42}$$

Решение системы уравнений (40), (41) для условий постоянной исходной концентрации (C_0), подачи на поверхность зоны аэрации воды с постоянной концентрацией C^0 при постоянной скорости фильтрации v записано в виде:

$$\bar{C} = \frac{C - C^0}{C_0 - C^0} = 1 - \varphi(\eta, \tau), \qquad \bar{C}^* = \frac{C^* - C_0}{C_0 - C^0} = \varphi(\tau, \eta), \tag{43}$$

$$G(x, y) = 1 - e^{-y} \int_0^x e^{-\xi} I_0 (2\sqrt{y\xi})\, d\xi, \tag{44}$$

$$\tau = \frac{\alpha}{n_э} t, \qquad \eta = \frac{\alpha - z}{v}.$$

Функция $G(x, y)$, табулирована. При $\eta > 25$ для относительной концентрации в блоках предложено выражение:

$$C^* = 0{,}5 \operatorname{erfc} \frac{\tau - \eta}{2\sqrt{\eta}}. \tag{45}$$

Для прогноза солевого режима с использованием схемы гетерогенного строения необходимо знать параметры: скорость фильтрации, эффективную пористость, коэффициент массообмена, существенно зависящий от скорости фильтрации, и время запаздывания, за которое происходит насыщение блоков. Методика определения этих параметров изложена в работах В. М. Шестакова и А. А. Рошаля.

Анализ особенностей и свойств почв различных орошаемых районов показывает, что микроагрегатный и механический составы закономерно изменяются от почв степной и лесостепной зоны

Таблица 11. Основные аналитические решения уравнения солепереноса $n_э \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x}$

Краевые условия	Автор, год	Решения	№ формулы	Примечания
$C(x, 0) = C_0$ $-D \frac{\partial C(0, t)}{\partial x} +$ $+ vC(0, t) = vC_п$ $\frac{\partial C(\infty, t)}{\partial x} = 0$	С. Ф. Аверьянов, 1965	$C = C_п + 0{,}5(C_0 - C_п) F(az_0)$ при $a \geqslant 2$, то есть при $t \geqslant 30$—60 сут, $C = C_п + 0{,}5(C_0 - C_п) \operatorname{erfc}(az_0)$	26 27	$F(az_0) = \operatorname{erfc}(az_0^-) +$ $+ [\operatorname{erfc}(az_0^+) - 4a \operatorname{ierfc}(az_0^+)] \times$ $\times e^{4a^2 z}$ $a = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{t}{D}}$; $z_0^{\pm} = 1 \pm z$; $z = \frac{x}{vt}$; $\operatorname{ierfc} \varphi = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\varphi^2) -$ $- \varphi \operatorname{erfc} \varphi$; $\operatorname{erfc}(-\varphi) = 2\varphi + \operatorname{ierfc}(\varphi)$
$C(x, 0) = C_0(x)$ $-D \frac{\partial C(0, t)}{\partial x} +$ $+ vC(0, t) = vC_п$ $\frac{\partial C(L, t)}{\partial x} = 0$	Д. Ф. Шульгин, 1972	$C(x, t) = C_п + 2e^{0{,}5\mathrm{Pe}\xi} \times$ $\times \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\overline{W}(0, \mu_i)(\mu_i \cos \mu_i \xi + 0{,}5\mathrm{Pe} \sin \mu_i)}{\mu_i^2 + 0{,}25\mathrm{Pe}^2 + \mathrm{Pe}} \times$ $\times \exp\left[-\left(\frac{\mu_i^2}{\mathrm{Pe}} + \frac{\mathrm{Pe}}{4}\right)\tau\right]$	28	При $C(x, 0) = C_0$ изображение функции $W(\xi, 0)$ $\overline{W}(0, \mu_i) = \frac{\mu_i \mathrm{Pe}(C_0 - C_п)}{\mu_i^2 - 0{,}25\mathrm{Pe}^2}$; $\tau = \frac{vt}{n_э L}$, $\mathrm{Pe} = \frac{vl}{D}$

$C(x,0)=C_0$ $-D\dfrac{\partial C(0,t)}{\partial x}+$ $+vC(0,t)=vC_п$ $\dfrac{\partial C(L,t)}{\partial x}=0$	H. Brenner, 1962	$\theta=\dfrac{C-C_п}{C_0-C_п}=2\mathrm{Pe}\,e^{0,5\mathrm{Pe}\left(x-\frac{\tau}{2}\right)}\times$ $\times\sum\limits_{i=1}^{\infty}\dfrac{\mu_i^2\cos\mu_i\bar{x}+0,5\mathrm{Pe}\sin(\mu_i\bar{x})\,\mu_i}{\left(\mu_i^2+\frac{1}{4}\mathrm{Pe}^2\right)\left(\mu_i^2+\frac{1}{4}\mathrm{Pe}^2+\mathrm{Pe}\right)}\times$ $\times e^{-\frac{\mu_i\tau}{\mathrm{Pe}}}$	29	μ_i — корни уравнения $\mathrm{tg}\,\mu=\mu\,\mathrm{Pe}:(\mu^2-0,25\mathrm{Pe}^2)$ или $(\mu\,\mathrm{tg}\,0,5\mu-0,5\mathrm{Pe})\times$ $\times(\mu\,\mathrm{ctg}\,0,5\mu+0,5\mathrm{Pe})=0$
$C(x,0)=C_0(x)$ — функция в виде ломаной $-D\dfrac{\partial C(0,t)}{\partial x}+$ $+vC(0,t)=vC_п$ $\dfrac{\partial C(\infty,t)}{\partial x}=0$	Л. М. Рекс, 1971	$C=C_п+0,5\Big[(C_0-C_п)F(az_0)+$ $+K_0\Phi(az_0)+\sum\limits_{j=0}^{S-2}(k_{j+1}-k_j)\,\Phi(az_{j+1})-$ $-k_{n-1}\Phi(az_к)\Big]$ при $a\geqslant 2$, то есть при $t\geqslant 30$—60 сут;	30	$F(az_0)$ по (1); $\Phi(az_0)=\mathrm{ierfc}(az_0)+$ $+[\mathrm{ierfc}(az_0^+)+$ $+4a^2\,\mathrm{ierfc}(az_0^+)]\exp 4a^2z$

Продолжение

Краевые условия	Автор, год	Решения	№ формулы	Примечания
		$C = C_п + 0{,}5\left[(C_0 - C_п)\,\mathrm{erfc}\,(az_0^-) + k_0\,\mathrm{ierfc}\,(az_0^-) + \sum_{j=0}^{S-2}(k_{j+1} - k_j) \times \mathrm{ierfc}\,(az_{j+1}) - k_{s-1}\,\mathrm{ierfc}\,(az_s^-)\right]$	31	
$C(x, 0) = C(x)$ — ступенчатая функция $-D\frac{\partial C(0,t)}{\partial x} + vC(0,t) = vC_п$; $\frac{\partial C(\infty,t)}{\partial x} = 0$	Л. М. Рекс, 1971	$C = C_п + 0{,}5\left[(C_0 - C_п)\,F(az_0) + \sum_{j=0}^{n-1}(C_{j+1} - C_j)\,F(az_{j+1})\right]$ при $a \geqslant 2$, то есть при $t \geqslant 30$—60 сут;	32	$z^{\pm} = 1 + h_j^0 \mp z$; $h_j = \frac{h_j}{vt}$; $k_j = \frac{C_{j+1} - C_j}{a\left(h_{j+1}^0 + h_j^0\right)}$
		$C = C_п + 0{,}5\left[(C_0 - C_п)\,\mathrm{erfc}\,(az_0^-) + \sum_{j=0}^{S-1}(C_{j+1} - C_j)\,\mathrm{erfc}\,(az_{j+1})\right]$	33	

Таблица 12. Основные аналитические решения уравнения солепереноса $n\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v\frac{\partial C}{\partial x} + \gamma(C_н - C)$

Краевые условия	Автор, год	Решения	№ формулы	Примечания
$C(x,0) = C_0$ $-D\frac{\partial C(0,t)}{\partial x} +$ $+ vC(0,t) = vC_п;$ $\frac{\partial C(L,t)}{\partial x} = 0$	Н. Н. Веригин, Б. С. Шержуков, Г. Н. Шапинская, 1967	$C = C_н - (C_н - C_п)\left(\frac{\omega^-}{1+b} + \frac{\omega^+}{1-b} - \frac{2\chi}{1-b^2}\right) +$ $+ 0{,}5(C_0 - C_н)e^{-(b^2-1)a^2}F(az_0)$	34	$\omega^{\pm} = \exp[2a^2z(1 \pm \pm b)]\,\mathrm{erfc}[a(z \pm b)];$ $\chi = \exp(4a^2z - a^2b^2 + + a^2)\,\mathrm{erfc}(az_0^+);$ $b = \sqrt{1+\Pi};$ $\Pi = \frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pe}^2} = \frac{4\beta D}{v^2};$ $\mathrm{Pr} = \frac{\beta L^2}{D};\quad \beta = \gamma$
$C(x,0) = C_0(x)$ — функция ломаной $-D\frac{\partial C(0,t)}{\partial x} +$ $+ vC(0,t) = vC_п;$ $\frac{\partial C(L,t)}{\partial x} = 0$	Л. М. Рекс, 1971	$C = C_н - (C_н - C_п)\left(\frac{\omega^-}{1+b} + \frac{\omega^+}{1+b} - \frac{2\chi}{1-b^2}\right) -$ $- 0{,}5e^{-(b^2-1)a^2}\Big[(C_0 - C_н)F(az_0) +$	35	$F(az_j) = \mathrm{erfc}(az_j^-) +$ $+ \left[\mathrm{erfc}(az_j^+) -\right.$ $\left.- 4a\,\mathrm{ierfc}(az_j^+)\right]e^{4a^2z};$ $\Phi(az_j) = \mathrm{ierfc}(az_j^-) +$ $+ \left[\mathrm{ierfc}(az_j^+) -\right.$

Продолжение

Краевые условия	Автор, год	Решения	№ формулы	Примечания
		$+K_0\Phi(az_0)+\sum_{j=0}^{n-2}(k_{j+1}+$ $+k_j)\Phi(az_{j+1})-k_{n-1}\Phi(az_n)\Big]$		$-4a^2\,\mathrm{ierfc}\left(az_j^+\right)\Big]\,e^{4a^2z}$; $z^{\pm}=1+h_j^0\pm z$; $h_j^0=\frac{h_j}{vt}$; $b=\sqrt{1+\Pi}$
$C(x,0)=C_0(x)$ — ступенчатая функция $-D\frac{\partial C(0,t)}{\partial x}+$ $+vC(0,t)=vC_{\text{п}}$; $\frac{\partial C(L,t)}{\partial x}=0$	Л. М. Рекс, 1971	$C=C_{\text{н}}-(C_{\text{н}}-C_{\text{п}})\left(\frac{\omega^-}{1+b}+\frac{\omega^+}{1-b}-\right.$ $\left.-\frac{2\chi}{1-b^2}\right)-$ $-0{,}5e^{-(b^2-1)a^2}\Big[(C_0-C_{\text{н}})F(az_0)+$ $+\sum_{j=0}^{k-1}(C_{j+1}-C_j)F(az_{j+1})\Big]$	36	$k_j=\frac{C_{j+1}-C_j}{a\left(h_{j+1}^0-h_j^0\right)}$
$C(x,0)=C_0(x)$; $-D\frac{\partial C(0,t)}{\partial x}+$ $+vC(0,t)=vC_{\text{п}}$	Д. Ф. Шульгин, М. П. Чиркин, 1967	$C=2e^{0{,}5\mathrm{Pe}\bar{x}}\times$ $\times\frac{\mathrm{sh}\,[\sigma(1-\bar{x})]+\sqrt{1+\zeta}\,\mathrm{sh}\,[\sigma(1-\bar{x})]}{(2+\zeta)\,\mathrm{sh}\,\sigma+2\sqrt{1+\zeta}\,\mathrm{ch}\,\sigma}+$	37	$\bar{C}=\frac{C-C_{\text{н}}}{C_0-C_{\text{н}}}$; $\tau=\frac{vt}{nL}$; $\mathrm{Pe}=\frac{vL}{D}$; $\bar{x}=\frac{x}{L}$

$\frac{\partial C(L,t)}{\partial x}=0$		$+2\mathrm{Pe}\, e^{0,5\mathrm{Pe}\left(\bar{x}-\frac{1+\zeta}{2}\tau\right)}\times$ $\times\sum_{i=1}^{\infty}\left[\frac{C_0}{\mu_i^2+\frac{1}{4}\mathrm{Pe}^2}-\frac{C_п}{\mu_i^2+\sigma^2}\right]\times$ $\times\frac{\left(\mu_i^2\cos\mu_i\bar{x}+\frac{\mu_i}{2}\mathrm{Pe}\sin\mu_i x\right)}{\mu_i^2+\frac{1}{4}\mathrm{Pe}^2+\mathrm{Pe}}\times$ $\times\exp\left(-\frac{\mu_i^2\tau}{\mathrm{Pe}}\right)$		$\sigma=\frac{\mathrm{Pe}}{2}\sqrt{1+\zeta};\quad \zeta=\frac{4\gamma D}{v^2}$
$C(x,0)=C_0;$ $C(0,t)=C_п;$ $\frac{\partial C(L,t)}{\partial x}=0$	С. Ф. Аверьянов, Цзя-Да-Лин, 1960	$\frac{C_0-C}{C_0-C_п}=\exp(\mathrm{Pe}\,\bar{x})\times$ $\times\left\{\frac{\mathrm{sh}\,(1-\bar{x})\mathrm{Pe}\sqrt{1+\Pi}+\sqrt{1+\Pi}\,\mathrm{ch}\,(1+\bar{x})\mathrm{Pe}\sqrt{1+\Pi}}{\mathrm{sh}\,\mathrm{Pe}\sqrt{1+\Pi}+\sqrt{1+\Pi}\,\mathrm{ch}\,\mathrm{Pe}\sqrt{1+\Pi}}\times\right.$ $+2\exp[-(\Pi+1)F_0]\,\mathrm{Pe}\times$ $\left.\times\sum_{1}^{\infty}\frac{\sin^2\mu_п\sin\mu_п\bar{x}\exp(-F_0\mu_п^2)}{(\sin\mu_п\cos\mu_п-\mu_п)(1+\Pi\cos^2\mu_п)}\right\}$	38	$\mathrm{Pe}=\frac{vL}{D};\quad F_0=\frac{Dt}{L^2};$ $\mathrm{Pr}=\frac{\beta L^2}{D}$ $\mu_п$—корни уравнения $\mathrm{tg}\,\mu_п=-\frac{\mu_п}{\mathrm{Pe}};$ $\bar{x}=\frac{x}{L};\quad v=\frac{v_0}{m_0}$

Продолжение

Краевые условия	Автор, год	Решения	№ формулы	Примечания
$C(x,0)=C_0$ $C(0,t)=C_2$ $C(L,t)=C_3$	Н. Н. Веригин, Б. С. Шержуков, Г. Н. Шапинская, 1967	$C=ue^{mx-pt}+C_н$	39	$m=\frac{v}{2nD}$; $p=\gamma+\frac{v^2}{4n^2D}$ $u(x,t)=-\frac{2}{\pi}(C_н-C_0)\times$ $\times\sum_{k=1}^{\infty}k^2\frac{k}{+\xi^2}[1-(-1)^k e^{-\pi\xi}]\times$ $\times\sin k\pi\frac{x}{L}e^{-k^2\tau}-$ $-\frac{2}{\pi}(C_н-C_2)\times$ $\times\sum_{k=1}^{\infty}\frac{k}{k^2+\eta}[1-(-1)^k\overline{C}e^{-\pi h}]\times$ $\times\sin k\pi\frac{x}{L}(e^{\eta\pi}-e^{k^2\tau})$; $\tau=\pi^2\frac{Dt}{l^2}$; $\xi=\frac{ml}{\pi}$; $\eta=\frac{pl^2}{\pi^2D}$; $\overline{C}=\frac{C_н-C_s}{C_н-C_2}$

(каштановые почвы, черноземы) к пустынным (сероземы), содержание гумуса и структурность уменьшаются. В сероземах преобладают пылеватые частицы (d=0,05—0,01 мм), в черноземах и каштановых почвах — илистая фракция (d<0,001 мм); в соответствии с этим изменяются сорбционные свойства, хорошо выраженные в каштановых почвах, особенно в черноземах. Этим почвам свойственна гетерогенность порового пространства и явления ионного обмена. В таблице 13 приведены результаты определения дифференциальной пористости различных почв.

Таблица 13. **Дифференциальная пористость почв** (по данным И. П. Айдарова)

Почвы	Пористость					
	общая		внутриагрегатная		межагрегатная	
	доли	%	доли	%	доли	%
Черноземы	0,56	100	0,4	72	0,16	28
Каштановые	0,50	100	0,3	60	0,20	40
Сероземы	0,42	100	0,08	20	0,34	80

Вместе с тем почвам степной зоны свойственна комплексность и развитие процессов вторичного осолонцевания. В связи с этим возникает необходимость составления прогноза динамики не только легкорастворимых солей, но и поглощенных оснований с учетом минерализации и химического состава оросительной воды. Это значительно усложняет постановку и решение задачи.

Математическая модель переноса в почвах ионов Na и Ca с учетом явлений сорбции при наличии в почве химического мелиоранта (гипса) предложена Д. Ф. Шульгиным и В. Е. Клыковым (1977). Для решения различных вариантов задачи разработана программа для ЭВМ М-222 на алгоритмическом языке «Алгол-60».

Приведенные математические модели и аналитические решения описывают процессы солепереноса при полном насыщении пористой среды. Такие условия могут быть при промывках, промывном режиме орошения и поверхностном способе полива при относительно близком залегании уровня грунтовых вод. В тех условиях, где надо поддерживать автоморфный мелиоративный режим при орошении дождеванием, обусловливающим неполное насыщение почв и грунтов, приведенные расчетные зависимости неприемлемы. В каждом конкретном случае нужен творческий подход к решению задачи на основе тщательного изучения процесса солепереноса в натурных условиях, приближенных к проектным.

Таким образом, сложность природных условий современных мелиоративных объектов и процессов влаго- и солепереноса при орошении и дренаже определяют необходимость постановки комплексных натурных исследований в различных гидрогеохимических зонах для надежного обоснования применимости существующих математических моделей и разработки новых, наиболее полно отражающих характерные особенности процессов массопереноса в почвах и грунтах в конкретных природных условиях.

Глава 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ОБЩЕМ КОМПЛЕКСЕ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Система вертикального дренажа — это совокупность сооружений, состоящих из водозабора с гидромеханическим оборудованием и наземного комплекса, включающего энергетическое хозяйство, подъездные пути, водоприемное сооружение, водоотводящую сеть, средства автоматики, телемеханики, связи и контрольно-измерительную аппаратуру. Вертикальный дренаж входит в общий комплекс гидромелиоративных систем, поэтому размещение сооружений должно увязываться с элементами сложившейся или проектируемой организации территории, и в частности компоновкой оросительной сети.

Высокий уровень проектных разработок — основа технически совершенных и экономически высокоэффективных оросительных систем. Для его обеспечения надо с необходимой для практики детальностью оценивать все многообразие элементов и процессов природной среды (экосистемы), в которой создается и будет работать оросительная система, составлять прогнозы изменения этих условий при орошении (краткосрочный, долгосрочный, локальный, региональный) и на их основе определять состав и характер технических элементов системы, а также направленность и интенсивность изменений процессов, которые будут в ней развиваться. Задача эта чрезвычайно сложная, не поддающаяся формализации, и в настоящее время, даже в лучших проектах, решается со значительными упрощениями.

На современном этапе при проектировании оросительных систем наряду с методами натурных и лабораторных исследований, аналитическими расчетами и моделирова-

нием отдельных процессов используют методы аналогий, индивидуальный или коллективный опыт и полагаются на научно-практическую интуицию проектировщика. При широком же развитии мелиораций и строительстве крупных оросительных систем такой подход во многих случаях оказывается недостаточно оправданным. Особенно остро эти вопросы встали в связи с включением в зону орошаемого земледелия новых районов страны — степей и лесостепей, где многие из приемов, разработанных и проверенных практикой орошения в аридной зоне, оказались несостоятельными по следующим причинам:

недостаточные знания и учет социально-экономических условий и процессов, а также процессов перемещения вещества и энергии в сложной системе биогеоценоза, на которую распространяется действие мелиораций;

несоответствие современному уровню техники получения информации о динамике многих природных процессов во взаимосвязи с работой технических элементов системы;

недостаточная изученность географических (культурно-ландшафтных) моделей, которые бы в полной мере отражали оптимальные для различных зон и районов страны воздействия мелиораций на природную среду, а также недостаточность знаний о функциональных зависимостях между отдельными частями (элементами), определяющими работу этой модели в целом.

Системы вертикального дренажа следует проектировать в комплексе с разработкой проектов использования и охраны земельно-водных ресурсов бассейна или крупного региона. Для составления проекта дренажа используются данные почвенно-мелиоративных и гидрогеологических исследований.

Объем изысканий и методику их выполнения на различных стадиях проектирования устанавливают согласно нормативным документам.

В зависимости от степени изученности и освоенности территории, сложности природных условий намечаются стадии изысканий и состав работ. На неизученных и неосвоенных территориях необходимость вертикального дренажа доказывается последовательно от региональных исследований до рабочих чертежей. На стадии «Схемы» основная задача исследований — обоснование комплексного использования и охраны земельно-водных ресурсов и рекомендации по выбору первоочередных объектов строительства на основе обобщения и анализа материалов, рекогносцировок и объектов-аналогов.

«Схема», кроме общих разделов (физико-географический очерк, климат и почвы, геология и геоморфология, гидрология, гидрогео-

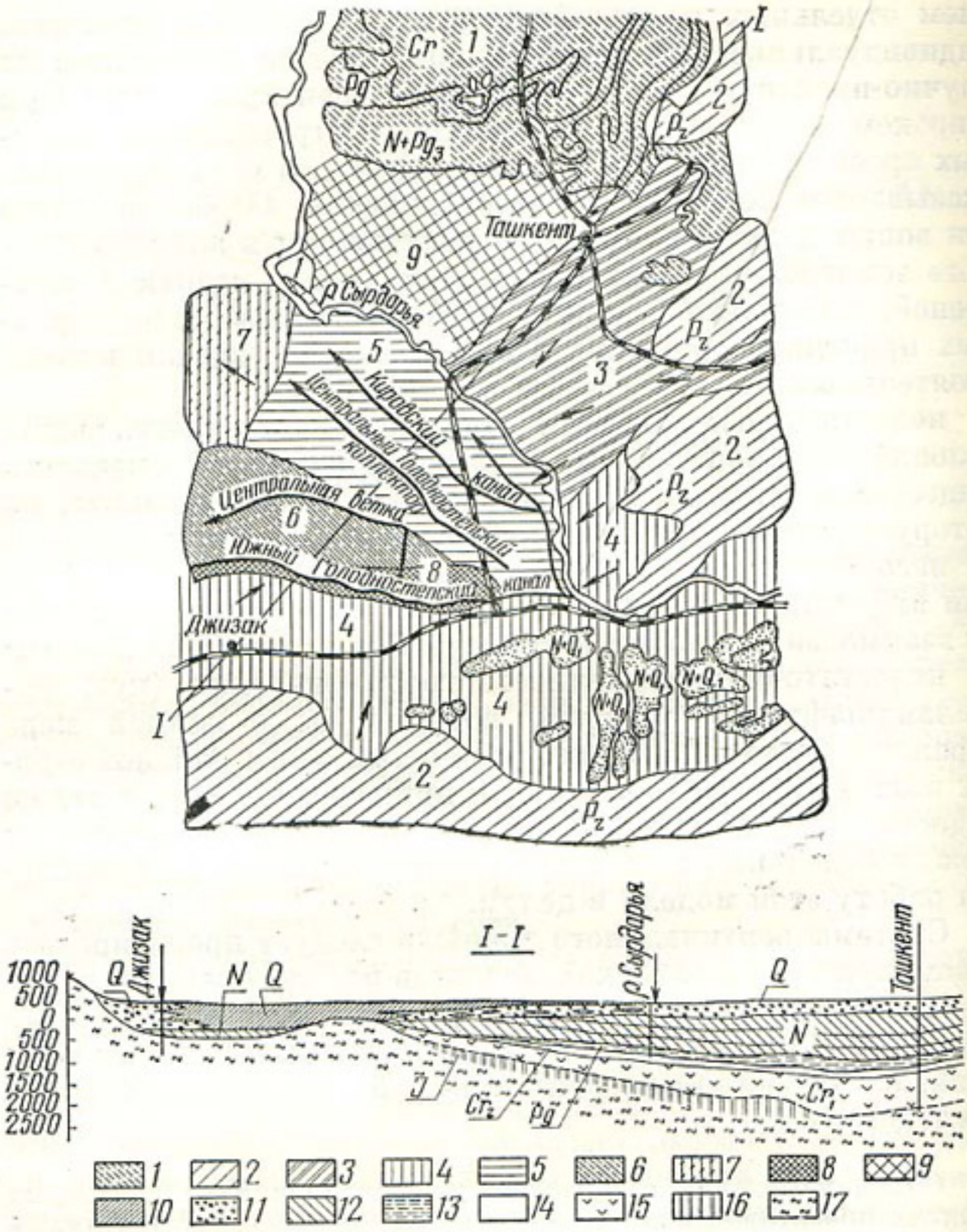


Рис. 16. Схема Голодностепского гидрогеологического бассейна:

1 — область питания водоносных горизонтов Cr, Pg, Ng + Pg₃ на площадях их выхода на дневную поверхность; *2* — область питания всех водоносных горизонтов в местах контакта их с породами палеозоя; *3* — Чирчик-Ангренский аллювиальный поток; *4* — потоки подгорных равнин; *5* — Голодностепский аллювиальный бассейн; *6* — область рассеивания потоков предгорной равнины; *7* — зона слабого стока подземных вод в Кызылкум; *8* — область разгрузки подземных потоков предгорной равнины; *9* — область, бедная подземными водами; *10* — переслаивающиеся суглинки, супеси и глины; *11* — галечники и пески; *12* — переслаивание красно-бурых глин, алевролитов и песчаников, региональный водоупор и граница верхнего яруса подземных вод; *13* — переслаивание серых и зеленоватых морских глин; *14* — серые (в верхней части) и красноцветные (ниже) песчаники и глины; *15* — переслаивание пестроцветных песчаников и глин; *16* — отложения юрского возраста (предположительно); *17* — метаморфические и изверженные породы.

логия, мелиоративно-гидрогеологическое и инженерно-геологическое районирование, природно-мелиоративное районирование), должна содержать разделы, характеризующие запасы подземных вод, динамику водных и солевых балансов, охрану природы, месторождения полезных ископаемых и стройматериалов, районирование территорий по условиям работы дренажа.

К «Схеме» прилагаются карты (масштаб 1 : 200 000). Кроме обычного набора карт, разрезов, графиков и таблиц, перечень которых указан в нормативных материалах, составляются синтезирующие карты.

Карта изученности условий, кроме масштаба выполненных съемок, числа скважин, разрезов и других фактических данных, должна показывать контуры мелиоративно неблагополучных земель (на момент составления карты), а также районы, где необходимы дополнительные гидрологические, гидрогеологические и почвенно-мелиоративные исследования.

Карта формирования подземных вод верхнего яруса необходима для характеристики крупных гидрогеологических бассейнов. На ней выделяют области питания и расходования подземных вод, частные потоки и бассейны и их элементы с качественными и количественными характеристиками, сопровождающимися гидрогеологическими балансовыми и прогнозными расчетами, а также оконтуривают перспективные естественные подземные водохранилища. Она должна иметь гидрогеологические разрезы верхнего яруса подземных вод в нескольких характерных сечениях и количественные показатели модулей подземного стока или величины инфильтрационного питания грунтовых вод (рис. 16).

Природно-мелиоративная карта должна содержать по выделенным районам разработку по рекомендуемым оптимальным мелиоративным режимам на основании анализа всей совокупности природных условий рассматриваемого региона и расчетов динамики водно-солевого баланса (исходного и проектного) для всего бассейна или оазиса в целом, для отдельных его массивов и участков и для типовых почвенно-грунтовых профилей.

Карта перспективности применения вертикального дренажа и использования подземных вод на орошение показывает условия заложения скважин вертикального дренажа (типовые литологические разрезы) по основным природно-мелиоративным районам (рис. 17, 18). Для каждого района в табличной форме приводятся расчетные параметры, конструкции, число дренажных колодцев, их средние дебиты, количество и качество откачиваемой воды, дренажные модули и др.

Все проектные разработки увязываются с режимом и техникой орошения, конструкцией оросительных систем и агрокомплексом. Мощность дренажной системы или суммарный дренажный сток находят по выделенным районам с учетом анализа динамики водного и солевого балансов (исходного и проектного) соответственно выбранным оптимальным для данных природных условий мелиоративным режимам (гл. 3). Литологическое строение каждого участка определяет непосредственные условия работы колодца вертикального дренажа, его дебит и, следовательно,

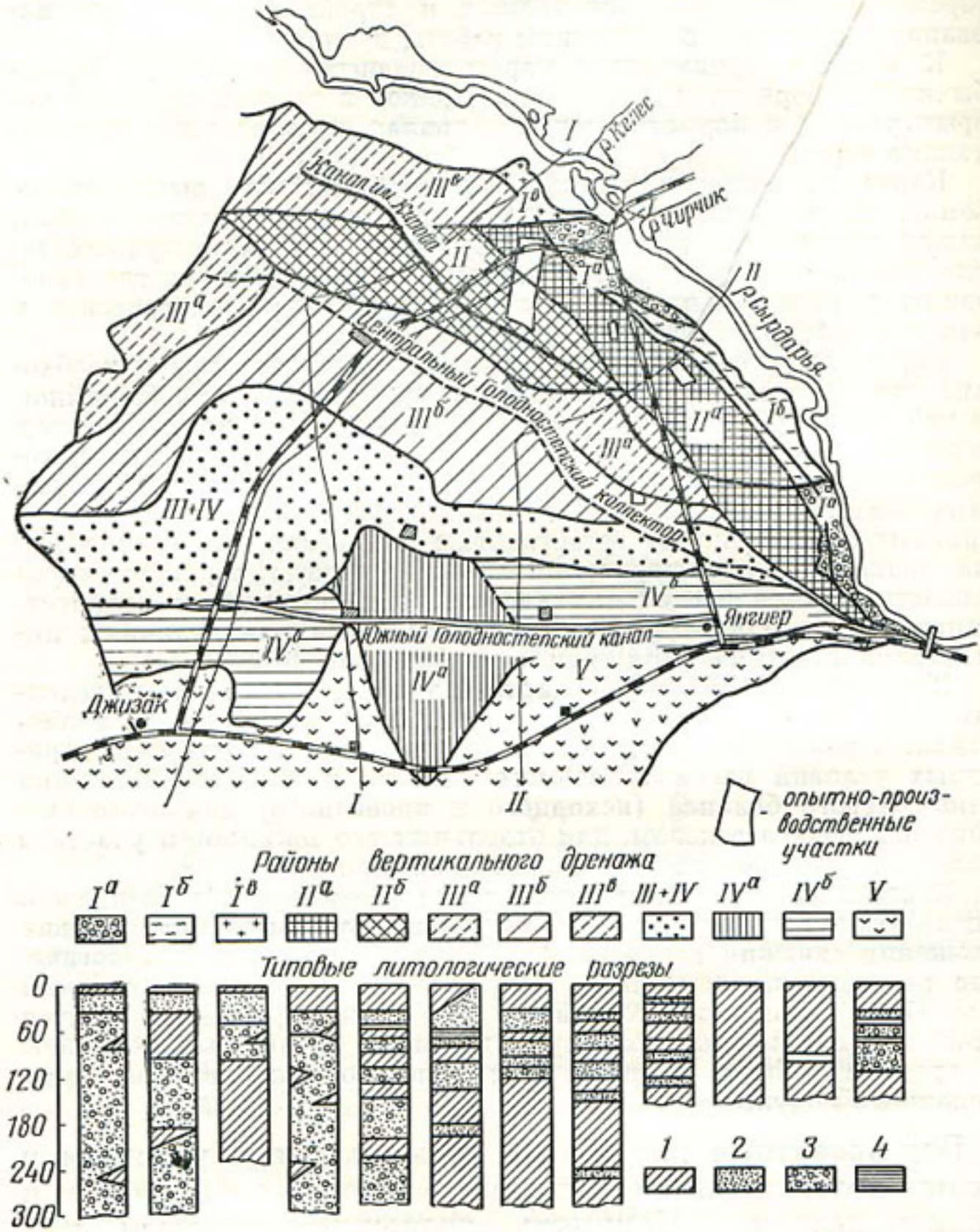


Рис. 17. Схема районирования Голодной степи по условиям заложения и параметрам вертикального дренажа:

1 — суглинки; *2* — песок; *3* — гравий и галечник с песком; *4* — глина.

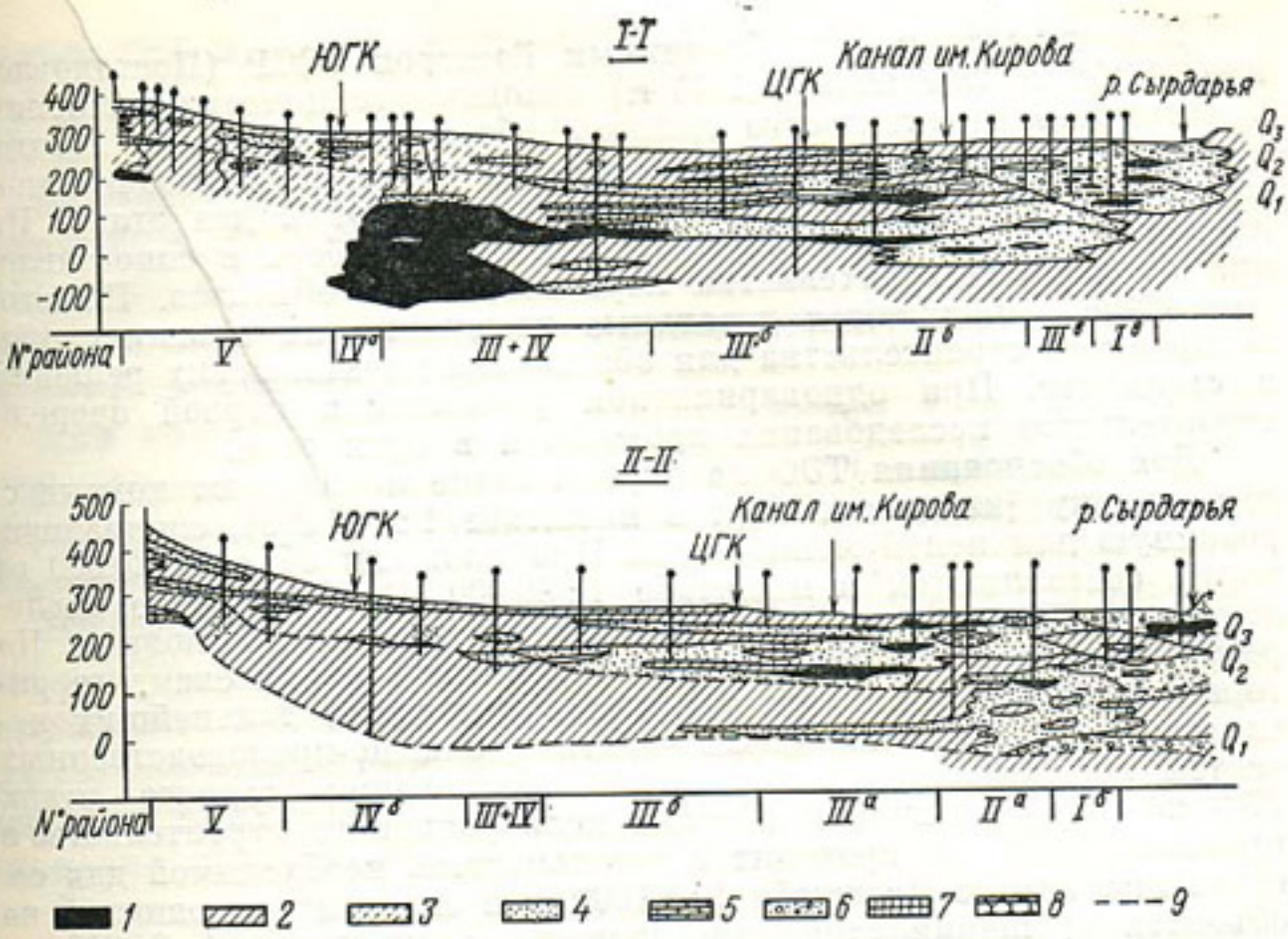


Рис. 18. Гидрогеологический разрез по линиям *I—I* и *II—II* (к рис. 17):

1 — глина; *2* — суглинок; *3* — супесь; *4* — песок; *5* — известняк; *6* — галечник и гравий с песком; *7* — конгломерат; *8* — песчаник; *9* — граница отложений различного возраста.

мелиоративную эффективность. На основании схематизации литологических условий составляются расчетные геофильтрационные схемы, позволяющие осуществить фильтрационные расчеты вертикального дренажа (гл. 5). Однако надо иметь в виду, что на дебит скважины в значительной мере влияют конструкция водоприемной части и технология ее строительства (гл. 7 и 8). Не меньшее значение имеет правильный подбор насосно-силового оборудования (гл. 9) и технически грамотная эксплуатация (гл. 10), которые обеспечивают наибольшую мелиоративную и экономическую эффективность работы системы (гл. 11). Поэтому для уточнения расчетных данных на следующих стадиях проектирования вертикального дренажа на больших площадях, особенно в новых районах, очень важно иметь скважины-аналоги и опытно-производственные системы, построенные при соблюдении всех параметров в оптимальном сочетании для наиболее характерных районов.

В соответствии с требованиями Госстроя СССР (Постановление № 156 от 15 сентября 1975 г.) основные технические решения и стоимость строительства должны обосновываться на стадии ТЭО. При многовариантном размещении объектов первоочередного строительства исследования осуществляют в два этапа. На первом этапе исследования проводятся для выбора и сопоставления вариантов строительства первоочередных объектов. На втором этапе выполняются детальные изыскания на объектах проектируемого строительства для обоснования технических решений и стоимости. При одновариантном размещении первой очереди строительства исследования проводятся в один этап.

Для обоснования ТЭО на первом этапе используют комплексную съемку (на основе карт в масштабе 1 : 200 000), специализированную для целей мелиорации. При площади объекта 50 000 га карты составляются в масштабе 1 : 50 000. Геофизические исследования к ТЭО разделяются на предварительные и основные. По результатам этих работ уточняется принципиальная схема территории мелиоративной системы для обоснования дальнейших исследований, выбора ключевых участков, опытно-производственных систем дренажа. Исследования для обоснования второго этапа ТЭО на площади первой очереди мелиоративного строительства в простых условиях проводят с детальностью, необходимой для составления карт в масштабе 1 : 50 000, а в сложных условиях и на объектах орошения сточными водами — в масштабе 1 : 25 000.

Более детальные исследования должны выполняться на ключевых участках и опытно-производственных системах вертикального дренажа. Однако принципиальные технические решения, выбор мелиоративных режимов и определение задачи вертикального дренажа производятся на стадии ТЭО и в Схемах генерального плана.

При исследованиях на опытно-производственных участках и системах надо прежде всего иметь в виду, что вертикальный дренаж — органическая часть регулирующего звена оросительных систем. Задача этого звена — создавать оптимальные водно-солевой, водно-воздушный, тепловой и питательный режимы на орошаемых полях. С учетом этого должна строиться рабочая гипотеза, которая проверяется в натурных условиях, уточняется и корректируется в зависимости от полученных данных. Размеры опытно-производственных систем должны соответствовать масштабам проектируемого орошения и измеряться тысячами и десятками тысяч гектаров. Это будет показано ниже на примере орошаемых массивов Голодной степи.

Для получения сведений о режиме грунтовых и напорных вод изучаемого опытно-производственного участка и всей системы строят специальную пьезометрическую сеть, густота и плановое распределение которой зависят от сложности гидрогеологического строения, детальности ис-

следований и задач, решаемых на опытно-производственном участке. Обычно один куст пьезометров на 100—500 га.

Изучать работу различных конструкций скважин вертикального дренажа и определять их параметры на опытно-производственных участках следует по данным наблюдений за скважинами как в период строительства, так и в эксплуатационный период (гл. 7).

Для наблюдений за динамикой солей в почвогрунтах и грунтовых вод под влиянием орошения и дренажа закладываются опытные стационарные площадки, закрепляемые реперами.

Более тщательно изучить динамику почвенных процессов и миграцию солей в почвенном профиле зоны аэрации позволяют опыты, проведенные на ключевых площадках. Состав исследований корректируется зональными особенностями почвенного покрова на базе природно-мелиоративного районирования.

В процессе исследований на опытно-производственных участках уточняются почвенно-мелиоративные, гидрогеологические, гидрохимические параметры и технико-экономические показатели, отрабатываются типовые конструкции скважин, насосно-силовое оборудование, электроснабжение, автоматика и телемеханизация управления системы, организация строительства и эксплуатация системы.

На основании исследований составляется обоснование для технического или техно-рабочего проекта системы, в том числе для дренажа, где необходимо:

раскрыть важнейшие особенности строения региона, влияющие на проектные (конструктивные) решения и стоимость строительства мелиоративных систем или сооружений;

дать количественную оценку гидрогеологических, гидрохимических и инженерно-геологических параметров;

провести детальную разработку прогнозов водного и солевого режимов на основе опытно-производственных исследований, современных аналитических методов и методов моделирования;

изложить гидрогеологическое и агромелиоративное обоснование проектных решений по использованию подземных вод для водоснабжения и орошения.

Для обоснования технического проекта используются комплексная инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка, специализированная для целей мелиорации

в масштабе 1 : 50 000 (для сложных условий в масштабе 1 : 25 000), а также почвенно-мелиоративные карты того же масштаба и крупнее (1 : 10 000).

На стадии технического проекта выполняются специальные исследования по схематизации природных условий и разработке расчетных схем дренажа на основе региональной расчетной схемы движения подземных вод, анализа суммарной проводимости и районирования по основным типам строения водоносного комплекса. Типовые схемы строения водоносного комплекса отражают различия и особенности напластования и значения гидрогеологических параметров. В результате такого картирования должны быть обобщены данные по проводимости водоносных горизонтов и суммарному фильтрационному сопротивлению покровных отложений, на основе которых выделяются участки с различными условиями работы вертикального дренажа, а следовательно, с разными параметрами скважин.

Ниже рассмотрены конкретные примеры проектирования и внедрения вертикального дренажа как на землях старого орошения, так и на массивах нового орошения.

ЗЕМЛИ СТАРОГО ОРОШЕНИЯ

Во многих районах староорошаемых оазисов для исправления аппарата регулирования водно-солевого режима предпочтение отдается вертикальному дренажу, так как для его устройства не требуется отчуждения земель, занятых посевами. Кроме того, использование откачиваемых вод для орошения в смеси с поверхностными также представляет известные преимущества.

В староорошаемых оазисах Средней Азии, где эксплуатируются земляные каналы и применяется поверхностный способ полива, исторически сложился гидроморфный мелиоративный режим. Грунтовые воды залегают близко к поверхности земли и опреснены длительным орошением. Строительство горизонтального дренажа ниже уровня грунтовых вод связано с большими техническими трудностями. Поэтому удельный вес вертикального дренажа в мелиорации земель существующего орошения составит не менее 60%. Одновременно со строительством дренажа должна быть проведена реконструкция старых оросительных систем и усовершенствована техника орошения, что позволит повысить к.п.д. оросительных систем до 0,7—0,8,

а дренажный модуль в хлопковой зоне снизить до 0,1—0,15 л/с·га против 0,2—0,25 л/с·га в современных условиях.

Рассмотрим примеры составления проектов вертикального дренажа в Голодной степи и Бухарском оазисе и некоторые результаты их реализации.

Голодная степь. Это обширная равнина площадью около 1 млн. га, из которых 850 тыс. га пригодны для орошения. В геолого-структурном отношении представляет южную часть сырдарьинской депрессии на палеозойском фундаменте, сложенную осадочными породами различного происхождения (рис. 16). Гипсометрические отметки понижаются на северо-запад от 400 до 230 м.

Северная часть равнины является III террасой Сырдарьи и сложена мощной толщей аллювиальных песков с линзами суглинков, гравия, галечников и глин, перекрытых сверху лессовидными суглинками и супесями (15—40 м). Молодая долина реки врезана на глубину 6—12 м и дренирует прилегающие к ней земли.

Южная часть Голодной степи представлена отложениями временных потоков предгорной равнины северных склонов Туркестанского хребта с характерными для этого типа ландшафта закономерностями: в верхней части равнины большие уклоны, щебенистый материал, глубокие пресные грунтовые воды; в нижней — выполаживание уклонов, утяжеление механического состава, приближение к поверхности и засоление грунтовых вод.

Центральный массив Голодной степи — зона стыка концевых частей предгорной равнины с аллювиальной; очень небольшие уклоны поверхности, мелкоземистый состав почвогрунтов определяют практическую бессточность этой части степи, значительную первичную засоленность грунтов и грунтовых вод, залегающих на глубине более 20 м.

Равнинная поверхность Голодной степи расчленена пологими, вытянутыми в западном и северо-западном направлении понижениями — Шурузякским, Сардобинским, Каройским, Джетысайским. Последние лежат на современной границе аллювиального бассейна с предгорной равниной. На западе, перед пустыней Кызылкум, Голодная степь ограничена системой впадин Арнасай и Тузкан. Эти понижения с древнейших времен служили зонами разгрузки подземных вод, в связи с чем в их днищах формировались солончаковые почвы и солончаки сульфатно-хлоридного типа.

На всей остальной территории степи грунтовые воды залегали до орошения глубоко и почвенный покров был представлен плодородными светлыми сероземами. Первичное засоление отмечалось с глубины 1—2 м.

Северо-восточную часть Голодной степи занимает голодностепский аллювиальный бассейн (рис. 17, 18), расположенный на размытых отложениях континентального неогена (региональный водоупор для бассейна). Он сложен слоистой толщей аллювиальных песков, гравия, галечников с прослоями и линзами суглинков и глин. Мощность этой толщи изменяется с востока на северо-запад с 400 м и более до 150—250 м. В этом же направлении изменяется крупность материала: галечники расположены в восточной части, гравий — в центральной, мелкие и тонкозернистые пески с про-

слойками глин — в южной, юго-западной и северо-западной частях бассейна.

Основная дренирующая артерия бассейна — Сырдарья. С приближением к ней естественная дренированность улучшается.

От естественной дренированности бассейна зависит минерализация подземных вод. Пресные воды сосредоточены в центральных, прилегающих к Сырдарье, наиболее проточных частях бассейна, сложенных хорошо проницаемыми галечниками и гравием или крупнозернистыми и среднезернистыми промытыми песками. В краевых слабопроточных частях бассейна минерализация подземных вод возрастает до 10 г/л и более.

В толще покровных суглинков в процессе геологического развития ландшафта накоплены значительные первичные запасы легкорастворимых солей, общее количество которых доходит до 3—5 тыс. т/га. При этом на водораздельных участках и особенно в краевых частях бассейна солевые запасы распределены по всему профилю на глубину 15—20 м с несколькими характерными солевыми максимумами, отвечающими определенным этапам развития равнины.

В пределах II хорошо дренированной террасы, кроме почвенного солевого максимума до глубины 0,5 м, весь профиль опреснен. В Шурузякском понижении, даже под солончаком, все соли вблизи коллектора Шурузяк сосредоточены в верхнем 2-метровом слое, а на склонах понижения — в 4-метровом.

По составу солей из анионов преобладают сульфаты, а из катионов — кальций. Однако с приближением к центральной части Голодной степи увеличивается содержание магния, хлора и натрия.

Южную часть Голодной степи (до развития орошения) можно характеризовать двумя типами засоленности грунтового профиля, связанными с глубиной залегания грунтовых вод.

Первый тип профилей характерен для земель центральной и юго-западной части Голодной степи с опресненным верхним горизонтом на 1,5—2 м и затем глубинным засолением разной интенсивности. Здесь глубина грунтовых вод достигает 10—15 м и более. Это земли совхозов № 7, 10, 11, 12 и т. д. (рис. 19).

Ко второму типу относятся профили с подтянутыми к поверхности земли солевыми максимумами, с содержанием плотного остатка в верхней 2—4-метровой толще до 1,5—4% массы сухого грунта. Эти профили типичны для земель с сильно минерализованными, близко залегающими грунтовыми водами, с засоленными почвогрунтами до 20 м и более. Расположены они вдоль Южного Голодностепского канала (ЮГК) на землях совхозов № 3—6 и № 8 (рис. 20).

После развития орошения на фоне закрытого дренажа, проведения капитальных промывок на сильно засоленных землях и соблюдения в дальнейшем промывного режима орошения картина распределения солей в верхних 2- и 5-метровой толщах почвогрунтов резко изменилась. Уже через 2—5 лет даже на сильно засоленных участках почвы были опреснены и урожаи хлопчатника и люцерны достигли проектных величин.

Развитие орошения Голодной степи требовало создания на р. Сырдарье гидротехнического узла. Первые инженер-

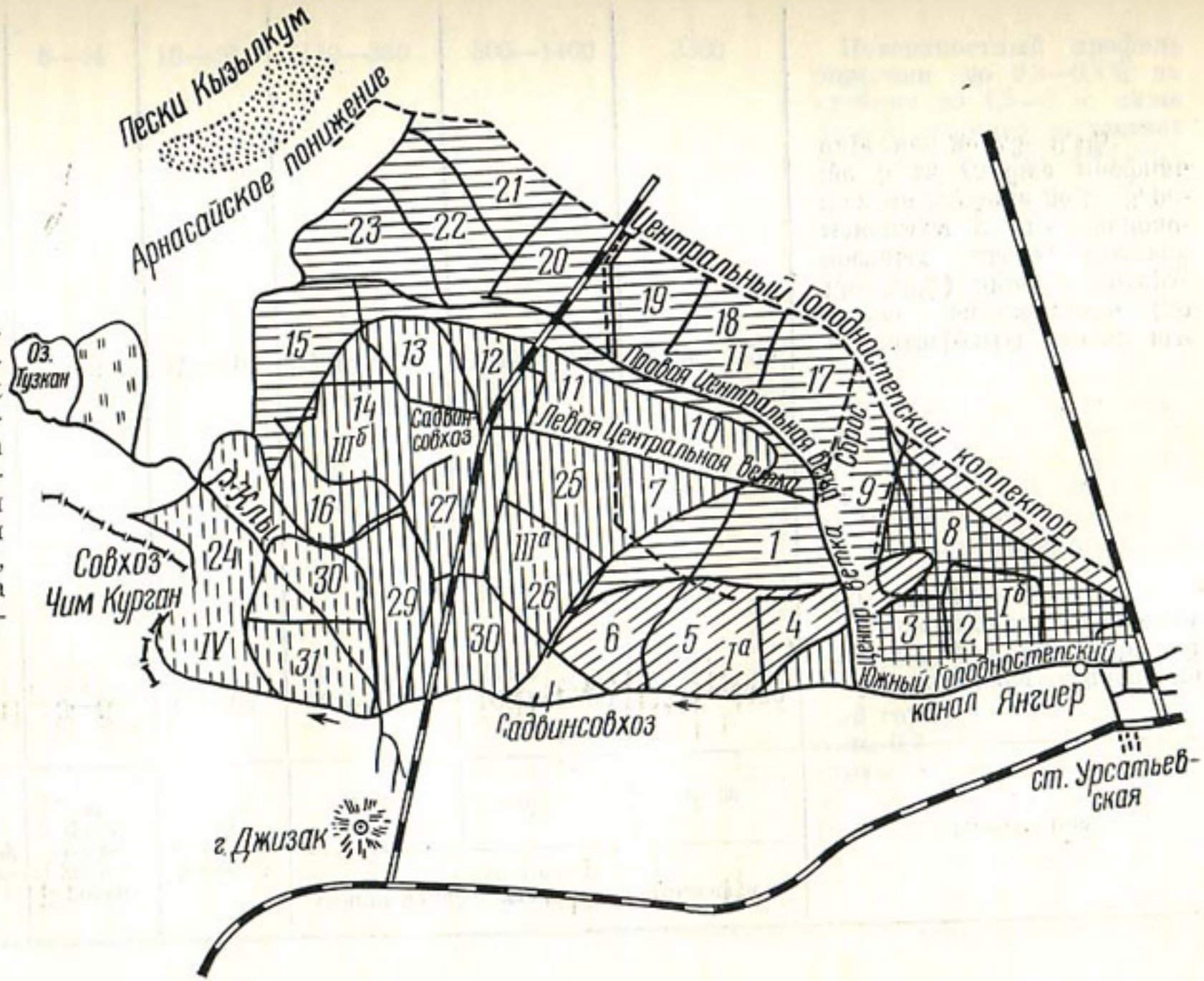
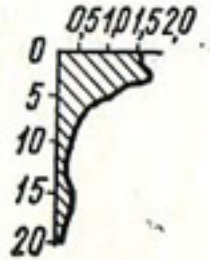
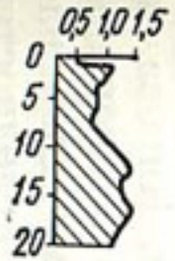
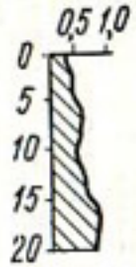
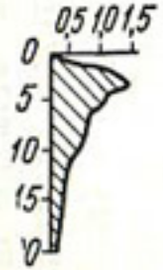


Рис. 19. Схема распределения первичных запасов легкорастворимых солей в 20-метровой толще почвогрунтов. Зона нового орошения Голодной степи (по данным З. П. Пушкаревой и Н. М. Решеткиной); *1, 2, 3, ..., 31* — номера хлопководческих совхозов (см. на обороте).

Условные обозначения районов	Характер засоления по плотному остатку	Уровень грунтовых вод на глубине, м	Минерализация, г/л	Общие запасы легкорастворимых солей (т/га) в слое (м)			Примечание
				0—3	0—10	0—20	
I[а]		3—5	60—70	600—900	1000—2900	5300—6060	Почвогрунты засолены по всему профилю (плотный остаток водной вытяжки 1,5—2,0%)
I[б]		3—6	7—10	700—800	1100—1300	1500—1920	Почвогрунты имеют высокую засоленность (до 1,8—2,0%) лишь в поверхностных слоях. Солевой максимум у них расположен на глубине до 2—3, реже 5 м, глубже профиль опреснен до 0,3—0,4%

II		8—14	18—36	130—350	800—1400	3300	Поверхностный профиль опреснен до 0,3—0,4% на глубину до 1,5—3 м, ниже засоление резко возрастает (плотный остаток 1—1,5%)
III		15—20 и глубже	6—8	А. 450—500 Б. 150—230	А.1300—1500 Б. 500—1150	А.2750—4100 Б. До 1400	А. Восточная часть района засолена до 1,2—1,5% по всему профилю ниже глубины 1,5—2 м. Верхняя часть профиля опреснена до 0,2—0,3%; Б. Западная часть района засолена меньше (плотный остаток 0,8—1%)
VI		3—5	До 20	450—600	1200—1300	1750	Почвогрунты имеют опресненный до 0,3% покровный горизонт лишь до глубины 0,2—1 м. Солевой максимум у них сосредоточен на глубинах 0,8—10 м (плотный остаток до 0,8—2%)

ные сооружения — шлюз-регулятор и канал (86 км) — были построены в 1913 г. Это позволило оросить 35 тыс. га террасовых земель.

В дальнейшем как водозаборный узел, так и канал неоднократно перестраивались: увеличивалась пропускная способность и длина канала (ныне канал им. Кирова), но только в 1941 г. кардинально был решен вопрос о водозаборе на Сырдарье строительством Фархадского гидротехнического узла.

К 1941 г. площади орошаемых земель в зоне Кировского магистрального канала увеличились до 90 тыс. га, в 1956 г. — до 205,6 тыс. га, в 1966 г. — до 228 тыс. га, а в 1976 г. — до 270 тыс. га.

Одновременно с оросительной земляной сетью строилась водоотводящая, в основном для сбросных вод. Системы имели низкий к.п.д. (0,4—0,5). Развитие орошения сопровождалось быстрым подъемом уровня грунтовых вод и вторичным засолением земель. На первых порах земель было много, старые засоленные забрасывались и в орошение вовлекались новые площади.

Исследования и опытные работы по применению дренажа начались вскоре после победы Великой Октябрьской социалистической революции на Голодностепском опытном поле, а позднее на Центральной опытно-мелиоративной станции (ЦОМС), где был построен закрытый дренаж и заложены первые одиночные опытные скважины вертикального дренажа (1928—1930 гг.).

Строительство открытой горизонтальной коллекторно-дренажной сети в целях борьбы с вторичным засолением орошаемых земель началось в 1940 г.

К 1960 г. был разработан «Генеральный план орошения и сельскохозяйственного освоения Голодной степи» (Средазгипроводхлопок). Он предусматривал орошение 670 тыс. га по трем магистральным каналам: Южному Голодностепскому с пропускной способностью в головной части 300 м^3/с, к которому подвешена зона земель нового орошения площадью 357 тыс. га; каналу им. Кирова, подающему воду в зону старого орошения площадью 274 тыс. га, и машинному каналу, орошающему земли площадью 39 тыс. га, лежащие выше Южного Голодностепского канала. Кроме того, были запроектированы дренаж и открытая коллекторная сеть, выводящая воды в Центральный Голодностепский коллектор, Шурузякский, Пограничный, Акбулакский и др. (рис. 20).

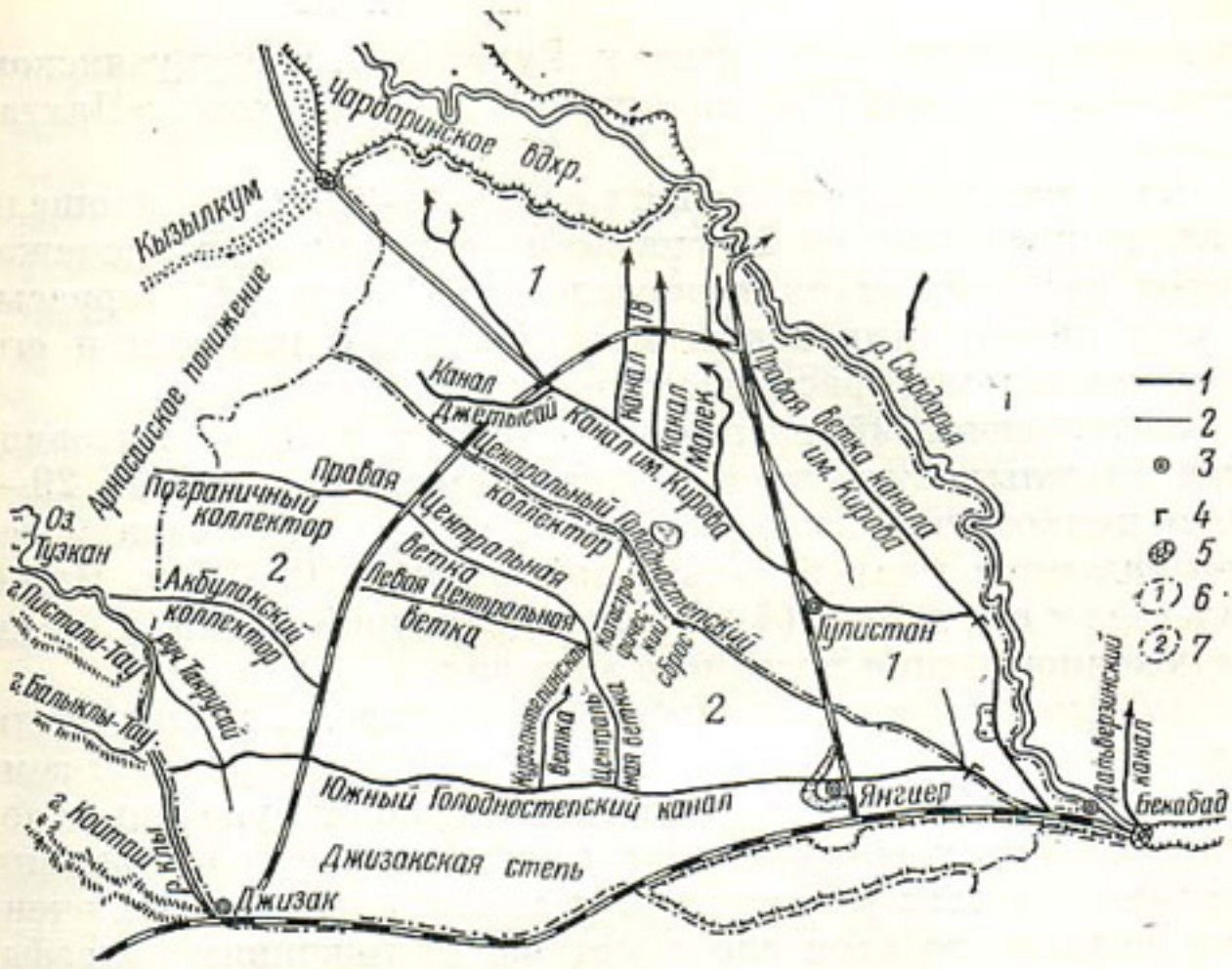


Рис. 20. Схема орошения и освоения Голодной степи:
1 — магистральный канал; *2* — коллектор; *3* — города; *4* — узел сооружений; *5* — плотина; *6, 7* — зоны старого и нового орошения.

В 1961 г. была закончена первая очередь Южного Голодностепского канала и началось освоение земель:

Год	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1976
Тыс. га	17,3	41,8	49,4	66,4	77,2	94,1	115,6	292

В новой зоне орошения широко применены бетонировка крупных каналов, лотки и трубопроводы для уменьшения потерь на фильтрацию и повышения к.п.д. оросительных систем, закрытый систематический дренаж и открытая, в основном коллекторная сеть, тогда как в старой зоне орошения каналы земляные, коллекторно-дренажная сеть открытая и только в последнее десятилетие после успешного осуществления опытно-производственного вертикального дренажа было развернуто широкое его строительство на всей территории.

Опытно-производственные системы вертикального дренажа в зоне старого орошения Голодной степи были построены в 1958—1967 гг. на трех участках с самыми тяжелыми мелиоративными условиями: на территории бывше-

го поселка Мирзачуль (ныне г. Гулистан), в Шурузякском понижении (совхоз «Социализм») и в совхозе «Пахтаарал».

Гулистанская система занимает площадь 1000 га и состоит из 24 скважин вертикального дренажа. Город расположен на водораздельной части III террасы, в углу между Кировским магистральным каналом и его левым отводом — распределителем К-3.

Литологический разрез представлен толщей лессовидных тяжелых суглинков, подстилаемых на глубине 29—30 м мелкозернистыми песками, иногда с включением зерен гравия и мелкой гальки мощностью 10—25 м. Ниже залегает слой глины (4—8 м), отделяющий верхние пески от основной толщи песчаного аллювия.

Оба канала идут в дамбах, уровни воды в них почти круглый год находятся на 1,5—2 м выше поверхности земли. До строительства вертикального дренажа уровень соленых грунтовых вод в период высокого своего положения (весной) залегал у поверхности земли, образуя заболоченные участки во всех еле заметных понижениях рельефа, и опускался к августу—сентябрю за счет интенсивного испарения до глубины 1—2 м, оставляя на поверхности белые пятна солончаков. Открытая коллекторно-дренажная сеть из-за малых уклонов и плывунности грунтов оказалась не эффективной.

Пьезометрический напор в песчаных горизонтах сохранялся на 0,3—0,5 м ниже уровня грунтовых вод большую часть года, обеспечивая очень слабый сток (250—300 м^3/год с 1 га). Тяжелые мелиоративные условия города послужили одной из главных причин переноса центра Голодной степи (Сырдарьинская область) в г. Янгиер.

Первые пять скважин вертикального дренажа построены в 1958—1959 гг. в самом неблагополучном юго-восточном углу, непосредственно в зоне влияния каналов. В 1961 г. скважины были включены в постоянную эксплуатацию. Позднее (1965 г.) в эксплуатацию вступило еще 7 скважин, а затем строились остальные. Мощная толща покровных отложений и малый коэффициент ее фильтрации (0,03 м/сут) создают большие фильтрационные сопротивления. Поэтому эффект откачек сказался только через два-три года после начала регулярной работы скважин. Но этот эффект был настолько очевиден, что позволил перенести областной центр на берег Кировского канала, в г. Гулистан.

Шурузякская система вертикального дренажа (совхоз «Социализм») располагается в днище Шурузякского понижения, справа от коллектора Шурузяк, и состоит из 28 скважин на площади 5 тыс. га. Здесь 40 лет назад была организована ЦОМС, на которой дважды (1929—1930 и 1949—1951 гг.) предпринимались попытки сооружения скважины вертикального дренажа (гл. 7). К началу строительства опытно-производственной системы вертикального дренажа 1958—1960 гг. территория представляла неосвоенные лугово-солончаковые почвы и солончаки. Орошаемые земли в той или иной степени засоленные занимали всего 15%. Грунтовые воды залегали на глубине 1—2 м и имели высокую минерализацию (до 15—25 г/л) сульфатно-хлоридного типа. Литологический разрез следующий: сверху залегают лессовидные суглинки мощностью 18—25 м, ниже — мелкозернистые плывунные пески, на глубине 30—50 м переходящие в более крупнозернистые с гравием и редкой галькой. Общая мощность толщи гравилистых песков — 70 м. На границе покровных суглинков и песков встречаются маломощные линзы глин (2—3 м). Песчано-гравийная толща подстилается буровато-желтыми суглинками, ниже которых залегают водоносные мелкозернистые пески с напорными пресными водами. Грунтовые воды вскрываются на глубине 0,8—1,2 м весной и 1,9—2,5 м летом и осенью под орошаемыми землями, опускаясь до 2,6—3,2 м и на орошаемых.

Наблюдения на пьезометрах показали, что в покровных лессовидных суглинках грунтовые воды имеют напорное питание, обусловленное восходящей фильтрацией и перетоком из нижележащих песчано-гравелистых толщ в размере 1500—2000 м^3/га в год на целине и 300 м^3/га под орошаемыми землями.

Пахтааральская система вертикального дренажа построена в совхозе «Пахтаарал» на площади 10 500 га из 72 скважин вертикального дренажа. Первая очередь скважин (33 шт.) была включена в работу в 1964 г., а самая первая скважина системы в центральном поселке совхоза «Ильич» работает с 1961 г. (рис. 21, *а*).

Литологические условия (рис. 21, *б*) совхоза типичны для аллювиального бассейна — двухслойная система. Сверху — лессовидные суглинки и супеси мощностью 20—25 м, ниже — мелкозернистые пески с редкими включениями более крупных разностей. Однако в отличие от предыдущих двух участков суглинки очень плывунные, легкие, часто переходящие в супеси, лишенные каких-либо плохо проницаемых прослоек. Пьезометрические напоры в подстилаемых песках до 50-х годов, когда стало интенсивно раз-

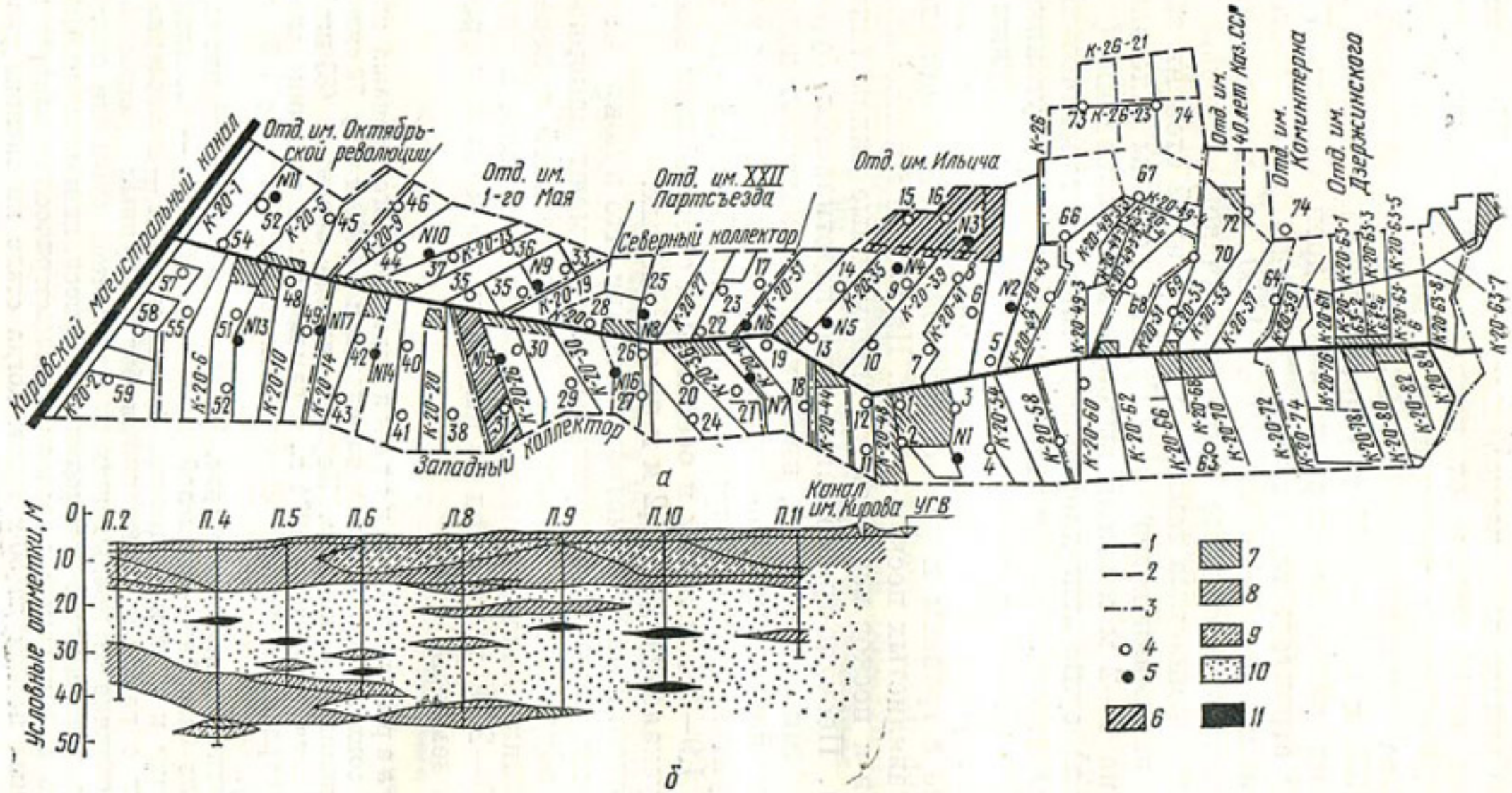


Рис. 21. План совхоза «Пахтаарал» с расположением скважин вертикального дренажа *(а)* и гидрогеологический разрез *(б)* в створе кустов пьезометров 2—11:

1 — оросительная сеть; *2* — коллекторы и дрены; *3* — граница отделения; *4* — скважины вертикального дренажа; *5* — кусты пьезометров; *6* — ключевой участок; *7* — населенный пункт; *8* — суглинок; *9* — супесь; *10* — песок; *11* — глина.

виваться орошение и освоение земель на окружающих территориях, были значительно ниже уровня грунтовых вод. Они обеспечивали сравнительно хорошую естественную дренированность покровных мелкоземов (отток вниз достигал 3000—4000 м³/га в год). Однако с 50-х годов пьезометрические напоры в песчаном пласте стали подниматься в связи с увеличением общего питания аллювиального бассейна за счет фильтрации оросительных вод. Образовался обратный восходящий фильтрационный ток, равный 1000 м³/га, поэтому четыре отделения совхоза, прилегающие к Кировскому магистральному каналу, стали страдать от засоления и недобирать урожаи (в среднем 10 ц/га).

Между тем «Пахтаарал» — одно из лучших хлопкосеющих хозяйств с высокой общей культурой земледелия и с вполне сложившейся системой ведения орошаемого хозяйства. На его территории создан достаточно хороший выравненный высокий агротехнический фон. Это говорит о том, что разница в урожайности между отделениями или бригадами возникает из-за угнетения растений солями. Вертикальный дренаж в этом случае должен был снять излишние напоры в подстилающих песках, возникшие в связи с развитием орошения на окружающих территориях, и обеспечить прежние благоприятные условия для орошаемого хозяйства. При этом необходимо было «вписаться» в уже сложившуюся систему земледелия со специфическими особенностями ее режима и техники орошения — дождеванием и влагозарядковыми осенне-зимними промывками.

Таким образом, опытно-производственные системы не только характеризовались различными природными условиями аллювиального бассейна Голодной степи, но существенно разнились по хозяйственному использованию земель и в связи с этим — мелиоративными задачами вертикального дренажа.

Мелиоративная эффективность вертикального дренажа на указанных участках изучалась по единой методике по следующим показателям: режиму уровня грунтовых вод и пьезометрическому напору подстилающего, хорошо проницаемого пласта (песчаный пласт, из которого ведется откачка); минерализации грунтовых и откачиваемых вод; солевому режиму почвогрунтов зоны аэрации и всей толщи покровных мелкоземов при орошении и промывках; дренажному модулю (общему и из покровных мелкоземов); водному и солевому балансам. Для этого на всех участках сделали наблюдательные колодцы и кусты пьезометров, оросительную и водоотводящую сети армировали водомерными постами, на характерных фонах заложили «динамические» точки и площадки для исследования движения солей и влаги. Кроме этого, проводилась контрольная солевая съемка, изучались водно-физические свойства почв на учетных картах и делянках до и после вегетационных

Таблица 14. **Результаты исследований вертикального дренажа на опытно-производственных участках в Узбекистане**

Показатели	Голодная степь			Ферганская долина, Кировский район	Бухарский оазис, Каганский район
	совхоз «Социализм»	г. Гулистан	совхоз «Пахта-арал»		
Общая площадь, га	3000	1000	10 500	700	1800
Число скважин, шт.	28	24	72	7	17
Мощность покровного мелкозема, м	20—25	28—30	15—25	9—12	6—8
Мощность водоносного пласта, м	50—100	10—20	15—50	20—30	10—13
Глубина скважин, м	65—80	40—60	50—70	35—40	35—40
Длина фильтра, м	25—40	10—17	20—36	13—18	8—10
Тип фильтра	Щелевой с гравийной обсыпкой	Дырчатый с гравийной обсыпкой	Щелевой с гравийной обсыпкой	Дырчатый с гравийной обсыпкой	Дырчатый с гравийной обсыпкой
Диаметр скважины, мм	700—900	500	900—1000	500	500
Диаметр фильтрового каркаса, мм	400	300	400	400	400
Скважность, %	18—20	25	14—17	20	22
Результаты откачек:					
дебит скважин, л/с	100—200	50—80	60—80	25—50	25—40
удельный дебит, л/с на 1 м	10—15	5—8	5—8	3—4	4—5
Коэффициент фильтрации мелкоземов, м/сут	0,07—0,1	0,03—0,07	0,3	0,03—0,05	0,5—0,7
Коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут	40—45	27—30	27—30	16,5	40—45
Скорость снижения уровня грунтовых вод, м/сут	0,02—0,01	0,01—0,02	0,05	0,17—0,18	0,22
Фактический дренажный модуль, л/с·га	0,23	0,15—0,17	0,26—0,28	0,09	0,18
Вынос солей из 3-метрового слоя, т/га	40—55	—	35—75	21—42	37,8

Таблица 15. **Динамика вертикального оттока грунтовых вод из покровных суглинков**

Месяц	Орошаемая площадь (1538 га), к. з. и.=0,78				Неорошаемая площадь (1462 га), к. з. и.=0,16			
	уровень грунтовых вод, м	метрический напор, м	разность напора, м	подземный приток или отток, м/сут·га	уровень грунтовых вод, м	пьезометрический напор, м	разность напора, м	подземный приток или отток, м/сут·га
I	1,61	2,25	—0,64	—20,0	2,50	1,78	+0,72	+22,0
II	1,87	2,21	—0,34	—11,0	2,61	1,90	+0,71	+21,5
III	1,98	2,43	—0,45	—14,0	2,65	2,02	+0,63	+20,0
IV	1,84	2,11	—0,27	—8,5	2,51	2,25	+0,26	+8,0
V	1,82	2,22	—0,40	—12,5	2,63	2,87	—0,24	—8,0
VI	1,43	2,48	—1,05	—32,0	2,84	3,23	—0,39	—12,5
VII	1,58	2,51	—0,93	—29,0	2,82	3,44	—0,62	—20,0
VIII	1,79	2,83	—1,04	—32,0	2,87	3,09	—0,22	—7,5
IX	2,02	2,83	—0,81	—25,0	2,95	3,08	—0,13	—4,0
X	2,61	3,35	—0,74	—23,0	3,64	3,65	—0,01	—1,0
XI	2,75	3,41	—0,66	—20,0	3,78	3,85	—0,07	—2,0
XII	3,05	3,50	—0,45	—14,0	4,03	4,15	—0,12	—4,0
Среднегодовые м³/год·га	2,03	2,68	—0,65	—20,0 —7300	2,98	2,94	+0,04	+1,0 +365

поливов и промывок и велись наблюдения за эвапотранспирацией.

Аналогичные исследования проведены в Ферганской долине и Бухарской области (табл. 14).

Системы в эксплуатацию вводились неравномерно. Уровень грунтовых вод и пьезометрический напор песчаного горизонта изменялись в соответствии с числом работающих скважин и в зависимости от регулярности их работы.

Эксплуатация системы скважин на опытно-производственных участках показала, что пьезометрический напор изменяется на 70—75% своей конечной величины очень быстро, а динамичное равновесие наступает через двое-трое суток. В совхозе «Социализм» в 1966 г. уже работало 20—25 скважин из 28 построенных, что вызвало заметные изменения в режиме уровня грунтовых вод. Даже при весеннем максимуме они залегали на глубине 1,6—2 м. Существенно увеличился сток грунтовых вод в подстилающие пески, который на орошаемом массиве составил в среднем 20 м^3/сут с 1 га, или 7300 м^3/год (табл. 15). Вместе с грунтовой водой в подстилающие пески выносились соли до 44—58 т/га в год. Это вызвало некоторое увеличение минерализации откачиваемых вод — с 1,5 до 2,2 г/л.

Другая картина наблюдается в г. Гулистане, где мощность песчаного водоносного слоя ограничена, а толща покровного мелкозема в 1,3 раза больше и представлена более плотными суглинками с меньшим коэффициентом фильтрации. В процессе эксплуатации скважин вертикального дренажа из года в год наблюдалось снижение напора, стабилизировавшегося в 1964 г. на глубине 4,5—6 м. При этом уровень грунтовых вод опустился до глубины 1—1,8 м. Сток грунтовых вод в подстилающие пески увеличился до 6000 м^3/га в год.

Пропускная способность покровного мелкозема в совхозе «Пахтаарал» оказалась значительно выше, чем в Гулистане, и выше, чем в совхозе «Социализм» (табл. 14). Поэтому влияние откачек на пьезометрический напор и уровень грунтовых вод в «Пахтаарале» проявляется более четко. В процессе эксплуатации скважин повсеместно падали напоры, а уровень грунтовых вод понижался со скоростью 3—5 см/сут (табл. 16).

В марте 1965 г. в отделениях им. Ильича и XXII партсъезда, где из 33 скважин с октября 1964 г. постоянно эксплуатировались 18—25 с к. п. р. 0,4—0,45, уровень

Таблица 16. **Фактические скорости снижения уровня грунтовых вод при откачке в период их естественного подъема**

№ колодцев	Расстояние от колодцев до скважины, м	Уровень грунтовых вод, м			Снижение за сутки	Средняя скорость снижения, см/сут	
		к моменту откачки 17/IV 1964 г.	в конце откачки 30/IV 1964 г.	снижение		без учета естественного подъема	с учетом естественного подъема
	До скважины 7						
1	40	0,30	1,23	0,93	6,6		
2	111	0,57	1,10	0,53	3,8		
3	204	0,77	1,32	0,55	3,9	3,84	4,55
4	328	0,80	1,27	0,47	3,4		
5	429	0,03	0,70	0,67	4,9		
	До скважины 5						
6	470	0,76	0,93	0,17	1,2		
7	371	0,86	0,97	0,11	0,8		
8	270	0,61	0,95	0,34	2,4		
9	192	0,31	0,80	0,49	3,5	3,3	3,99
10	110	0,16	0,86	0,70	5,5		
11	47	0,29	1,23	0,94	6,7		

грунтовых вод (после промывки нормой 2500—3000 м³/га и зимних осадков около 1500 м³/га) залегал в среднем на глубине 1,4—1,6 м. В то же время в отделениях им. Октябрьской революции и им. Первого мая, где вертикальный дренаж еще не был включен, грунтовые воды вскрывались выше (0,3—0,6 м от поверхности земли). Таким образом, в зоне влияния откачек в первый же год пуска системы установлено устойчивое снижение уровня грунтовых вод. Скорость снижения уровня грунтовых вод изменяется в зависимости от градиента напора, то есть в конечном счете от дебита системы скважин. В начальный период откачки скорость снижения всегда больше, со временем она постепенно уменьшается и уровень стабилизируется.

Средний дренажный модуль (по стоку из покровных мелкоземов) для зоны влияния вертикального дренажа составляет в совхозе «Социализм» 0,1—0,37 л/с · га, в Гулистане — 0,15—0,17 л/с·га, а в совхозе «Пахтаарал» при работе всех скважин — 0,26—0,28 л/с·га. Среднего-

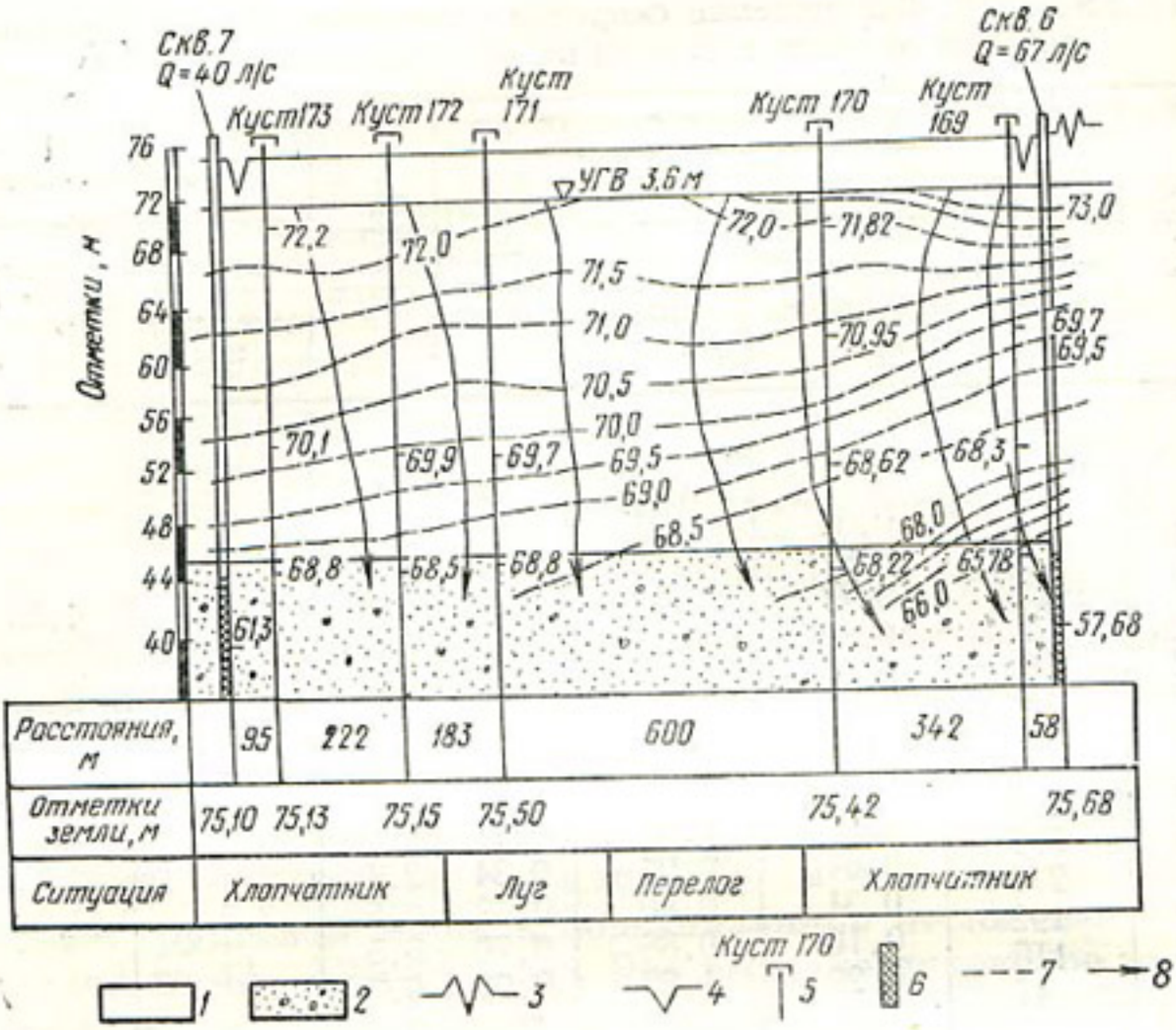


Рис. 22. Схема движения грунтовых вод в покровных мелкоземах при работающих скважинах вертикального дренажа, Сардобинский массив, октябрь 1970 г. (по Л. А. Скоробогатовой и Н. И. Броницкому):

1 — суглинок, глина; *2* — песок с гравием; *3* — ороситель; *4* — коллектор; *5* — куст наблюдательных пьезометров; *6* — фильтр дренажной скважины; *7* — линии равных напоров; *8* — направление движения воды.

Рис. 23. График режима грунтовых и напорных вод на орошаемом поле, куст № 60 (хлопчатник), на фоне вертикального дренажа. Совхоз «Социализм», Шурузякский массив:

1, *2* — пьезометры; *h* — уровень грунтовых вод в пьезометре *1*; *H* — уровень напорных вод в пьезометре *2*.

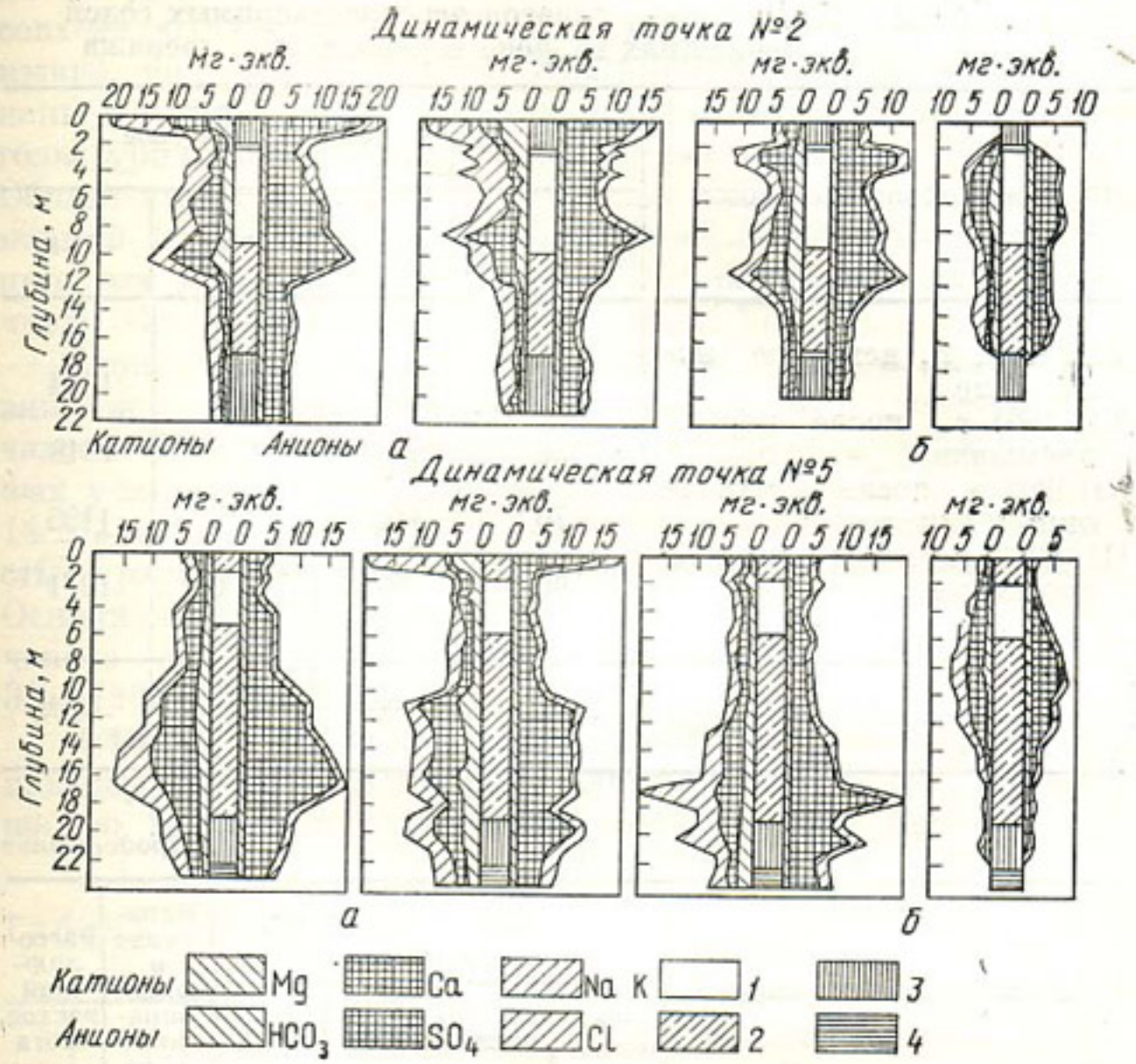


Рис. 24. Динамика легкорастворимых солей на опытном участке совхоза «Пахтаарал»:

а — в декабре 1961 и 1962 гг. в условиях орошения, без вертикального дренажа; *б* — в ноябре 1966 и 1973 гг. на фоне вертикального дренажа и при осенне-зимних промывках нормой 4000—5000 м³/га; *1* — супесь; *2* — легкий суглинок; *3* — средний суглинок; *4* — глина.

довой дренажный модуль в совхозе «Пахтаарал» в период пуска системы (1965—1966 гг.) колебался в пределах 0,07—0,1 л/с·га.

Фактический материал убедительно подтверждает теоретические проработки, ранее сделанные авторами, о возможности создания нисходящей фильтрации оросительных и грунтовых вод (даже при толще покровных мелкоземов 30 м) путем откачек из подстилающих песков (рис. 22, 23). При таких условиях рассоление почвогрунтов зависит только от правильной организации промывки засоленных земель и выбора опреснительного режима в вегетационный период. Создав промывной режим ороше-

Таблица 17. Динамика запасов легкорастворимых солей в покровных отложениях на фоне вертикального дренажа

Сроки отбора образцов	Запасы солей (т/га) в слое			
	1 м	3 м	7 м	21 м
VIII 1961 г., исходное положение	120	312	685	1344
XII 1961 г., после первой промывки	106	276	582	1348
XI 1962 г., после вегетационных поливов	70	162	409	1195
III 1963 г., после зимней промывки	36	91	305	1071
Всего	—84	—221	—380	—273

Продолжение

Сроки отбора образцов	Поверхностный приток, м³/га				Испарение и транспирация, м³/га	Рассоляющий расход, м³/га
	промывка	полив	осадки	итого		
VIII 1961 г., исходное положение	—	—	—	—	—	—
XII 1961 г., после первой промывки	3 000	—	659	3 659	1 565	+2094
XI 1962 г., после вегетационных поливов	7 000	4000	1776	12 776	8 847	+3929
III 1963 г., после зимней промывки	2 500	—	1314	3 814	1 456	+2358
Всего	12 500	4000	3749	20 249	11 868	+8381

ния, можно опреснить не только зону аэрации почвогрунтов, но в дальнейшем и всю мощность покровного мелкозема (рис. 24).

Рассоляющее действие вертикального дренажа наблюдалось также в районе первой скважины, которая построе-

на на солончаковом пятне (0,6 га) и эксплуатируется в совхозе «Пахтаарал» с 1961 г. Там была проведена промывка, внесены органо-минеральные удобрения и выполнены другие агротехнические мероприятия. В первые же годы урожайность хлопчатника составила 26—28 ц/га. Общий вынос солей за первые два года (после промывки нормой 10 000 м³/га, влагозарядки — 3000 м³/га и вегетационных поливов хлопчатника) был равен 273 т/га, в том числе 84 т/га из верхнего метра (табл. 17).

Процесс рассоления почвогрунтов зоны аэрации под влиянием промывок на фоне вертикального дренажа изучался с 1961 по 1967 г. в совхозе «Социализм» на ключевых участках в зоне работы скважин № 1, 2, 4, 5, 6, 10, 14. Почвы — сероземно-луговые, средне- и тяжелосуглинистые, разной степени засоления, с пятнами солончаков. Основная масса водорастворимых вредных солей сосредоточена в верхней 3-метровой толще (плотный остаток 1,5—3%, хлор 0,2—0,4%).

В 1961 г. для опытной промывки была выбрана поливная карта № 60—60а в зоне влияния скважины № 5 площадью 17 га, представляющая собой целину первого года

Таблица 18. **Динамика рассоления почвогрунтов под влиянием орошения и промывок** (участок Шурузяк)

Год	Глубина, м	Содержание солей, % от массы почв		Проведенные мероприятия	Оросительная норма (брутто), м³/га	Промывная норма (брутто), м³/га	Урожайность хлопчатника, ц/га
		плотный остаток	хлор				
1963	0—1	1,97	0,16	Капитальная планировка	—	—	Целина
	0—2	1,76	0,16				
1964	0—1	1,65	0,083	Промывка в два приема с 13/III по 11/V 1964 г. и орошение	5500	10 200	3—5
	0—2	1,40					
1965	0—1	1,50	0,046	Промывки с 17/XII по 25/XII 1965 г. и орошение	5783	3 642	9
	0—2	1,30	0,022				
1966	—	—	—	Орошение	3318	—	20

Примечание. Данные по содержанию солей в почвогрунтах осреднены по шести точкам.

освоения (водопроницаемость 0,05 м/сут, почвы гипсированы). Промывка нормой 10,2 тыс. м³/га водой из скважины № 5 (минерализация 1,2—1,4 г/л) и дальнейшая водоподача 8—10 тыс. м³/га позволили опреснить земли и освоить участок под хлопок (табл. 18). В 1966 г. урожайность хлопчатника составила 20 ц/га, а в 1970 г. — 33 ц/га.

На этом же ключевом участке № 60—60а заложена опорная точка № 5, по которой велись наблюдения за динамикой солей в толще покровных суглинков. Она показывает процесс рассоления всего почвогрунтового профиля и смещение солевого максимума вниз по разрезу (табл. 19).

Таблица 19. Динамика рассоления почвогрунтов на участке Шурузяк

Глубина, м	1963 г.		1966 г.	
	плотный остаток, %	хлор, %	плотный остаток, %	хлор, %
0—0,2	2,79	0,57	1,86	0,14
0—1	2,30	0,37	1,77	0,13
0—2	1,63	0,23	1,21	0,09
0—3	1,39	0,20	1,12	0,08
0—5	1,23	0,18	1,03	0,07
0—10	0,99	0,15	0,86	0,07
0—20	0,82	0,16	0,64	0,06

В 1966 г. в зоне действия скважины № 12 на целине был выбран сильно засоленный участок с тяжелыми почвами размером 14 га (карта № 79) для продолжения исследований промывок на фоне вертикального дренажа. Участок был тщательно подготовлен (планировка, вспашка, поделка чеков и др.), сделана солевая съемка, оборудована сеть пьезометров. Почвы сильно гипсированы (сверху 7—10%, а от 0,3 до 1,5 м 30—40% гипса) и слабоводопроницаемы (0,02—0,15 м/сут). Для промывки использовали воду с минерализацией 1,4—1,8 г/л из скважины № 12. Промывка велась затоплением без сброса в вегетационный период (апрель—ноябрь), поэтому промывные нормы брутто были высокие (20—30 тыс. м³/га). В связи с тяжелыми водно-физическими свойствами почвогрунтов инфильтрация и вымыв солей

протекали медленно. При этом хлор был вынесен до допустимых пределов, а плотный остаток снизился до 1—2% (за счет гипса). Исходные запасы солей (плотный остаток 1,5—2% и хлор 0,02—0,03%) после промывок уменьшились (плотный остаток 1—1,2% и хлор 0,02—0,03%). В 1967 г. этот участок подготовили к севу под травы.

В 1964 г. в отделении им. Ильича совхоза «Пахтаарал» был выбран сильно засоленный участок, на котором в течение последних лет урожай хлопчатника и кукурузы не получали. На этом участке площадью 215 га в 1964—1966 гг. был проведен производственный опыт для выявления эффективности промывок засоленных земель на фоне вертикального дренажа (скважины № 8, 9, 10, 14, 15, 16).

Почвы участка лугово-сероземные, среднесуглинистые, средне- и сильнозасоленные с содержанием легкорастворимых солей в корнеобитаемом слое от 0,6—0,8 до 1,2—2% по сухому остатку и 0,08—0,17% по хлору. Характер засоления хлоридно-сульфатный с большим преобладанием сульфата ($SO_4 : Cl = 4—5$). В катионной части водных вытяжек большое место после натрия занимает магний ($Na : Mg = 2—3$).

На глубине 0,3—0,6 м почва заметно уплотнена. Средняя плотность в этом горизонте колеблется в пределах 1,5—1,6 г/см³. Ниже она не превышает 1,30—1,38 г/см³. Весь почвенный профиль пронизан корнями растений и ходами землероев.

Водопроницаемость (по Нестерову) пахотного слоя почвы равна 0,8—1 м/сут, на глубине уплотненной прослойки — 0,46 м/сут, ниже — 1—0,63 м/сут.

В ноябре—декабре 1964 г. вся площадь, отведенная под промывки, была разделена на 4 участка. На двух из них промывка проводилась нормой 3500 м³/га, а на остальных — 5000—5500 м³/га.

На первом участке после первого полива нормой 2700 м³/га грунтовые воды поднялись до 2,4 м при их исходном положении 3,45 м, а после второго полива нормой 2000 м³/га — до 1,4 м. На втором участке после первого полива нормой 3300 м³/га уровень грунтовых вод поднялся до 1,6 м, после второго нормой 2000 м³/га — до 0,75 м против его исходного состояния 2,85 м.

На третьем и четвертом участках, где промывка проводилась в один прием нормой 3500 м³/га, грунтовые воды поднялись до 1—1,5 м при исходном 2,8—3 м. Причем

минерализация верхнего слоя грунтовых вод после первой порции промывки увеличилась до 14—18 г/л против исходного 5—6 г/л, а на втором участке, где земли сильно засолены, — до 25—30 г/л против 4—6 г/л.

Лабораторные анализы почвогрунтов показали, что на первом участке после промывки нормой 2700 м³/га резкое опреснение наблюдалось в слое до 60—80 см. Запасы солей в 20-сантиметровом слое уменьшились на 25—52% (в среднем 37,5%) по плотному остатку и на 66—80% по хлору. Вынос легкорастворимых солей из 40-сантиметрового слоя составил 23,8% по плотному остатку и 65% по хлору, в 60-сантиметровом слое 20% по плотному остатку и 50% по хлору.

После подачи второй порции воды (2000 м³/га) вынос солей для метрового слоя был равен 18,3% по плотному остатку и 38,8% по хлору. Повторная промывка вызвала дальнейшее опреснение почвогрунтов и грунтовых вод только на первом участке, где скважины работали регулярно. На остальных участках, где скважины были отключены, повторная промывка не дала заметного опреснения почв.

В вегетационный период 1965 г. реставрация засоления почвогрунтов на этих участках не наблюдалась и совхоз получил высокий урожай: хлопка 32 ц/га, кукурузы на силос 160 ц/га и люцерны первого года 18 ц/га.

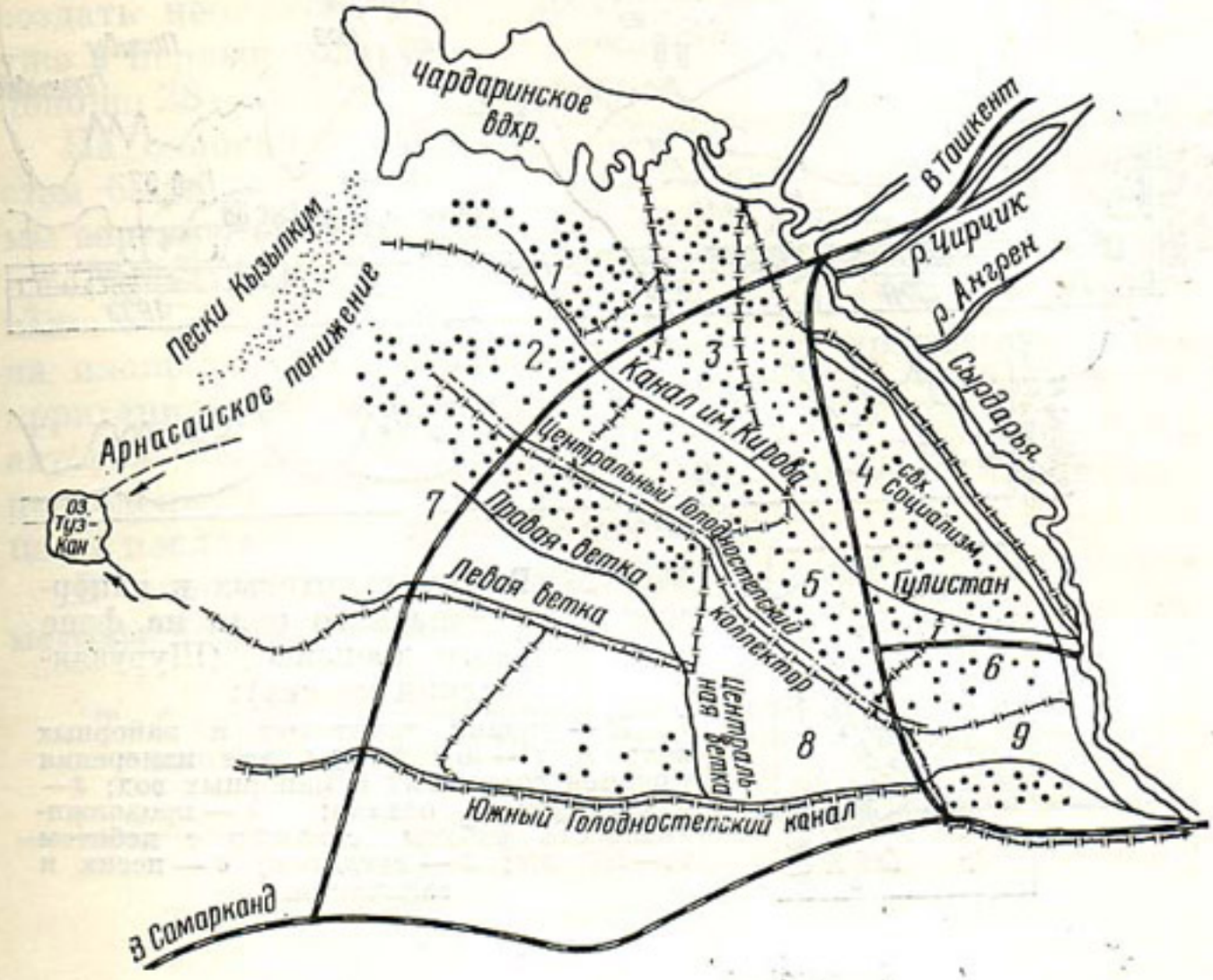
В октябре—декабре 1965 г. на тех же землях проводилась промывка с использованием откачиваемых вод из скважин 16 и 15. Общая промывная норма 7600 м³/га подавалась прерывисто в три приема. Причем на два первых полива подавалась вода, откачиваемая из скважин, с минерализацией 4,5 г/л. Первый полив продолжительностью с 13 до 30 октября нормой 3600 м³/га вызвал подъем уровня грунтовых вод до 2—2,4 м, а второй полив нормой 2000 м³/га — до 1,4—1,8 м против исходного 3,5—4 м. Последний полив нормой 2000 м³/га проводился поверхностной водой с минерализацией 0,8 г/л. При третьем поливе грунтовые воды поднялись до 1,2—1,5 м. После промывок содержание солей в пахотном и подпахотном слоях уменьшилось до 0,4—0,5% по плотному остатку (исходное 0,6—1,27%), а по хлору до 0,015—0,02 (исходное 0,08—0,18%). Влияние опресняющего действия в этом случае наблюдалось до глубины 1,6—1,8 м. В 1966 г. здесь был получен хороший урожай кукурузы и хлопчатника (табл. 20).

Таблица 20. **Условия проведения промывок и их основные результаты**

№ опыта	Время проведения	Площадь, га	Промывная норма, м³/га	Дренированность участков, л/с·га		Уровень грунтовых вод, м		Запасы солей в корнеобитаемом слое (0,4 м), % массы				Культура	Урожайность, ц/га
								исходные		остаточные			
				в период промывки	после промывки до посева	до промывки	после промывки	сухой остаток	хлор	сухой остаток	хлор		
1	С 6/XII 1964 г. по 20/I 1965 г.	50	2800	0,12	0,04	2,9	1,2	1,735	0,197	1,195	0,140	Люцерна	Погибла
2	С 20/XI по 10/XII 1964 г.	50	3000	0,17	0,09	3,0	1,0	0,842	0,079	0,693	0,063	»	18
3	С 3/X по 10/XI 1964 г.	47	5600	0,21	0,14	3,2	1,5	0,941	0,086	0,469	0,025	Хлопок	32
4	С 3/XII 1964 г. по 16/I 1965 г.	60	6000	0,09	0,04	2,8	0,6	0,899	0,073	0,854	0,022	Кукуруза на зеленую массу	160
5	С 13/X по 20/XII 1965 г.	50	7600	0,32	0,21	3,6	1,6	1,195	0,140	0,517	0,028	Хлопок, кукуруза	33 196

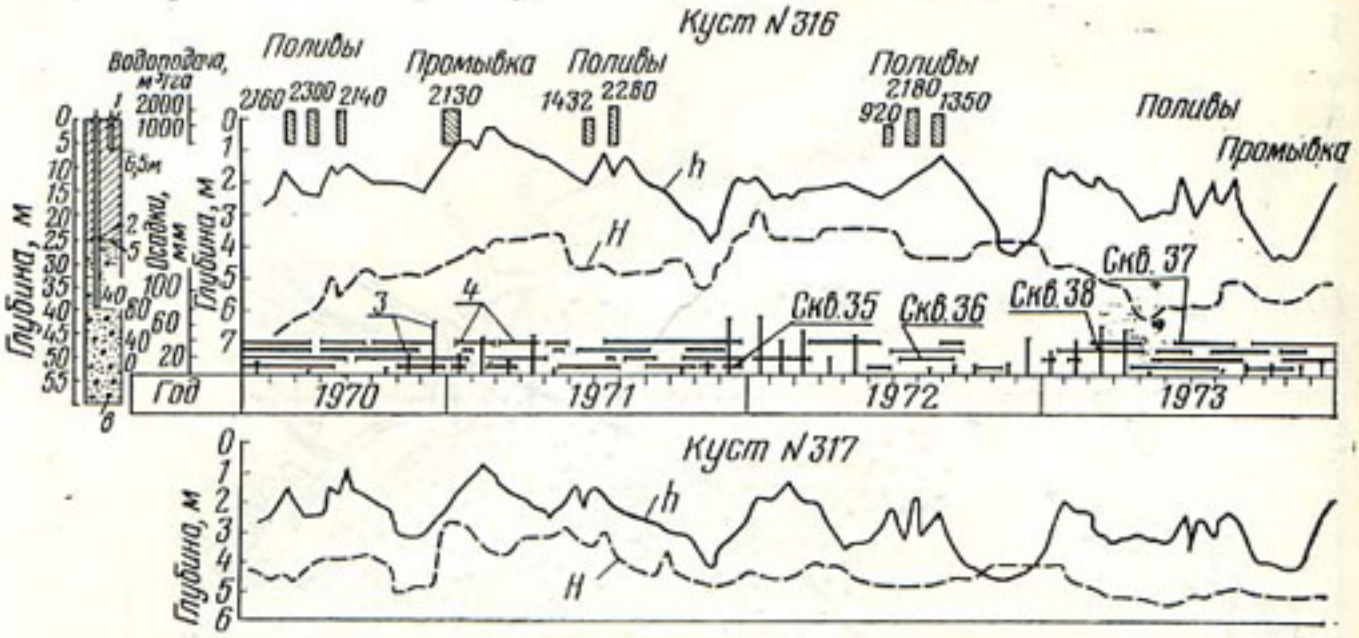
Таблица 21. **Основные параметры вертикального дренажа, заложенные в схемы и проекты** (на основании исследований и при участии САНИИРИ)

Объекты мелиорации	Площадь, тыс. га	Число скважин, шт.	Суммарная мощность дренажа, м³/с	Дренажный модуль, л/с·га	Мелиоративный период, лет	Проектная стоимость комплекса мероприятий, млн. руб.	Проектные организации
Голодная степь							
Шурузякский массив	68,4	212	13,0	0,19	5—8	—	Узгипроводхоз
Сардобинский массив	33,7	133	6,7	0,2	4—10	—	»
Баяутский массив	48,7	101	5,1	0,11	6—8	—	»
Пахтааральский район	68,45	325	23	0,3	7—12	22,55	Казгипрорис (Ташкентская экспедиция)
Джетысайский и Кировский районы	97,51	329	21,1	0,23	4—7	28,14	То же
Ферганская область							
Кировский массив	1,2	12	0,45	0,28	4—6	0,28	Узгипроводхоз
Западно-Ферганский массив	54,76	210	14,6	0,28	4—6	12,83	»
Бухарская область							
Общая схема 1961 г.	157,44	272	17,3	0,1	6	7,25	Узгипроводхоз
Совхоз «Каган»	10,58	98	2,59	0,25	5	4,97	»
Общая схема 1965 г.	198,05	655	26,0	0,12	4	12,09	САНИИРИ



N п/п	Массив	Действующая мощность вертикального дренажа на 1/I 1976 г.	
		Площадь, тыс. га	Общее число скважин
1	Кировский	70,5	41
2	Джетысайский	53,8	146
3	Пахтааральский	47,3	240
4	Шурузякский	68,4	232
5	Сардобинский	33,7	120
6	Баяутский	51,7	39
7	Центральный	39,1	253
8	Юго-Восточный	114,3	65
9	Фархадский	14,2	51
	Итого	573	1188

Рис. 25. Схема расположения вертикального мелиоративного дренажа в Голодной степи (скважины вертикального дренажа показаны точками).



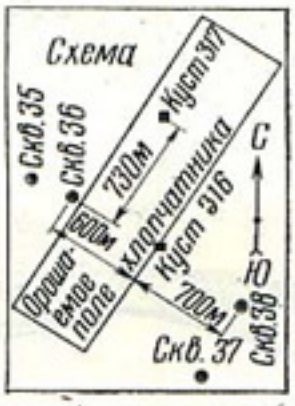


Рис. 26. Режим грунтовых и напорных вод орошаемого поля на фоне вертикального дренажа (Шурузякский массив):

h, *H* — уровни грунтовых и напорных вод; *1*, *2* — пьезометры для измерения уровней грунтовых и напорных вод; *3* — атмосферные осадки; *4* — продолжительность работы скважин с дебитом 90—100 л/с; *5* — суглинок; *6* — пески и галечники.

Минерализация верхнего слоя грунтовых вод после первого полива увеличилась до 12—15 г/л против 5—7 г/л, а после второго полива — до 20—25 г/л. Третий полив снизил минерализацию до 10—14 г/л.

Приведенные данные показывают целесообразность использования откачиваемых вод (минерализация 4,5—5 г/л) для промывки засоленных земель. Причем в условиях совхоза «Пахтаарал» для смещения одной тонны легкорастворимых солей из метрового слоя при засоленности 0,6—0,8% необходимо 150—160 м³/га воды, при засоленности 0,8—1,2% — 100 м³/га, а при содержании солей в почве 1,2—1,7% — 60 м³/га.

Таким образом, для исследований эффективности промывок на фоне вертикального дренажа были выбраны наиболее тяжелые земли как в совхозе «Пахтаарал», так и в совхозе «Социализм». Такие земли в зоне командования Кировского магистрального канала имеют сравнительно небольшое распространение (12—16%). Но и в этих сравнительно трудных условиях промывки нормами 5000—10 000 м³/га позволили при последующем промыв-

ном режиме орошения на фоне вертикального дренажа создать необратимый процесс рассоления, при котором уже в первый год после проведения промывок было получено по 28—30 ц/га хлопка-сырца.

На основании данных опытно-производственных систем были запроектированы и построены крупные системы вертикального дренажа (табл. 21, рис. 25).

Первый крупный проект внедрения вертикального дренажа в Голодной степи (Узгипроводхоз, 1964) объединил на площади 210,8 тыс. га технические проекты четырех ирригационных массивов (табл. 22). Под руководством авторов настоящей работы Л. А. Скоробогатовой были проведены научно-производственные исследования в процессе последовательного ввода систем.

В основу проектирования дренажа были положены методы водного баланса и результаты расчета прогнози-

Таблица 22. **Проектная и действующая** (на 1/I 1976 г.) **мощность дренажа** (по данным службы мелиорации Минводхоза УзССР)

Массивы и площади	Число скважин по проекту	Число скважин		Суммарный дебит, м³/с		Фактическая протяженность коллекторно-дренажной сети	
	гектаров на одну скважину	построено	в круглосуточной работе	по проекту	фактически	км	м/га
Шурузякский, 68,4 тыс. га	212/275	232	167	13,0	11,2	1383	20,3
Сардобинский (с г. Гулистаном), 33,7 тыс. га	151/220	120	76	6,7	3,2	642	19,3
Баяутский, 51,7 тыс. га	118/370	39	18	5,1	1,6	856	16,5
Прочие вне проекта	—	47	—	—	—	—	—
Пойменный, 57 тыс. га	—	—	—	—	—	810	14,2
Всего, 210,8 тыс. га	481	438	261	24,8	16,0	3691	

Таблица 23. **Динамика мелиоративного состояния земель в процессе длительного освоения**

Показатели	До орошения	При орошении					По проекту
		без дренажа		горизонтальный дренаж		вертикальный дренаж	
	1885 г.	1937 г.	1942 г.	1952 г.	1962 г.	1973 г.	
Отношение суммарного испарения к суммарной водоподаче	1,0	1,2	0,8	0,8	0,65	0,56	0,6
Отношение дренажного стока к водоподаче	—	—	0,06	0,06	0,15	0,35	0,63
Мелиоративное состояние земель по пятибалльной системе (САНИИРИ)			Неудовлетворительное (II)	Неудовлетворительное (II)	Неустойчиво благоприятное (III) и неудовлетворительное (II)	Удовлетворительное (IV), хорошее (V)	

руемого солевого баланса, а также районирование массива по литологическому разрезу.

Из анализа водных балансов (исходного и проектного) определялась необходимая мощность дренажа Q (суммарный дебит откачек). По типовым литологическим разрезам на основании работающих скважин выбирались скважины-аналоги, характеризующиеся определенными дебитами q. Число скважин n для каждого из выделенных районов находили по уравнению: $n=Q/q$.

Скважины размещались вдоль дорог, коллекторов, по границам севооборотных полей по относительно равномерной сетке, не нарушая сложившуюся организацию территории. Ввод в эксплуатацию вертикального дренажа и более строгий режим водопользования (1972—1975 гг.) способствовали перестройке водного и солевого балансов вследствие увеличения дренированности территории, преобладания нисходящих токов фильтрации в покровном

Таблица 24. **Водный баланс (м³) осредненного валового гектара покровных мелкоземов мощностью 28 м (1972 г.)**

Показатели	Шурузякский массив			Сардобинский массив	
	южный район	центральный район	западный район	северный район	южный район
Приход					
Атмосферные осадки	2 258	2 258	2 258	2 258	2 258
Водоподача поверхностных вод	7 251	9 423	10 925	6 125	5 394
Водоподача за счет вертикального дренажа и коллекторно-дренажной сети	3 107	3 307	256	259	—
Потери из магистральных каналов	2 002	711	1 504	3 040	600
Подземный приток	0	0	0	0	442
Итого	14 618	15 699	14 943	11 682	8 694
Расход					
Суммарное испарение	5 257	7 842	8 315	5 957	5 307
Отток по коллекторно-дренажной сети	4 834	4 960	3 054	1 923	2 445
В том числе:					
грунтовой воды	1 500	1 530	950	310	400
сбросной воды	3 334	3 430	2 104	1 613	2 045
Подземный отток за счет вертикального дренажа	5 207	2 917	4 084	4 322	1 072
Итого	15 298	15 719	15 453	12 202	8 824
Баланс грунтовых вод					
Питание грунтовых вод	+4 527	+2 542	+3 574	+3 802	+500
Изменение запасов грунтовых вод	—680	—20	—510	—520	—130
Дренированность покровного слоя вертикальным дренажем (разность подземного притока и земного притока и оттока):					
м³/га	—5 207	—2 562	—4 084	—4 322	—630
л/с·га	0,165	0,08	0,129	0,137	0,002

Таблица 25. **Показатели вертикального дренажа по почвенно-гидрогеологомелиоративным районам (балансовым участкам)**

Показатели	Шурузякский массив			Сардобинский массив	
	южный район	центральный район	западный район	северный район	южный район
Валовая площадь, тыс. га	13,3	26,8	28,3	18,0	15,7
К.з.и.	0,54	0,67	0,76	0,45	0,25
Геофильтрационное строение (схема в вертикальном разрезе, состав субнапорного водоносного горизонта)	Однопластовая (гравий, галечник, песок)	Двухпластовая (гравий, песок, галечник)	Многопластовая (пески)	Многопластовая (пески)	Многопластовая (пески)
Средняя мощность покровного мелкозема, м	23—27	17—23	23—35	21—40	28—40
Мощность каптируемого пласта, м	100—140	65—90	15—35	9—25	8—15
Интервалы установки фильтров, м	35—60	22—65	30—55	30—45	30—42
Коэффициент фильтрации, м/сут покровных мелкоземов по Нестерову (зона аэрации)	0,3	0,2	0,5	0,1	0,2
каптируемого пласта	45	30—45	22	18	16
Число скважин, шт.	44	69	54	61	5
Площадь, обслуживаемая одной скважиной, га	250	80—300	250—500	100—500	600

Фактический дебит скважин, л/с	80—100	60—80	30—50	25—45	35
Удельный дебит, л/с·м	8—15	7—10	6—11	4—12	3—6
Диапазон изменения уровней грунтовых вод, м:					
в исходный 1962 г.	1,9—2,6	0,5—2,2	1,4—2,8	0,5—2,2	0,5—2,2
в период откачек	2,4—6,0	2,2—3,7	2,5—6,0	2,4—5,0	2,2—6,0
Действующий напор перетока $h-H$, м	3,0	1,2	1,5	3,0	0,1
Дренажный модуль вертикального дренажа (переток в напорный пласт), м³/га валовой в год / л/с·га	5207 / 0,165	2562 / 0,08	4084 / 0,129	4322 / 0,137	50 / 0,002
Дренажный модуль горизонтального дренажа, л/с·га	0,047	0,048	0,03	0,01	0,013
Суммарный дренажный модуль, л/с·га	0,212	0,128	0,159	0,147	0,015
Средний дренажный модуль, л/с·га:					
фактический		0,17		0,08	
по проекту		0,25		0,23	
Суммарный дебит откачек, м³/га в год	5978	3455	4295	4088	

Таблица 26. **Динамика водно-солевого баланса покровного слоя мелкоземов (0—25 м) при вертикальном дренаже, м³/га (валовой) в год (по данным Л. А. Скоробогатовой)**

Элементы баланса	1962 г. (исходный)	1964 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.	1971—1973 гг.	1975 г.
Водный баланс								
Приход								
Атмосферные осадки	2 730	3 724	3 160	6 519	2 666	2 258	2 600	2 079
Водоподача (с потерями в хозяйственной сети)	8 111	8 416	9 971	6 925	10 183	9 622	8 573	6 060
Водоподача из скважин вертикального дренажа и из коллекторно-дренажной сети	—	—	—	—	600	1 783	1 600	2 200
Фильтрация из магистральных каналов	1 716	1 560	1 820	1 300	1 090	1 270	1 050	856
Подземный приток в покровный слой извне (+)	277	300	—	—	—	—	—	—
Итого	12 834	14 000	14 951	14 744	14 589	14 933	13 823	11 195
Расход								
Суммарное испарение	8 374	8 818	8 471	8 233	8 120	7 525	6 900	5 087
Отвод по коллекторам грунтовых и сбросных вод	4 160	4 870	6 000	5 731	3 521	3 991	3 783	1 978
В том числе:								
грунтовых вод	2 290	2 670	2 600	2 550	1 071	1 250	1 063	344
сбросных вод	1 870	2 200	3 400	3 181	2 450	2 741	2 730	1 634
Подземный отток из покровного слоя (—)	320	370	500	1 000	3 110	3 707	3 230	4 450
Итого	12 854	14 060	14 971	14 964	14 751	15 223	13 913	11 515

Баланс

Изменение запасов грунтовых вод	—20	—58	—40	—240	—212	—290	—100	—300
Дренированность покровных мелкоземов (разность подземного оттока и притока)	—43	—70	—500	—1 000	—3 110	—3 707	—3 230	—4 450
Суммарный модуль вертикального и горизонтального дренажа:								
м³/га в год	2 333	2 740	3 100	3 550	4 181	4 957	4 293	4 794
л/с·га	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,14	0,15

Солевой баланс

Поступление солей, т/га:								
с оросительными водами	9,8	9,9	10,1	7,9	11,2	13,0	12,6	17,8
с подземными водами	0,1	0,1	0,1	—	—	—	—	—
Итого	9,9	10,0	10,2	7,9	11,2	13,0	12,6	17,8
Отток, т/га:								
с грунтовыми водами по коллекторам	10,3	14,4	12,2	12,8	12,7	13,6	13,1	10,5
с подземными водами	3,2	2,2	2,3	6,1	15,6	18,6	18,3	22,3
Итого	13,5	16,6	14,5	18,9	28,3	32,2	31,4	32,8
Разность солей, т/га	—3,6	—6,6	—4,8	—11,0	—17,1	—19,2	—18,8	—15,0

слое, снижения уровня грунтовых вод и соответственно испарения (рис. 26 и табл. 23).

На основании исследований водного и солевого режима зоны аэрации и грунтовых вод в пределах Шурузякского и Сардобинского массивов выделено пять инженерно-мелиоративных районов (табл. 24, 25).

Сопоставление балансов современного (1975 г.) с проектным и с исходным (1962 г.) позволяет отметить, что принятый по проекту коэффициент инфильтрационного питания на орошаемых полях 0,48—0,28 от водоподачи нетто (0,33 в среднем по площади 210,8 тыс. га при фактическом 0,18) был завышен. Это увеличило нагрузку на проектируемый дренаж на 20—25%. Поэтому на массивах, где полностью закончено строительство вертикального дренажа, проектные темпы рассоления земель достигнуты при фактическом дренажном модуле 4000—5000 м³/га в год.

С вводом вертикального дренажа вынос солей по Шурузякскому массиву увеличился по сравнению с 1962 г. в 5 раз (табл. 26). Типовая конструкция скважины показана на рисунке 27.

На основании анализа водно-солевого режима на ключевых участках отмечено, что устойчивый процесс рассоления в рассматриваемых условиях с выносом из зоны аэрации до 15—20 т/га солей в год поддерживается при оросительной норме около 6000 м³/га и осенне-зимних промывках нормой 2000—3000 м³/га. Они вместе с атмосферными осадками определяют общее поступление воды в количестве 9000—11 000 м³/га. В этом случае рассоляющий расход инфильтрационных вод (разность между общим поступлением воды и эвапотранспирацией) составляет 900—2000 м³/га (15—20% суммарной водоподачи).

За 5—7 лет эксплуатации вертикального дренажа наряду с понижением уровня грунтовых вод (в среднем на 2 м) произошло снижение минерализации грунтовых вод и постепенное увеличение минерализации откачиваемых вод (на 0,3—1,2 г/л). Прогноз динамики минерализации откачиваемых вод рассмотрен в главе 6.

За период работы вертикального дренажа произошло существенное рассоление земель. Так, по данным почвенных съемок Узгипроводхоза, в 1958 г. на Шурузякском массиве среднезасоленные земли и солончаки занимали 43%, а в 1974 г. их осталось всего 4%.

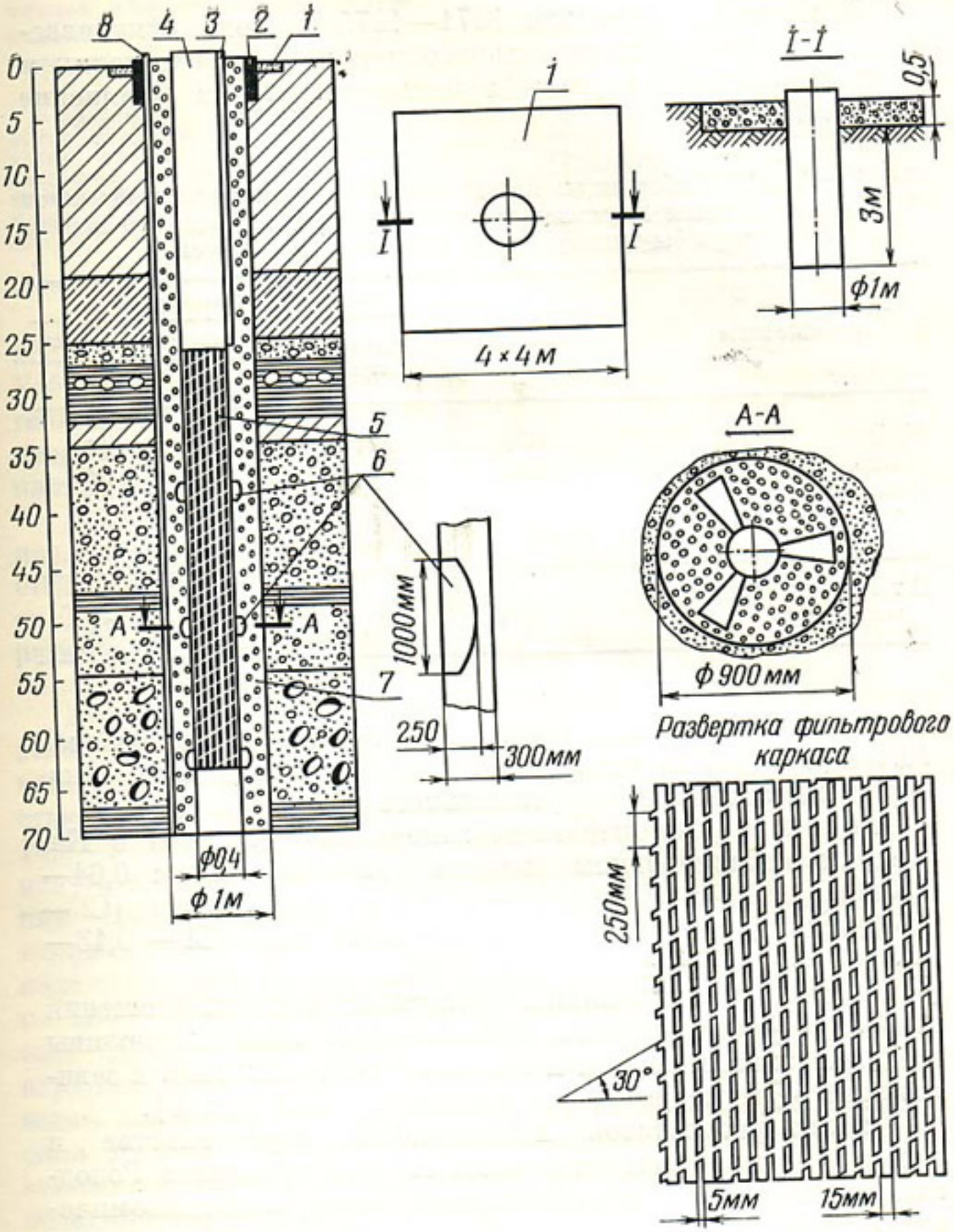


Рис. 27. Конструкция скважин вертикального дренажа в совхозе «Социализм»:

1 — бетонная плита для крепления кондуктора; *2* — кондуктор; *3* — труба для замера уровня воды в скважине; *4* — глухая часть фильтрового каркаса; *5* — перфорированная часть фильтрового каркаса, скважность 20%; *6* — направляющие фонари из стали толщиной 10 мм; *7* — гравийная обсыпка, размер фракции 1—10 мм; *8* — затрубный пьезометр, скважность фильтра 15%.

В связи с маловодьем 1971—1975 гг. вода, откачиваемая из скважин вертикального дренажа, почти целиком в вегетационный период использовалась на орошение (табл. 27).

Таблица 27. **Забор воды на орошение в вегетационный сезон 1975 г.** (по данным Управления Кировского магистрального канала и службы эксплуатации оросительных систем)

Месяцы	Всего, м³/с	В том числе		
		из Сырдарьи, м³/с	из дренажной системы	
			м³/с	%
Май	69,0	57,6	11,4	17
Июнь	88,7	67,9	20,8	24
Июль	99,7	77,8	22,5	23
Август	69,5	40,8	18,7	27
Итого в среднем за вегетацию	79,1	60,9	18,2	23

В среднем за вегетацию на орошение подавалось 19,1 м³/с воды, из которой 15 м³/с составляла вода, откачиваемая из скважин вертикального дренажа.

За эти маловодные годы минерализация воды в Кировском магистральном канале увеличилась с 0,64—0,8 г/л в 1971 г. (Cl — 0,07—0,14 г/л) до 1,22 г/л (Cl — 0,136 г/л) в 1973 г. и до 1,46—1,79 г/л (Cl — 0,13—0,18 г/л) в 1975 г.

Опыт по использованию дренажных вод для орошения позволяет рекомендовать откачиваемые воды на поливы как самостоятельно, так и в смеси с поверхностной в зависимости от минерализации и состава солей (гл. 6).

Анализ результатов исследований строительства и эксплуатации систем на землях старого орошения Голодной степи показал высокую мелиоративную и экономическую эффективность применения вертикального дренажа (рис. 28).

За 1964—1974 гг. изменение мелиоративных условий способствовало повышению урожайности хлопчатника на 11,5 ц/га, что в отдельных районах позволило довести урожайность до 30 ц/га. Более подробно вопросы эффективности рассмотрены в главе 11.

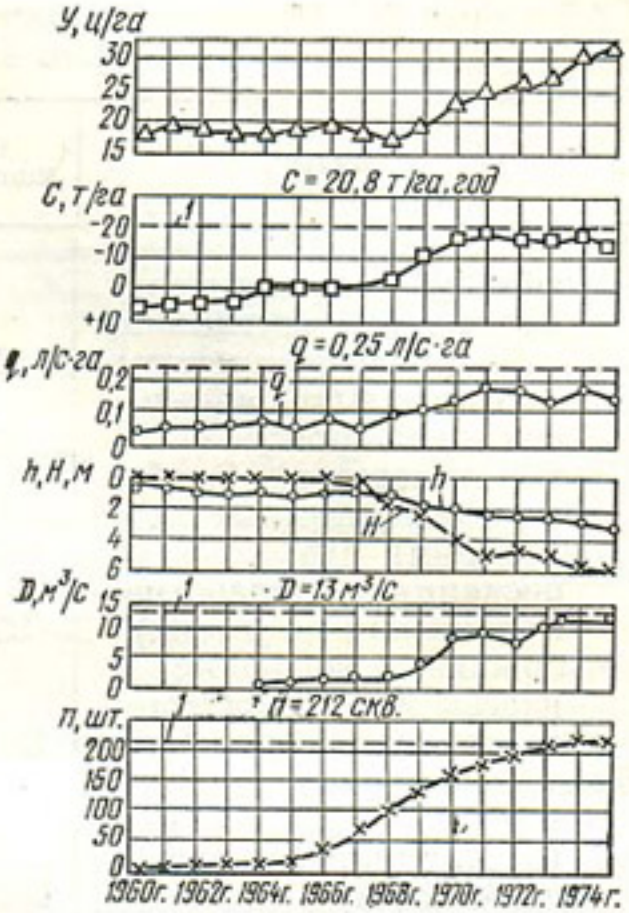


Рис. 28. Параметры мелиоративной эффективности вертикального дренажа на Шурузякском массиве (площадь 68,4 тыс. га):

1 — проектные параметры; *n* — число скважин; *D* — суммарный дебит откачек; *h*, *H* — уровни грунтовых и напорных вод; *q* — дренажный модуль; *C* — вынос солей из покровного слоя мелкоземов; *У* — урожайность хлопчатника.

Бухарский оазис. Расположен на юго-западе Узбекистана, в нижнем течении р. Зеравшан, в пределах ее сухой дельты; площадь около 245 тыс. га.

Долина р. Зеравшан в пределах оазиса расширяется к центральной части от 3—5 до 50—60 км, где развита вторая надпойменная терраса реки.

Рельеф долины равнинный с общим уклоном на юго-запад в среднем 0,0005. Аридный климат с незначительным количеством осадков (125 мм), большой испаряемостью (2075 мм) и среднегодовой температурой воздуха 14,2—15,1° С определяет развитие земледелия только при искусственном орошении. В гидрогеологическом отношении это полураскрытая мульда, выстланная морскими глинами палеогена. В центральной части эти глины расположены на глубине до 500 м и более и служат региональным водоупором для заполняющих ее континентальных толщ. Последние насыщены подземными водами верхнего яруса, отделенного от нижележащих водоупорными глинами палеогена мощностью 180—250 м. Бухарская мульда сложена с поверхности покровными мелкоземами. В верхней части оазиса на глубине 1—2 м они подстилаются мощными (до 45 м и более), хорошо проницаемыми галечниково-конгломератовыми отложениями. Вниз по течению реки и от центра оазиса к периферии отмечается механическая дифференциация — толща покровных отложений увеличивается до 10—12 м с одновременным уменьшением размеров фракций и мощности галечниковых отложений вплоть до их полного выклини-

Таблица 28. **Основные параметры Бухарского гидрогеологического бассейна**

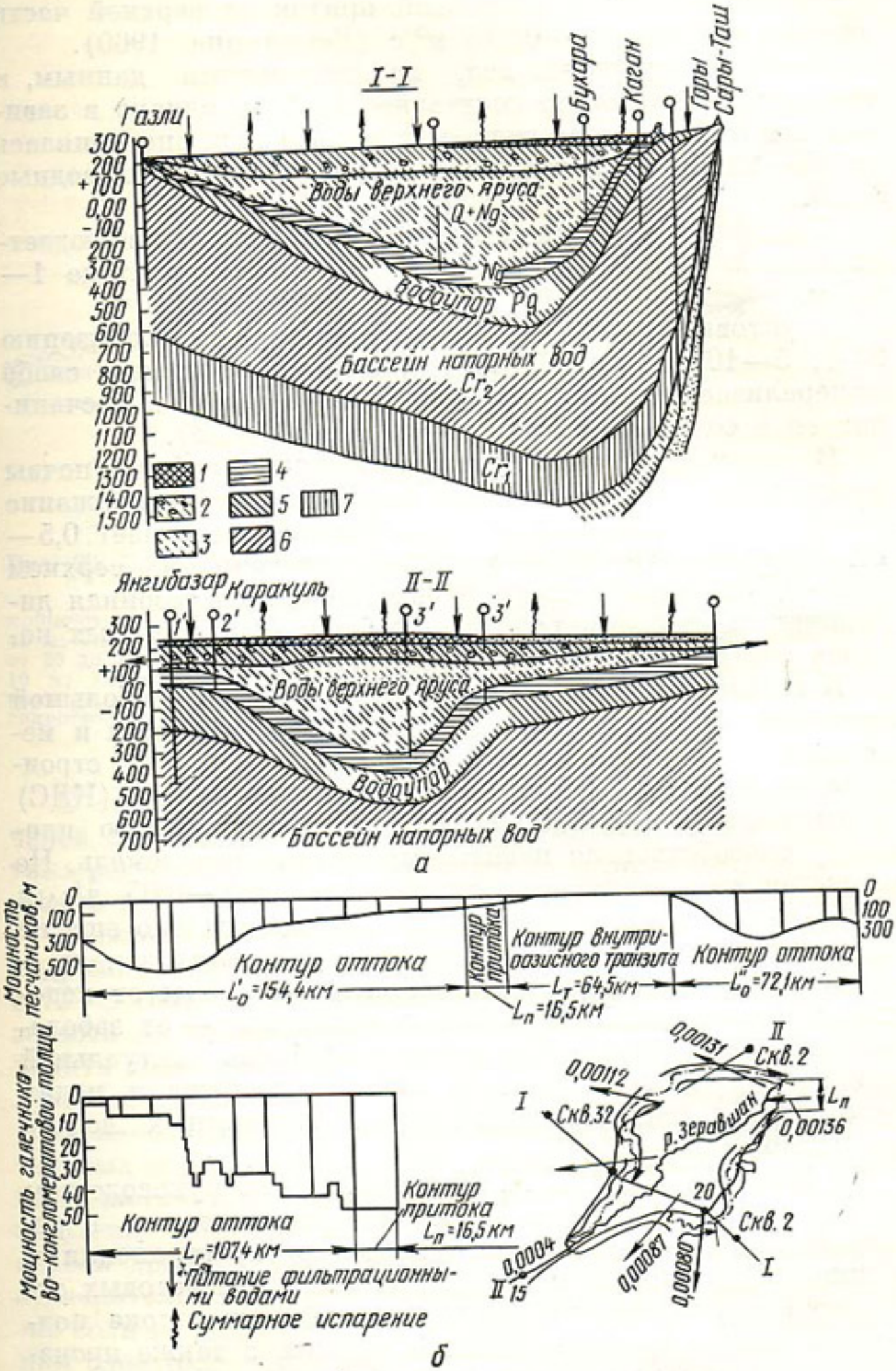
Горизонты	Предел мощности, м	Коэффициент водоотдачи	Коэффициент фильтрации, м/сут
Бассейн субнапорных вод:			
мелкозем (суглинки, глины, супеси и пески)	1—12	0,1	0,5—4,0
галечник (гравий, песок и галечник)	0—30	0,25—0,30	25—65
конгломераты (слабосцементированные галечники)	0—47,5	0,25	11—28
песчаники (слабосцементированные пески)	95—500	0,15—0,2	1,3—2,0
Региональный водоупор:			
неогеновые и палеогеновые глины	180—250	—	—
Бассейн напорных вод:			
меловые отложения (песчаники, мергели и известняки)	600—650	0,15—0,26	1,3—2,0

вания. Галечники повсеместно подстилаются песчаниками мощностью 95—500 м. Все рассмотренные отложения водоносны и гидравлически связаны между собой соответственно их гидрогеологическим параметрам (табл. 28).

Режим грунтовых вод изучала здесь более 40 лет гидрогеологическая станция гидрогеологического треста Главгеологии Узбекской ССР. Результаты наблюдений обобщены в работах Д. М. Каца, А. А. Худайбердыева, Н. Н. Ходжибаева и других. Основные источники питания грунтовых вод — фильтрация из каналов и инфильтрация воды с орошаемых полей. Инфильтрация атмосферных осадков незначительна — 16—20%, или 20—25 мм

→

Рис. 29. Гидродинамическая расчетная схема Бухарского оазиса:
а — продольные разрезы; *1* — аллювий Зеравшана (мелкоземы — суглинки, супеси); *2* — озерно-речные отложения Пра-Зеравшана (галечник, подстилаемый конгломератами); *3* — свита рыхлых и крепких песчаников и алевритов с прослойками глины; *4* — лагунные отложения — коричневые гипсоносные глины (неоген); *5* — морские отложения — зеленые глины (палеоген); *6* — отложения сенонского яруса (свита песчаников, песков и реже глины с прослойками известняка с доломитом); *7* — отложения сенонского яруса (зеленые глины); *1'* — самоизливающиеся скважины; *2'*, *3'* — разведочные и эксплуатационные скважины; *б* — контуры притока и оттока подземных вод (развертка по границам орошаемой зоны).


I-I
Газли
Бухара
Каган
Горы Сары-Таш
Воды верхнего яруса
Q+Ng
Ng
Водоупор Pg
Бассейн напорных вод
Cr2
Cr1
1
2
3
4
5
6
7
Янгибазар
Каракуль
II-II
Воды верхнего яруса
Водоупор
Бассейн напорных вод
а
Мощность песчаников, м
Контур оттока
L'o=154,4км
Контур притока
Контур внутриоазисного транзита
Lт=64,5км
Lп=16,5км
Контур оттока
L''o=72,1км
Мощность галечниково-конгломератовой толщи
Контур оттока
Lг=107,4км
Контур притока
Lп=16,5км
Питание фильтрационными водами
Суммарное испарение
Скв.32
Скв.2
р.Зеравшан
Lп
б

в год. Подземный подрусловой приток из верхней части долины небольшой — 0,575 м³/с (Решеткина, 1960).

Глубина грунтовых вод, по многолетним данным, в среднегодовом разрезе составляет 2—3 м, однако в зависимости от характера гидрологического года она менялась от 0,5—1,2 м в многоводные до 2—3,3 м в маловодные годы.

Высокое положение уровня грунтовых вод наблюдается весной, низкое — осенью при годовой амплитуде 1—2,5 м.

Грунтовые воды в мелкоземах имеют минерализацию 2—5, 5—10, редко 30—40 г/л, в галечниках они слабо минерализованы — 0,8—2 и реже 2—3 г/л, а в песчаниках вода соленая (9—15, 15—40 г/л и более).

В оазисе 80% земель занимают гидроморфные почвы древнего орошения. Засоление поверхностное: содержание солей на большей части территории не превышает 0,5—1%, причем 50—70% их сосредоточено в верхнем (0,2—0,5 м) слое почвогрунтов. Отмечается сезонная динамичность солевого режима, требующая промывных поливов почти на 60—70% орошаемых земель.

К середине 60-х годов в оазисе был выполнен большой комплекс работ по повышению водообеспеченности и мелиоративному улучшению орошаемых земель. Так, строительство открытой коллекторно-дренажной сети (КДС) протяженностью 1273,3 км (5,2 м/га на валовую площадь) способствовало некоторому улучшению земель. Но открытая сеть с дренажным модулем 0,01—0,05 л/с·га (в 5—10 раз меньше запроектированного) далеко еще не справлялась с задачей мелиорации орошаемых земель.

Оазис все еще страдал в маловодные годы от недостатка оросительной воды, а в многоводные — от заболачивания и засоления. Это сделало особенно актуальной проблему применения вертикального дренажа в целях рассоления и использования пресных подземных вод на орошение.

В 1962—1965 гг. Х. А. Кадыровым под руководством Н. М. Решеткиной были проведены исследования, в результате которых уточнены границы распространения и мощности песчаников и галечниково-конгломератовых отложений и установлены региональные пути оттока подземных вод за пределы оазиса и мульды, а также произведено районирование всей территории оазиса по литолого-гидрогеологическим условиям (рис. 29, 30).

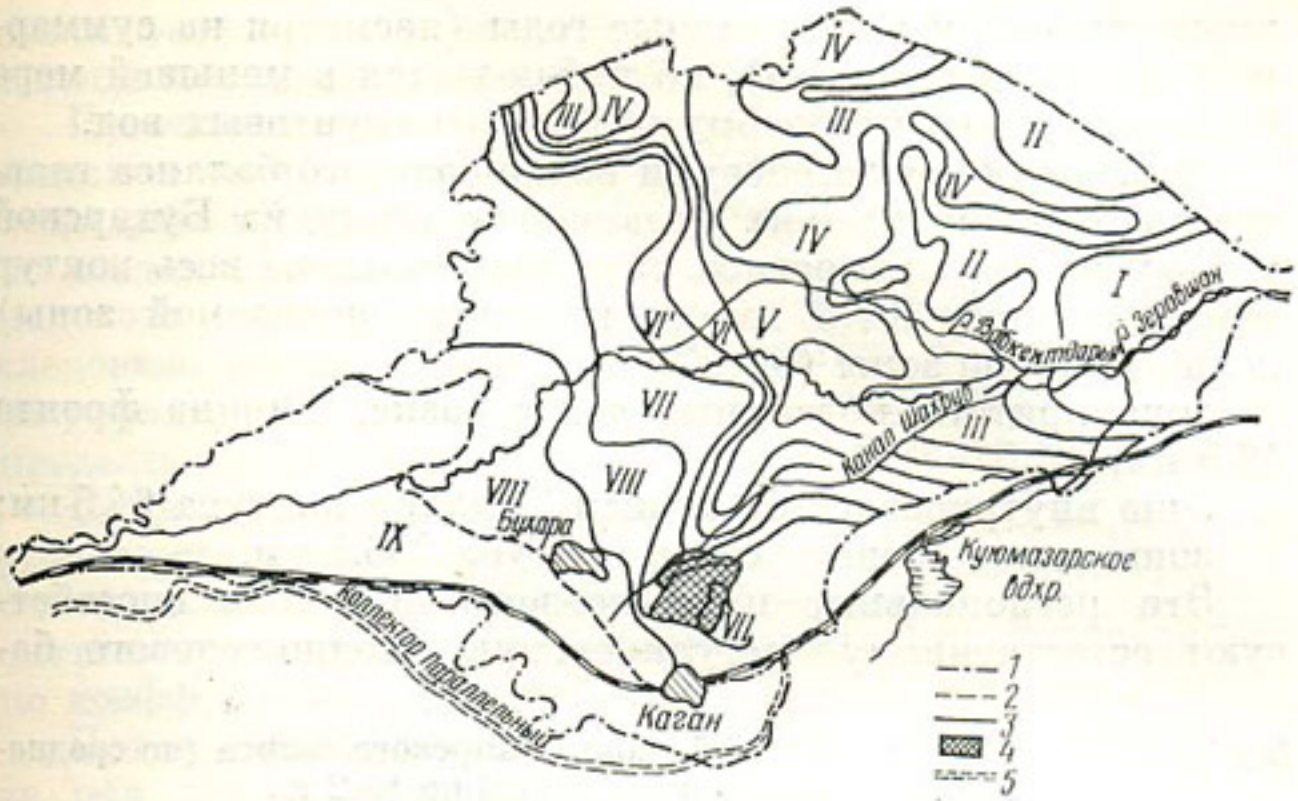


Рис. 30. Схема районирования Бухарского оазиса по условиям применения вертикального дренажа (1965 г.):

мощность галечниково-конгломератовой толщи: *I* — 45 м; *II* — от 40 до 45 м; *III* — от 35 до 40 м; *IV* — от 30 до 35 м; *V* — от 25 до 30 м; *VI* — от 20 до 25 м; *VI'* — от 15 до 20 м; *VII* — от 10 до 15 м; *VIII* — от 5 до 10 м; *IX* — от 0 до 5 м; *1* — граница поливной зоны; *2* — примерная граница смены галечников гравелистыми песками; *3* — граница и номер гидрогеолого-литологической зоны; *4* — опытно-производственный участок вертикального дренажа; *5* — коллекторная сеть.

В течение 1956—1962 гг. в многоводные годы отмечался солевой баланс типа засоления, а в маловодные — типа рассоления и в многолетнем разрезе — типа неустойчивого рассоления, близкого к стабильному.

В период многоводья, продолжительность которого, по гидрологическим наблюдениям, для р. Зеравшан составляет 2—3 года и наступает через каждые 5—6 лет, ни подземный отток, ни существующий дренаж не могли обеспечить водно-солевой режим почвогрунтов по типу рассоления или хотя бы по типу равновесия. В таких случаях усиленное испарение и транспирация грунтовых и оросительных вод на фоне сухого жаркого климата и при близком залегании их зеркала от поверхности земли вызывали засоление верхней части покровных мелкоземов. И при слабой дренированности покровной толщи, и при неудовлетворительной работе открытого горизонтального дренажа соли накапливаются в основном в верхнем, культурном слое (0,2—0,5 м) почвогрунтов. Сезонное перемещение солей в верхние слои почвогрунтов зоны аэрации не

прекращалось и в маловодные годы (несмотря на суммарный баланс рассоления), но наблюдается в меньшей мере благодаря более глубокому залеганию грунтовых вод.

В вековом регулировании водно-солевого баланса главное место принадлежит подземному стоку из Бухарской мульды за пределы оазиса. Для расчета стока весь контур оазиса длиной 307,5 км (в границах орошаемой зоны) делится на три зоны (рис. 29):

зона притока подземных вод в оазис, ширина фронта 16,5 км;

зона внутриоазисного транзита, длина контура 64,5 км;

зона оттока, общая длина контура 226,5 км.

Эти региональные пути подземного оттока способствуют естественному регулированию водно-солевого ба-

Таблица 29. **Водно-солевой баланс Бухарского оазиса** (по среднемноголетним данным с 1956 по 1962 г.)

Статьи баланса	Вода, млн. м³	Соли, тыс. т
Приход		
Приток по р. Зеравшан	2469,22	1382,763
Подземный приток через долину Зеравшана и восточную границу оазиса	18,10	11,937
Атмосферные осадки	356,58	—
Итого	2843,90	1394,700
Расход		
Отток по р. Зеравшан	304,16	304,610
Сброс в Махандарью, Куюмазарское и Тудакульское водохранилища	303,03	303,030
Подземный отток по всему контуру оазиса через толщу четвертичных отложений за вычетом контура притока (в пределах границ орошаемой территории оазиса)	81,64	466,931
Отвод по коллекторно-дренажной сети (только за пределы оазиса)	138,58	415,761
Итого	827,86	1480,332
Баланс	+2016,04	—95,732
Баланс за 1958 многоводный год	+2650,09	+140,190
Баланс за 1962 маловодный год	+1497,85	—127,40

ланса оазиса (табл. 29). Однако дренированность была недостаточна при близком залегании грунтовых вод.

Расчетами водного баланса установлено, что из оставшихся в оазисе за среднемноголетний год 2016 млн. м^3 воды (или 63 м^3/с) около 54% (или 34 м^3/с) расходовалось на создание урожая возделываемых культур. Вся остальная вода — 29 м^3/с — бесполезно испарялась. Эту воду следовало бы использовать на покрытие дефицита влаги, сохраняя при этом существующий подземный отток за пределы оазиса, регулирующий водно-солевой баланс.

Помимо динамических запасов (29 м^3/с), есть еще огромные статические запасы подземных вод (8535 млн. м^3) с минерализацией в основном 0,8—2 и реже 2—3 г/л, подсчитанные нами для галечниково-конгломератовой толщи по коэффициенту водоотдачи ее.

Принимая во внимание динамику стока р. Зеравшан за ряд лет и пуск Амубухарского и Амукаракульского каналов с механической подачей воды из Амударьи, можно будет использовать эксплуатационные ресурсы, но они не должны превышать динамические запасы грунтовых вод (29 м^3/с) во избежание резкого понижения уровня грунтовых вод и усиления фильтрационных потерь из реки и каналов.

Еще в 1962 г. было построено около 500 скважин с дебитом 5—120 л/с каждая. Удельный дебит их составил 3,1—13 л/с·м.

При правильном подборе насосно-силового оборудования можно получить дебит не менее 25—80 л/с, а в северо-восточных частях оазиса (Гиждуванский, Шафирканский и Вабкентский районы) до 150—200 л/с из каждой скважины.

Общие закономерности в геологическом строении, фациальных сменах пород, а в связи с этим и в условиях формирования подземных вод позволили районировать рассматриваемую территорию по условиям заложения колодцев вертикального дренажа (типовым литологическим разрезам), по конструкциям и дебитам (табл. 30).

В восьми зонах площадью 198 050 га условия благоприятны для применения вертикального дренажа, а в девятой — для горизонтального (рис. 30).

Так как подземные воды можно каптировать на значительной площади оазиса, рассмотрен вопрос о количестве воды, которую нужно откачивать системой вертикального дренажа, чтобы достигнуть заданный мелиора-

Таблица 30. **Основные параметры вертикального дренажа для Бухарского оазиса** (по Х. А. Кадырову)

Основные параметры	Гидрогеолого-литологические зоны							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность галечниково-конгломератовой толщи, м	<45	40—45	35—40	30—35	25—30	20—25	10—20	0—10
Мощность водоносных горизонтов, м:								
покровного мелкозема	1,6—4,3	2—9	1—5,6	1,5—4,3	6—7,4	6—7,5	6,8—11	5,6—9,7
галечников	1,8—6,0	16,5—22,5	25,5—27	22—24,5	16,5—23,2	19—21	11—13	5,6—9,7
конгломератов	49,9—56	18,5—24	9—10	9—9,3	5,5—8,5	2—4	0—1,5	0
Средневзвешенный коэффициент фильтрации, м/сут	19,5—23	36,3	41	41	38	37,4	28	30,5
Глубина скважин (без отстойника), м	50—62	40—50	28—45	28—40	24—37	28—32	25—30	20—25
Экономически наиболее выгодное понижение, м	5—25	3—16	2—15	2—15	3—15	5—10	5—10	3—7,5
Дебиты скважин, соответствующие экономичным понижениям, л/с	90—200	40—200	25—160	25—140	30—120	35—65	25—55	15—27
Дебит системы скважин (среднегодовой), $м^3/с$	4,44		3,32	3,19	1,62	0,80	3,33	6,65
Число скважин, шт.	40		50	50	30	25	120	340
Валовая площадь, га	35 620		30 730	30 010	15 270	7 510	31 310	47 600
Обслуживаемая площадь скважины, га	890		680	600	510	250	240	115
Минерализация откачиваемых вод, г/л	0,5—1,5		1—1,5	1—2,0	1—2,5	1,5—2,5	1,5—3,0	1,5—3,5

тивный режим при поддержании оптимальной структуры водно-солевого баланса. В основу этого расчета положены следующие требования:

поддерживать уровень грунтовых вод на глубине 2,8—3,3 м, при которой резко сокращаются бесполезные потери их на испарение, причем на данном этапе фильтрационные потери из земляной оросительной сети останутся без изменения;

сохранять существующий среднемноголетний подземный отток, регулирующий солевой баланс оазиса;

каптировать подземные воды в таком количестве, которое обеспечило бы солевой режим почвогрунтов по типу устойчивого равновесия при максимальном использовании откачиваемых вод на орошение.

Необходимое число скважин для отдельных гидрогеолого-литологических зон определялось из расчета обеспечения режима откачек с целью более равномерного понижения уровня грунтовых вод на всей площади данной зоны до глубины, заданной проектируемым мелиоративным режимом; также была учтена возможность повышения водообеспеченности оазиса в перспективе.

По этим проработкам на территории Бухарского оазиса система вертикального дренажа представлена 655 скважинами (табл. 30) с диаметром фильтра 12—16″. Системой за 10 месяцев в году (по режиму откачек) откачивается 744,6 млн. м^3 воды (или 26,07 м^3/с), из которых около 700 млн. м^3 (или 22 м^3/с) пресных (0,8—2 г/л) подземных вод можно использовать на орошение и промывки или на освоение около 70 тыс. га внутриоазисных земель (на территории оазиса имелось около 90 тыс. га свободных земель). Самые тяжелые условия сложились в южной части оазиса, где и были начаты работы по строительству опытно-производственного вертикального дренажа.

Исследования мелиоративной эффективности вертикального дренажа проводились САНИИРИ в Каганском районе Бухарской области УзССР, где в первую очередь был построен вертикальный дренаж (Кадыров и Герасимов, 1973). До 1959 г. мелиоративное состояние земель было крайне неудовлетворительным (табл. 31), урожайность выращиваемого хлопчатника не превышала 8—12 ц/га. Это было обусловлено близким положением минерализованных грунтовых вод (1—1,3 м в апреле и 1,8—2 м в конце вегетации), засоленностью почв, недоста-

Таблица 31. **Водно-солевой баланс** (1955—1956 гг.)

Статьи баланса	Вода, м³/га	Соли, т/га
Приход		
Атмосферные осадки	1120	—
Фильтрация из каналов	3495	3,15
Водоподача	4385	3,95
Подземный приток	488	0,73
Итого	9488	7,83
Расход		
Суммарное испарение	7047	—
Отвод горизонтальным дренажем	378	1,21
Подземный сток	1647	5,27
Итого	9072	6,48
Разность	+416	+1,35

точной дренированностью — протяженность коллекторной сети не превышала 5 м/га. Оросительная земляная сеть имела низкий к. п. д.

Фильтрация из каналов составляла 37% суммы приходных статей. Суммарное испарение (78% суммы расходных статей) значительно превышало отток. Искусственная дренированность была весьма ограниченна — 378 м³/га, или 0,012 л/с·га, что почти в 20 раз меньше проектной величины. Для улучшения мелиоративного состояния земель Каганского района за 1959—1972 гг. были построены и сданы в эксплуатацию 96 скважин вертикального дренажа. Анализы материалов исследований за 1960—1962 и 1969—1972 гг. показали улучшение мелиоративного состояния и изменение структуры водного и солевого балансов на ключевом участке площадью 524 га на территории совхоза «Бухара» и колхоза «Коммунизм» (табл. 32).

Исследования показали, что по сравнению с 1955—1956 гг. подача воды после пуска Амубухарского канала увеличилась почти в 2 раза при одновременном сокращении потерь на фильтрацию с 3495 до 1590 м³/га за счет реконструкции оросительной сети. Резко возросла и искусственная дренированность земель в результате стро-

Таблица 32. **Водно-солевой баланс активной толщи водообмена**

Статьи баланса	Вода, м³/га		Соли, т/га	
	1969—1970 гг.	1970—1971 гг.	1969—1970 гг.	1970—1971 гг.
Приход				
Атмосферные осадки	1 226	1 328	—	—
Фильтрация из каналов	1 588	1 665	7,368	6,292
Водоподача	9 366	8 295		
Подземный приток	2 561	3 307	6,397	5,711
Итого	14 714	14 595	13,765	12,003
Расход				
Суммарное испарение	7 637	8 049	—	—
Отток по вертикальному и горизонтальному дренажу	6 085	5 237	18,082	14,554
Подземный отток	2 604	1 421	4,984	5,081
Итого	16 326	14 779	23,066	19,635
Разность	—1 612	—184	—9,301	—7,632

ительства скважин вертикального дренажа при несущественном изменении протяженности коллекторно-дренажной сети, составившей на 1970 г. 7 м/га. Суммарный отток по вертикальному и горизонтальному дренажу составил 6085 и 5237 м³/га соответственно за 1969—1970 и 1970—1971 гидрологические годы, что в 15 раз больше, чем до строительства вертикального дренажа.

Высокую мелиоративную эффективность системы скважин подтверждает и то, что за 1969—1970 и 1970—1971 гг. общим дренажным стоком вынесено солей соответственно 18,08 и 14,55 т/га, из них 5 т приходится на КДС. С учетом подземного стока вынос солей составляет 23,1—19,6 т/га.

По рекомендованному САНИИРИ режиму откачек система скважин работает 210 дней. Она включается в работу с 8 декабря по 26 марта. Далее, с целью создания максимально благоприятных для начала предпосевной обработки и посевной кампании условий, а также сохранения влаги в первый период роста и развития хлопчатника, система на два месяца выключается. Этот период

используется для проведения ремонтов различных категорий.

В вегетационный период ведется прерывистая откачка продолжительностью по 15—20 дней в каждом месяце. В конце вегетации откачку осуществляют 26 дней, чтобы обеспечить условия для скорейшего созревания хлопчатника. Затем наступает перерыв в работе системы до 8 декабря, который используется для капитальных и текущих ремонтов. В многоводные годы продолжительность откачки увеличивают до 230—235 дней, в маловодные — в период вегетации скважины выключают на 10 дней в июле, а в декабре их включают на 5—10 дней позже.

Уровень грунтовых вод во время промывок с декабря по март поддерживается на глубине 3,3—2,35 м, в апреле — мае, в предпосевную и посевную кампании, — на глубине 1,8—2 м. С июня по декабрь грунтовые воды поддерживаются на глубине 2,3—3,3 м.

Натурные исследования содержания солей в почвогрунтах, грунтовых водах и их динамики на фоне вертикального дренажа показали следующее:

характер распределения солей по профилю поверхностный; в слое 0—0,2 и 0—1 м содержание солей в исходном состоянии превышало допустимую норму (соответственно 8 и 40 т/га). В дальнейшем оно колебалось от 8—29 до 32—70 т/га, что составляло соответственно 12—31 и 35—65% общих запасов солей в 3-метровой толще почвогрунтов. Минимальное содержание солей в этих горизонтах наблюдалось спустя 5—7 дней после промывок и спустя 4—5 дней (реже 7—10) после каждого влагозарядкового и вегетационного поливов; такое содержание соответствует допустимому пределу;

на орошаемых землях процесс движения солей более динамичен, чем на неорошаемых; в последних общее содержание солей в 2—5 раз больше;

минерализация грунтовых вод на интенсивно орошаемых землях составила 1,2—3 г/л; на подверженных засолению — 3,5—7 г/л; на солончаках — 5—10 г/л и более; минерализация подземных вод в галечниках колеблется от 0,8—1,2 до 2,5—3,0 г/л и реже от 3 до 5 г/л;

минерализация откачиваемых вод увеличилась в 2,4 раза на землях, где после пуска скважин она была равна 0,8—3,6 г/л, и, наоборот, уменьшилась в 1,3—1,8 раза на землях, где в первый момент откачивались сильноминерализованные воды (7—10 г/л и более);

вынос солей из активной толщи дренажными системами в 1970 г. составил 18 т/га, а с учетом подземного оттока — 23 т/га; в 1971 г. соответственно 14,6 и 19,6 т/га;

площади незасоленных и слабозасоленных земель постоянно увеличиваются. Так, к 1971 г. они возросли в 3 раза при одновременном уменьшении среднезасоленных земель в 10 раз по отношению к 1960 г., когда не было скважин вертикального дренажа. Все это способствовало улучшению качества земель и росту урожайности сельскохозяйственных культур.

Урожайность хлопчатника во всех районах Бухарского оазиса, в том числе и в Каганском, поднялась на 1,9—2,7 ц/га, но на землях, где был построен и эксплуатировался вертикальный дренаж, приросты урожайности были значительно выше. Так, если средняя урожайность хлопчатника в совхозе «Каган» за 1959—1965 гг. составляла 12,9 ц/га, то за 1966—1971 гг. она поднялась до 18,5 ц/га; прирост урожайности достиг 5,6 ц/га. В колхозе «Коммунизм», где агротехника была на более высоком уровне, урожайность за эти же периоды составляла соответственно 13,7 и 21,1 ц/га. В отдельных районах, где работают скважины вертикального дренажа, урожайность достигла 27,4 ц/га.

Перспективы развития вертикального дренажа на орошаемых землях Бухарской области показаны в таблице 33.

Таблица 33. **Перспективы развития вертикального дренажа в Бухарской области** (по данным Узгипроводхоза)

Оазисы	Площадь, тыс. га	Число скважин	Стоимость, млн. руб.
Бухарский:			
правобережный	108,0	124	9,5
левобережный	66,6	311	20,2
Итого	174,6	435	29,7

На 1 января 1977 г. построено 232 скважины, из которых в соответствии с режимом откачки в постоянной эксплуатации находится 188 скважин.

Дальнейший комплекс мероприятий по повышению водообеспеченности в оазисе и по увеличению дренирован-

ности вместе с агротехническими и организационными мерами позволил довести урожайность в среднем по оазису до 30 ц/га, а валовые сборы хлопка-сырца до 510 тыс. т в 1976 г. против 314 тыс. т в 1965 г.

ЗЕМЛИ НОВОГО ОРОШЕНИЯ

Вертикальный дренаж в новой зоне орошения Голодной степи. Первые скважины вертикального дренажа строились на предгорной равнине в зоне развития систематического горизонтального дренажа. Цель их — снять напорное питание грунтовых вод, значительно увеличенное фильтрационными потерями из Южного Голодностепского канала, его веток ТМ-1 и ТМ-2 и развитием орошения на вышерасположенных землях Таджикской ССР. Скважины построены рядами или локальными группами, вскрывают пестрые отложения подгорной равнины, имеют дебиты от нескольких единиц и десятков литров в секунду (юго-западный массив) до сотни литров в секунду (Форхадский массив) и успешно выполняют свою задачу (рис. 25).

Площадь систематического вертикального дренажа на Центральном массиве составляет 39 тыс. га.

К началу 1974 г. на площади 22,15 тыс. га работало 284 скважины вертикального дренажа; из них 84 скважины располагались на опытно-производственных участках в совхозах № 17 и № 19 (табл. 34), а также в поселках, 200 скважин — равномерно на полях, засеваемых хлопчатником (площадь обслуживания 80—100 га).

Эта часть Голодной степи до орошения имела с поверхности незасоленные почвы, представленные светлыми сероземами. Однако зона аэрации содержала значительные аккумуляции солей, и при подъеме уровня грунтовых вод при орошении земли быстро засолились.

На опытно-производственном участке совхоза № 17 площадью 551,9 га построено 8 скважин вертикального дренажа (две глубиной по 50 м и шесть по 100 м) с междренным расстоянием 800—1000 м. Опытная откачка начата с 1965 г.; из-за технических неполадок в первые годы работали отдельные скважины, с 1967 г. в работу включилась вся система (табл. 35).

При откачке из скважин с фильтрами, установленными в первом от поверхности водоносном горизонте (глубиной 50 м), минерализация откачиваемых вод изменя-

Таблица 34. **Параметры систем вертикального дренажа на опытных участках совхозов № 17 и № 19** (по Н. И. Калюжной)

Показатели	Совхоз № 17	Совхоз № 19
Коэффициент фильтрации покровных отложений, м/сут	0,046	0,1
Гравитационная водоотдача покровных отложений	0,08	0,06
Параметр перетекания, м	258	200
Коэффициент фильтрации первого водопроводящего слоя, м/сут	6,5	10
Проводимость первого водопроводящего слоя, м²/сут	136	155
Упругая водоотдача первого водопроводящего слоя	$1{,}09 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент фильтрации разделяющего слоя, м/сут	0,005	—
Коэффициент фильтрации второго водопроводящего слоя, м/сут	10	—
Упругая водоотдача второго слоя	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	—
Пьезопроводность второго слоя, м²/сут	$1 \cdot 10^{5}$	—
Инфильтрационное питание, м³/сут на 1 м²:		
среднегодовое по балансу	0,0017	—
по приращению уровня	0,0019	—
фактическое средневегетационное	0,00495	0,0032
Эксплуатационный дебит скважин в первом водопроводящем горизонте, л/с	17—30	25—60
Понижение уровня в скважине, м	17—20	25
Шаг скважин, м	800—900	1000
Площадь обслуживания, га	100	100
Эксплуатационный дебит скважин в двух водопроводящих слоях, л/с	30—40	—
Понижение уровня в скважине, м	20—25	—
Шаг скважин, м	1200—1400	—
Площадь обслуживания, га	150—180	—

Таблица 35. **Динамика площадей (га) с различным залеганием грунтовых вод на фоне вертикального дренажа**

Месяц, год	Глубина залегания уровня грунтовых вод, м			
	0—1	1—2	2—3	3—5
Август, 1965	9,4	250,8	258,0	38,6
Август, 1966	1,9	163,1	321,9	65,0
Август, 1969	—	42,3	219,1	290,5
Август, 1970	—	38,5	163,2	350,2

Рис. 31. Схема вертикального дренажа на Краснознаменской оросительной системе (по данным Укргипроводхоза):
1 — скважина вертикального дренажа.

лась от 16 до 20 г/л, а в скважинах с фильтрами в двух водоносных горизонтах (глубиной 100 м) — от 5—7 до 12 г/л. За 6 лет эксплуатации минерализация грунтовых вод уменьшилась на 12—45%, а в водоносном пласте увеличилась на 2 г/л. Почвы на опытном участке практически полностью рассолились.

Внедрение систематического вертикального дренажа улучшило мелиоративную обстановку и увеличило урожайность хлопка. Например, в совхозе № 18 она поднялась с 21,9 ц/га в 1971 г. до 28,6 ц/га в 1973 г.

Краснознаменская оросительная система. Расположена в степной зоне юга Украины. На севере границей является Краснознаменский магистральный канал, на юге и западе — побережье Черного моря, на востоке — Северо-Крымский канал. Площадь орошаемых земель 42,2 тыс. га (рис. 31).

Климат района континентальный: лето жаркое и продолжительное с частыми суховеями и засухами, зима малоснежная. Рельеф Нижне-Днепровской террасо-дельтовой равнины, в пределах которой расположена система, местами нарушен мезоформами — песчаными холмами и подами. Поверхность имеет небольшой уклон в сторону Днепра и Черного моря. Абсолютные отметки изменяются

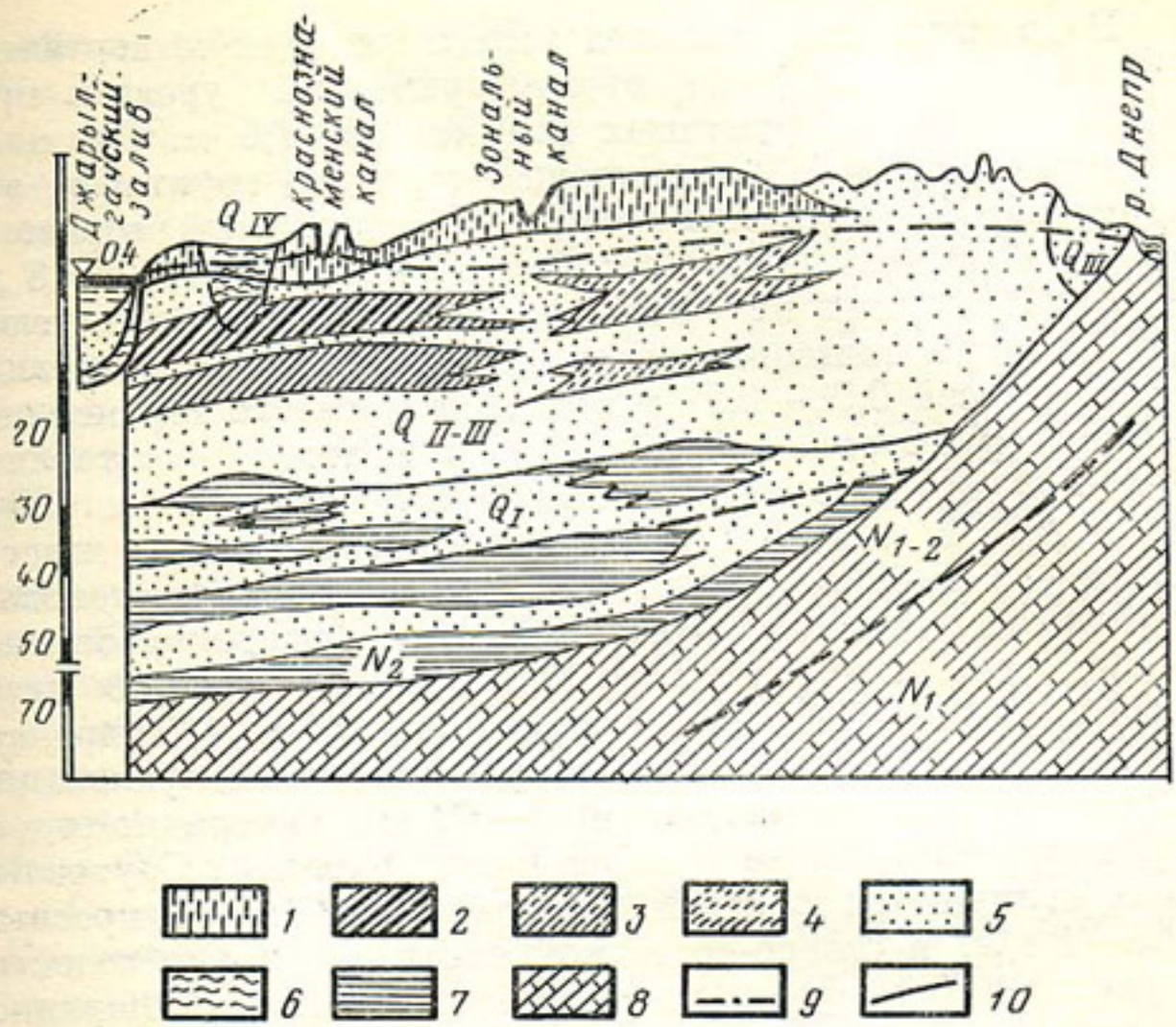


Рис. 32. Схематический геолого-гидрогеологический разрез:
1 — легкий лессовидный суглинок; 2 — средний суглинок; 3 — легкий суглинок; 4 — супесь; 5 — песок; 6 — илистый грунт; 7 — глина; 8 — известняк; 9 — уровень грунтовых вод; 10 — граница литологических горизонтов.

от 10—15 м в центральной части до 0 на побережье Черного моря.

Геологическое строение территории представлено осадочными породами мощностью до 3000 м, залегающими на докембрийском кристаллическом фундаменте. С мелиоративных позиций интерес представляет верхняя часть разреза до кровли нижнесарматских глин, залегающих на глубине 200—400 м. Неогеновые отложения мощностью 150—200 м представлены известняками с прослоями глин и мергелей. Пьезометрический уровень водоносного горизонта повсеместно расположен ниже уровня грунтовых вод. На известняках неогена залегают плиоценовые глины мощностью 20—30 м, которая уменьшается к северу. Выше по разрезу повсеместно развиты плиоцен-четвертичные песчано-глинистые отложения, с поверхности перекрытые лессовидными породами (рис. 32).

Подземные воды нижней толщи плиоцен-четвертичного комплекса напорные, пьезометрический уровень превышает уровень грунтовых вод на 0,5—1,5 м. Глины и тяжелые суглинки, разделяющие горизонт грунтовых вод и первый от поверхности напорный водоносный горизонт, имеют мощность 1—10 м и залегают на глубине от 8 до 20 м. Коэффициент фильтрации киммерийских глин 0,0005 м/сут, плиоценовых песков 10—15 м/сут, суглинков и супесей 0,08—0,87 м/сут. Проводимость верхнеплиоцен-четвертичного водоносного комплекса составляет 100—200 м²/сут в юго-восточной части массива и 600—800 м²/сут в западной части приморской зоны, а известняков — 500—4000 м²/сут. Подземные воды неогеновых отложений пресные (0,1—0,5 г/л), гидрокарбонатно-кальциевые. Напорные воды плиоцен-четвертичных отложений на большей части территории пресные, гидрокарбонатные; в юго-западном направлении минерализация постепенно увеличивается до 5—60 г/л (хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые и хлоридно-натриевые). Грунтовые воды отличаются пестрой минерализацией: от пресных (0,5—1 г/л) в северо-восточной части до сильно соленых и рассолов (сульфатно-хлоридно-натриевого и хлоридно-натриевого состава) в юго-западной части. Глубина залегания уровня грунтовых вод в естественных условиях составляла от 2,5 до 12 м, в приморской зоне шириной 2—3 км она изменялась от 0,5 до 2,5 м. Годовая амплитуда колебаний 0,2—0,7 м.

Почвенный покров представлен черноземами и темно-каштановыми почвами; при близком положении высокоминерализованных грунтовых вод сформировались полугидроморфные и гидроморфные засоленные почвы.

Регулярное орошение на Краснознаменской оросительной системе началось в 1956 г., после строительства Каховского водохранилища, Северо-Крымского и Краснознаменского магистральных каналов. В эксплуатацию система площадью 42,2 тыс. га была введена в 1963 г. Магистральный канал и оросительная сеть построены в земляном русле (супеси и легкие суглинки) без противофильтрационных мероприятий, к. п. д. каналов 0,43—0,62.

Несовершенная оросительная сеть и сравнительно высокие значения коэффициентов фильтрации покровных отложений способствовали интенсивному подъему уровня грунтовых вод, развитию процессов заболачивания, засо-

ления с резким падением плодородия почв и подтоплению земель и территорий населенных пунктов, оплыванию и разрушению откосов и дна каналов. В 1970 г. площадь подтопленных земель с глубиной залегания уровня грунтовых вод до 1 м достигла 44,7 тыс. га.

В состав первоочередных мероприятий вошли:

строительство коллекторно-дренажной сети на площади 7 тыс. га и горизонтального дренажа на площади 4 тыс. га;

переход с поверхностного способа полива на дождевание (ДДА-100М, ДДН-45);

строительство закрытых оросительных систем в трубах на площади 1,5 тыс. га;

строительство вертикального дренажа для защиты от подтопления отдельных населенных пунктов.

Однако эти мероприятия не смогли замедлить процесс подъема уровня грунтовых вод, деформацию откосов и постоянное заиливание дна коллекторов и дрен. Нужны были более действенные меры.

Строительство вертикального дренажа на территории Краснознаменской системы начато в 1967 г. Первые скважины предназначались для защиты населенных пунктов от подтопления. Вертикальный дренаж, построенный в 1969 г. для защиты от подтопления г. Скадовска, оказался весьма эффективным. Четыре скважины за 6 месяцев создали оптимальные мелиоративные условия. Капитальные затраты по сравнению с горизонтальным дренажем сократились в 2,5 раза.

На основе этого опыта было начато строительство линейного (вдоль Краснознаменского канала) и систематического вертикального дренажа по системе в целом, при этом реконструкция и техническое совершенствование оросительной сети были отложены на II очередь.

Система вертикального дренажа предназначалась для сработки инфильтрационных потерь из оросительной сети (150,5 млн. м^3), магистрального канала (113 млн. м^3) и с земель существующего орошения. С вводом в действие вертикального дренажа потери на фильтрацию, по данным Укргипроводхоза, увеличиваются в 1,5—2 раза. Нагрузка на вертикальный дренаж после строительства всей системы составила 249 млн. м^3/год.

В начале 1976 г. система вертикального дренажа (253 скважины) действовала на площади более 60 тыс. га и защищала от подтопления 21 населенный пункт.

Рис. 33. Типовая конструкция скважины вертикального дренажа:

1 — здание управления станции; 2 — напорный трубопровод; 3 — кондуктор (d=1020 мм); 4 — водоподъемная колонна (d=207 мм); 5 — фильтровая колонна (d=352 мм); 6 — насос; 7 — электродвигатель; 8 — фильтр (d=385 мм); размеры в м.

Типовая конструкция скважины вертикального дренажа и ее оборудование для условий Краснознаменской оросительной системы показаны на рисунке 33. Дебиты скважин 15—80 л/с. Радиусы влияния от 300—400 до 1000 м.

Согласно водно-балансовым расчетам, из общего количества откачиваемой воды (249 млн. м^3) для орошения намечено использовать 80 млн. м^3. Это позволит повысить эффективность вертикального дренажа. Рациональный сброс дренажных вод повышенной минерализации — один из важных вопросов охраны приморской курортной зоны.

Вертикальный дренаж на Краснознаменской оросительной системе позволил снизить уровень грунтовых вод до необходимой глубины, способствовал рассолению почвогрунтов и снижению минерализации верхнего слоя грунтовых вод (рис. 34). Содержание солей в верхнем метровом слое уменьшилось до 0,045%, солевые аккумуляции сместились на глубину 2,5—3,5 м.

Всего на массиве к 1977 г. построено 473 скважины, из них 336 скважин в приморской зоне. Продолжительность работы скважин вертикального дренажа изменяется от 60 до 300 суток. Площадь дренирования одной скважины составляет от 70—80 до 250—400 га. При хорошей взаимосвязи грунтовых вод с нижележащими дренажный эффект наблюдается в первые месяцы работы, при затрудненной взаимосвязи — после двух-трех лет стабильной работы дренажа.

В первом случае, то есть при хорошей связи грунтовых вод с подстилающим горизонтом песков, из которых

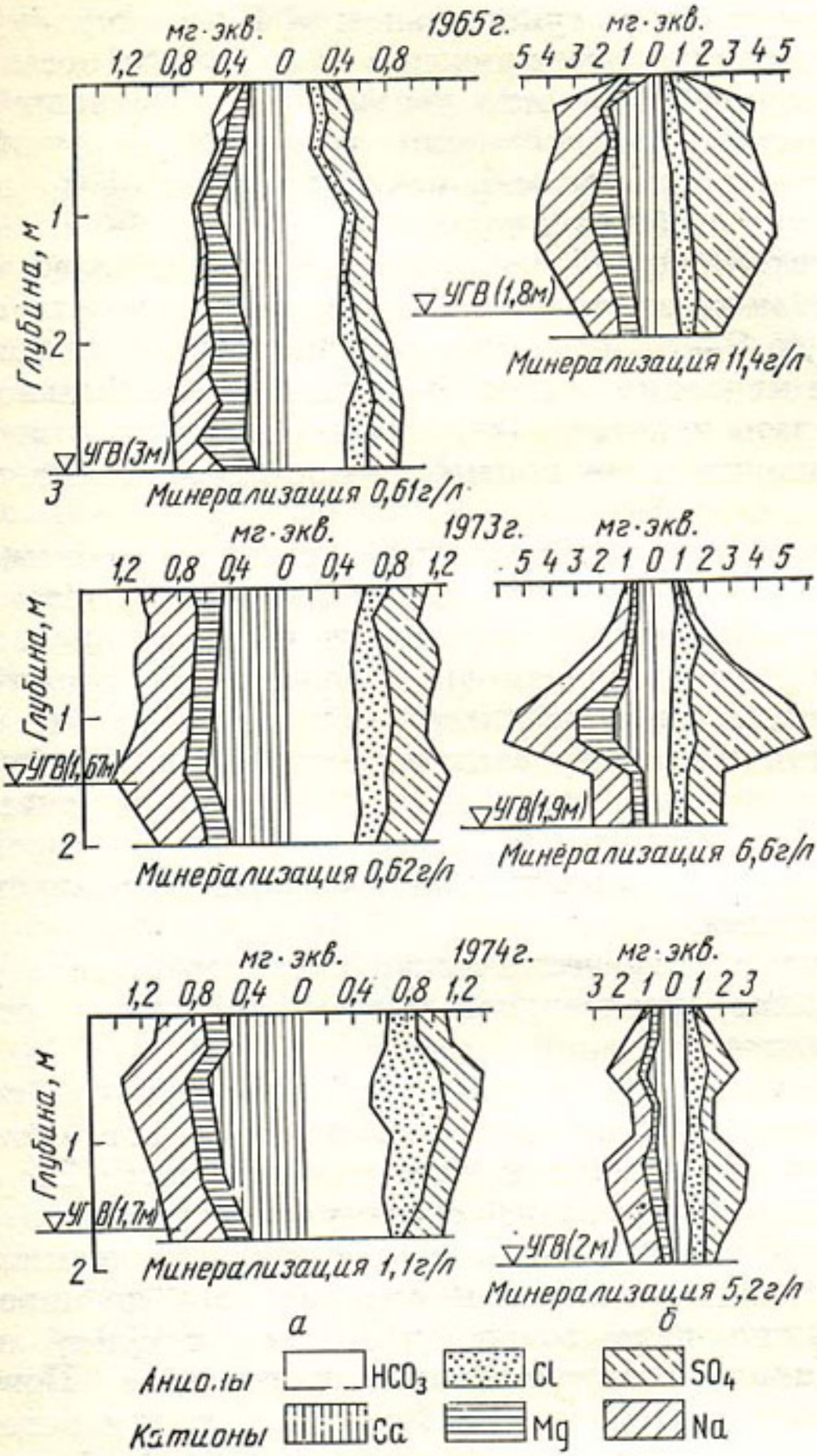


Рис. 34. Динамика засоления почв и грунтовых вод:

а — солевой стационар № 17, совхоз «Коминтерн», орошаемый участок без дренажа; *б* — солевой стационар № 37, совхоз «Солнечный», орошаемый участок с вертикальным дренажем.

ведется откачка, особенно при маломощном и хорошо проницаемом покровном слое, отмечается значительная неравномерность в осушительном эффекте по радиусу действия скважины. Это приводит к подсушке посевов близ скважины, необходимости увеличения поливных норм и числа поливов для получения нормального урожая, что вызывает перепромытость почвенно-грунтового профиля и появление свободной соды.

Во втором случае, когда разрез сложен более мощным покровом мелкоземов, имеющих в основании пласт глины мощностью 5—10 м, мелиоративный эффект дренажа проявляется медленно (через 2—3 года его стабильной работы), но зато действие дренажа значительно равномернее по территории и не вызывает указанных выше нежелательных явлений.

Большое число скважин вертикального дренажа и напряженный ритм его работы обусловлены существенными инфильтрационными потерями из канала, оросительной сети и с орошаемых земель. Интенсивный водоотбор может привести на отдельных участках системы к перепромытости почв (образование соды и повышение pH до 8—10 в почвенном растворе), интрузии морских вод и усилению гидравлической связи с нижним водоносным горизонтом, который в настоящее время используется для водоснабжения.

В связи с этим техническая реконструкция и усовершенствование оросительной системы должны осуществляться одновременно.

В условиях Краснознаменской оросительной системы такая реконструкция значительно сократит потери из магистрального канала и оросительной сети. Это позволит снизить нагрузку на систему вертикального дренажа, сделать ее более управляемой и свести до минимума нежелательные последствия интенсивного дренирования. Одновременно надо совершенствовать технику полива.

Применение вертикального дренажа в Поволжье. В геологическом отношении Поволжье, занимающее значительную часть восточной половины Русской платформы, характеризуется наличием обособленных двух этажей: нижнего — кристаллического фундамента, сложенного сильно дислоцированными, метаморфическими изверженными породами, и верхнего, залегающего на размытой поверхности нижнего и представленного осадочными породами. Мощность осадочной толщи от 250—300 м

в северо-западных районах Поволжья до 10 000—12 000 м в Прикаспии.

Тектоническая активность зоны Поволжья наблюдалась на протяжении всей истории формирования ее осадков. Существенное влияние на гидрогеологические условия оказали региональные поднятия в неогене и четвертичном периоде. Амплитуда поднятий достигает 300—500 м в районе Ульяновско-Саратовских поднятий и 100 м в северной части Прикаспия. Эти поднятия вызвали углубление речных долин, увеличение дренированности водоразделов и террас и снижение уровня грунтовых вод до современного его положения, определив автоморфный рассолительный режим почвообразования на большей части территории Поволжья. Кроме того, эти поднятия, нарушив целостность кровли, улучшили связь верхних безнапорных вод с глубокими напорными водоносными горизонтами (Пугачевский вал, Приволжская гряда, Окско-Цнинская равнина и др.). В связи с разведками и эксплуатационным бурением на нефть и газ водоносные горизонты в Поволжье разведаны на всю толщу осадочных отложений. Они начинаются в областях их питания и продолжаются в осадочной толще, иногда на значительных глубинах, охватывая большую территорию.

Верхние безнапорные горизонты подземных вод слабоминерализованы и широко используются для водоснабжения. Они приурочены к четвертичным, третичным, мезозойским и верхнепермским отложениям, весьма распространенным в Поволжье. Эти воды оказывают существенное влияние на все водоносные горизонты осадочной толщи. Орошение также будет влиять на режимы верхних безнапорных горизонтов, распространяясь на значительную глубину, в толщу напорных высокоминерализованных вод.

Под верхними безнапорными водами в схеме можно выделить два крупных яруса глубинных напорных вод.

Для всей территории Поволжья установлены характерные для Русской платформы закономерности в формировании вертикальной гидрогеохимической и гидрогеодинамической зональности. Можно выделить пять вертикальных гидрогеохимических зон с особыми сложившимися гидродинамическими режимами для разных участков Поволжья.

С мелиоративной точки зрения важно подчеркнуть наличие на всей северной половине территории зоны со-

довых подземных вод, залегающих под гидрокарбонатными. Формирование этих вод связано со щелочными породами в слоях песчаников в толщах татарского яруса, белебеевской свиты и уфимского яруса. Под содовыми, часто в слоях обломочных пород, развиты сульфатно-натриевые воды. Для всего Поволжья (и Русской платформы в целом) характерно нарастание минерализации с глубиной до рассолов. Особенно быстро минерализация нарастает в северных районах, что связано также с литологическим составом пермских отложений. В Нижнем Поволжье, особенно в Прикаспии, зона гидрокарбонатных пресных вод практически отсутствует и вся толща с поверхности засолена.

Наибольшее место в разрезе занимает самая нижняя зона хлоридно-натриевых вод и рассолов. Эта зона распространена на всей территории Поволжья и особенно мощное развитие имеет в восточных районах. Минерализация подземных вод этой зоны изменяется в широких пределах — от 1—5 до 300 г/л. Для этой зоны характерны наибольшие напоры.

В Прикаспийской синиклизе, в мощных пермских отложениях слои чистой поваренной соли достигают 1000 м,

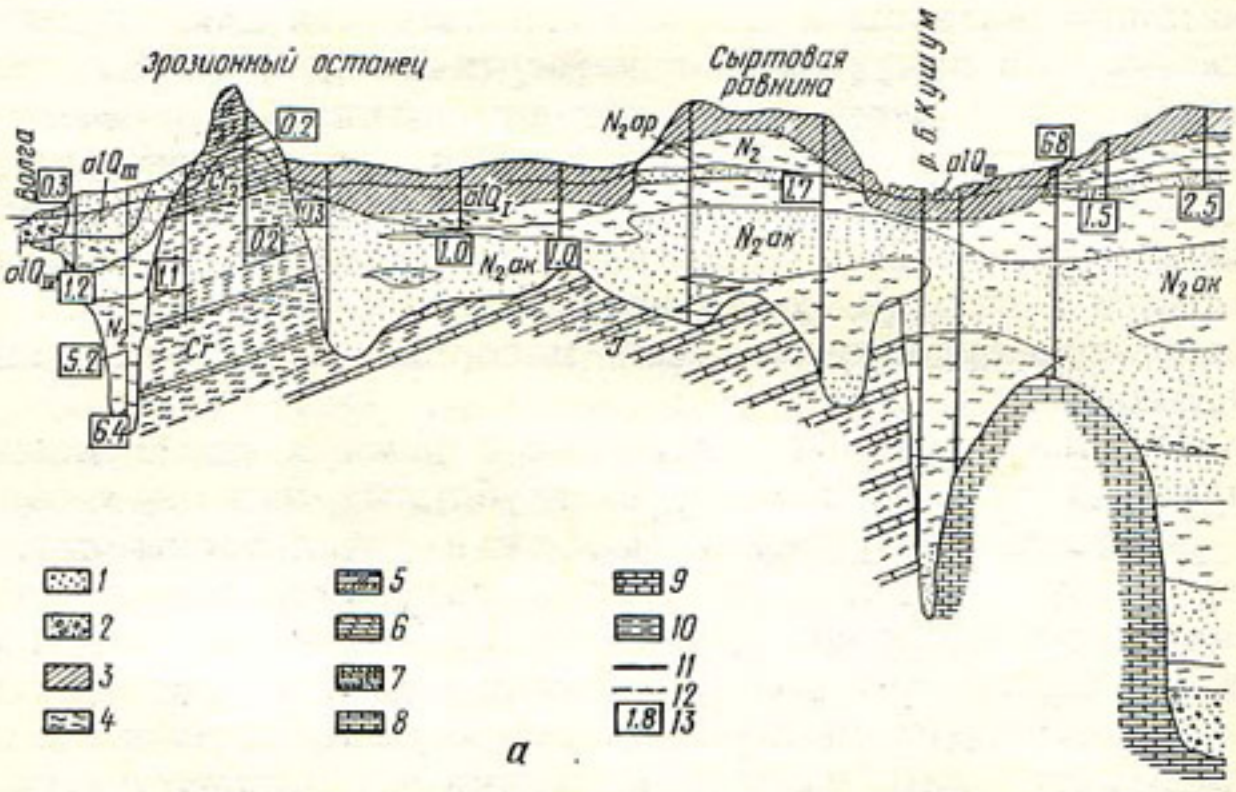
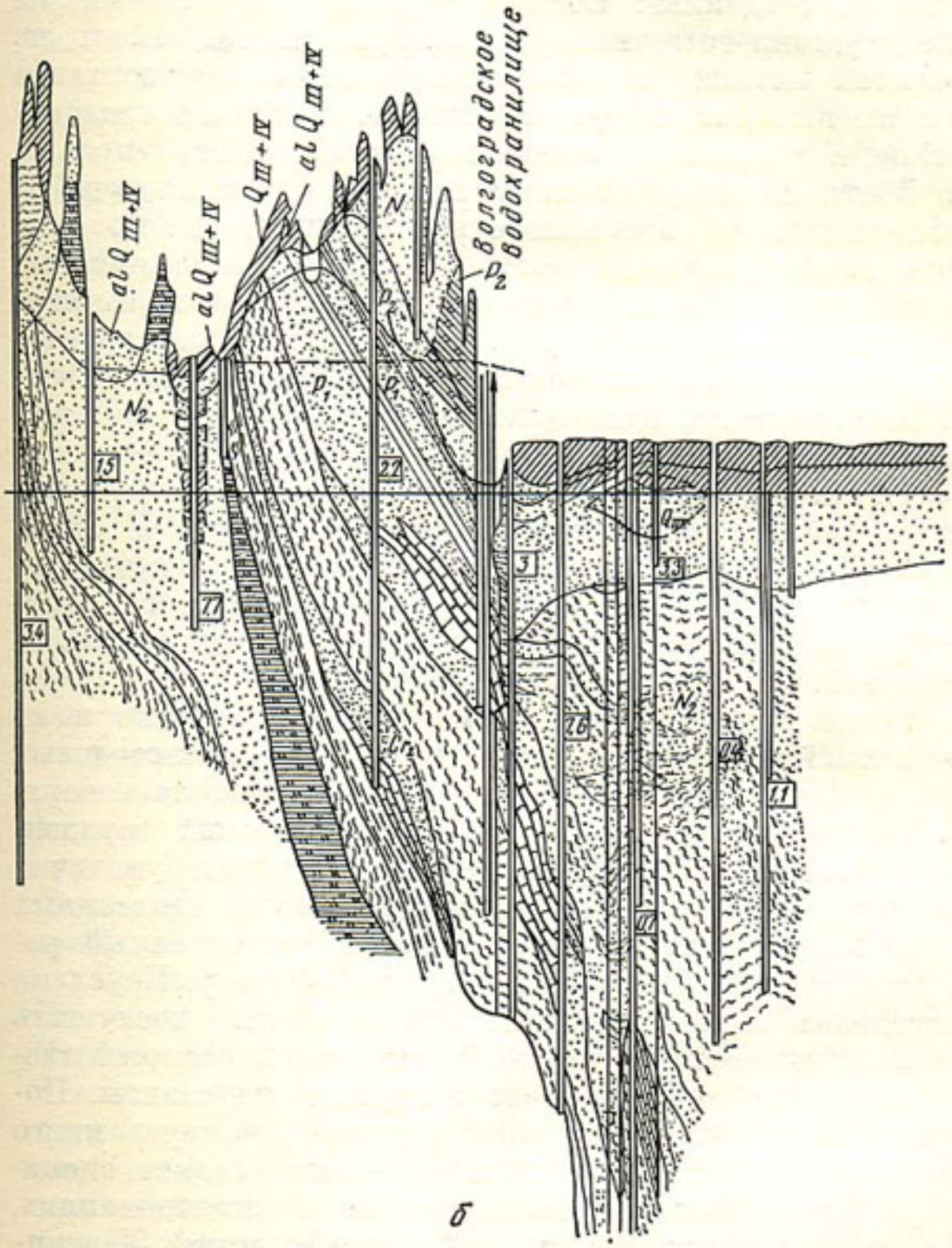


Рис. 35. Схематические геолого-гидрогеологические

а — Левобережье Волги, Низкая Сыртовая равнина (по Б. И. Кости
1 — пески; 2 — пески с галькой; 3 — суглинки; 4 — глины; 5 — опоки;
ки; 11 — уровень грунтовых вод; 12 — пьезометрический

что привело к соляной дислокации с образованием соляных куполов и озер.

Строительство каскада волжских ГЭС и связанных с ними водохранилищ, подтопивших не только первую террасу и пойму Волги, но и территорию по ее притокам, нарушило естественные гидрогеологические режимы. Так, выше г. Волгограда до строительства водохранилища



разрезы Нижнего Поволжья:

ну); *б* — строение долины Волги (по данным Волгогипроводхоза); *6* — мергели; *7* — мел; *8* — песчаники; *9* — алевриты; *10* — известня- уровень; *13* — минерализация воды (г/л).

Волга дренировала левый берег—Приволжскую песчаную гряду с наиболее благополучными в мелиоративном отношении землями. Сейчас образовался обратный уклон от водохранилища в глубь песчаной гряды. Подпор медленно распространяется в сторону Прикаспийской низменности. Орошение же на этих землях значительно ускорит подъем и выровнит уровень грунтовых вод.

Подпор, созданный Волжскими водохранилищами, не только ухудшил естественную дренированность земель, но и увеличил питание глубинных водоносных горизонтов в местах их выходов, нарушив естественные гидрогеодинамические и гидрогеохимические режимы. Весь правый берег Волги изобилует такими выходами, а сама река во многих местах на больших отрезках проходит по зоне тектонических разломов (рис. 35). Увеличение питания глубоких горизонтов вызовет повышение напоров высокоминерализованных вод и участие их в питании грунтовых вод в пониженных местах рельефа. Практика средней Азии показала, насколько усложняются условия мелиорации земель с напорным питанием грунтовых вод, несмотря на то, что там подпитывание происходит, как правило, за счет пресных артезианских вод. Поэтому одна из важнейших задач гидрогеологических исследований — установление количественных показателей нарушения указанного режима и возможных мелиоративных последствий.

Развитие орошения на Окско-Донской равнине и на Приволжской возвышенности, а также в районах сводовых структур (Пугачевский свод и др.) и выхода на поверхность водоносных горизонтов (выходы юрских горизонтов в районе Большого Иргиза) значительно увеличит питание глубинных сильноминерализованных подземных вод. Это может серьезно нарушить их естественный режим, сказаться на Волжских террасах ниже р. Еруслана и в пределах Прикаспийской низменности, послужить толчком к оживлению соляной тектоники и способствовать выпиранию солевых масс в верхние горизонты. Последствия этих процессов могут проявиться через много лет, но масштабы явлений таковы, что их следует оценивать при предстоящем проектировании и исследованиях.

По схеме развития орошения, разработанной Ленгипроводхозом, ирригационный фонд земель в Поволжье составляет 8,2 млн. га (нетто), из них около 85% земель имеют недостаточную естественную дренированность.

При развитии орошения в Заволжье дренаж необходим почти повсеместно. На аллювиальных террасах естественная дренированность обеспечивает развитие орошения только на узкой полосе (1—1,5 км), прилегающей к обрыву террасы вдоль Волги. Земли первой очереди орошения (террасы Волги) по гидрогеологическим условиям благоприятны для строительства вертикального дренажа. Пресные воды, откачиваемые скважинами вертикального дренажа, могут использоваться в смеси с поверхностной для орошения.

Вертикальный дренаж органично вписывается в новые, технически совершенные системы с закрытой распределительной сетью. Полив ведется широкозахватными машинами «Фрегат», «Волжанка», «Днепр» и др. Для обеспечения требуемых напоров в оросительной сети ставят специальные подкачечные станции. Скважины вертикального дренажа можно строить рядом с подкачечной насосной станцией, а откачиваемую воду подавать непосредственно в сеть. Если на самотечных оросительных системах Средней Азии стоимость вертикального дренажа увеличивается за счет стоимости подводки электроэнергии, подъездных путей, телефонных линий и других коммуникаций (стоимость каждой скважины 60—120 тыс. руб.), то на системах, строящихся в Поволжье, вертикальный дренаж подключается к уже готовой сети (электрической, трубопроводной и др.), что понижает его стоимость в 3—4 раза (гл. 11).

Вопрос о том, когда строить дренаж, может быть решен только после рассмотрения проблем сохранения плодородия почв и рационального использования водных ресурсов (поверхностных и подземных). Вопросы сохранения плодородия почв автоморфного ряда рассмотрены выше. Не менее остро стоит проблема водных ресурсов.

Волга ежегодно пополняет Каспийское море (250 км^3). Из этого стока на долю подземных вод приходилось 65 км^3, или четвертая часть. Меженный сток реки полностью формировался за счет подземных вод. После строительства плотин и системы водохранилищ дренирующая роль реки сократилась, и это сказалось на ее стоке, а вместе с тем и на уровне воды в Каспийском море (в последние 30 лет систематически снижается). По предварительным расчетам, общее снижение стока реки в результате уменьшения стока подземных вод после строительства плотин и водохранилищ достигает 6—10 км^3/год. Эта вода

рассеивается в прибрежных террасовых землях, поднимает уровень грунтовых вод, увеличивает внутригрунтовое испарение, выклинивается по понижениям, заболачивает и засоляет земли, перетекает в глубокие горизонты подземных вод.

Только по левобережью на площади 1,9 млн. га земель первой очереди орошения такой воды теряется в настоящее время до 1—2 км^3/год, которую следует возвратить для использования.

Вертикальный дренаж, вернее система оросительно-дренажных скважин, подключенная в оросительную сеть, позволит направить на орошение терявшуюся часть подземного стока. Кроме того, вертикальный дренаж должен снять фильтрационные потери, которые в небольших количествах, но будут на системе, и избытки воды в связи с перестройкой в водном балансе зоны аэрации. В этом случае дренажный модуль вертикального дренажа составит 0,08—0,1 л/с·га. С учетом площади этих земель (1,9 млн. га) суммарный расход извлекаемых для орошения подземных вод составит 150—190 м^3/с (в вегетационный период). При сложившемся напряженном водном балансе в бассейне Волги это существенная добавка к поверхностной оросительной воде.

Конструкции оросительно-дренажных скважин для литологических разрезов террасовых земель разработаны и опробованы длительной эксплуатацией в Голодной степи и в других районах. Это буровые колодцы большого диаметра (1000 мм и более) с обсыпным гравийно-песчаным фильтром. Дебит таких скважин колеблется от 30 до 100 л/с. В соответствии с этим скважины смогут обслуживать от 300 до 1000 га орошаемых земель. Возможно, будет целесообразно принять единую типовую конструкцию оросительно-дренажной скважины, например с насосной установкой 50 л/с, как это сделано в долине р. Ганг в штате Утар-Прадеш (Индия). Тогда на землях первой очереди орошения потребуется 3800 скважин, или одна скважина на 500 га.

При работе системы оросительно-дренажных скважин уровень грунтовых вод будет иметь неровную поверхность, с буграми между отдельными скважинами. В зимний период, когда скважины не работают, поверхность грунтовых вод будет выравниваться. Общий солевой баланс регулируется стоком подземных вод, сохраняющимся не ниже современного уровня.

Строительство и эксплуатация оросительно-дренажных скважин могут быть начаты раньше полного развития поверхностного орошения или одновременно с ним. На оросительно-дренажных скважинах, действующих самостоятельно, организуются опытно-производственные участки орошаемого земледелия, например на Каховской системе юга Украины. В Волгоградском Заволжье такой опытно-производственный участок построен в совхозе «Степной» на Большой Волгоградской системе.

Сыртовое Заволжье — это сложно построенная по рельефным и гидрогеологическим условиям равнина, поднятая в недавнем геологическом прошлом и расчлененная долинами и логами на отдельные пологие увалы с плоскими вершинами. Почвенный покров представлен плодородными черноземами и темно-каштановыми почвами, наиболее мощными на плоских водоразделах и в различной степени размытыми на склонах.

Пестрые по минерализации грунтовые воды залегают на глубине 40—60 м на водоразделах и только в глубоких логах и долинах приближаются к поверхности (1—8 м).

По сложившимся представлениям, сыртовые глины считались безводными и практически водонепроницаемыми, поэтому два крупных канала Куйбышевский и Саратовский были запроектированы без фильтрационной одежды. Их должны были использовать в первую очередь для обводнения, а в дальнейшем для развивающегося орошения небольших участков на водораздельных равнинах. Предполагалось, что благодаря водонепроницаемости сыртовых глин под орошаемыми участками будет образовываться верховодка. Поэтому необходим был бы мелкий локальный горизонтальный дренаж. Новые исследования подтвердили нашу точку зрения на сыртовую толщу, как на лессовидную формацию Русской платформы с характерными для нее свойствами: более высокой вертикальной проницаемостью, наличием влагообмена по всей толще сыртовых глин с преобладанием нисходящего движения влаги на водоразделах.

Таким образом, для сыртовой толщи в естественном состоянии характерен инфильтрационный (промывной) тип влагообмена в зоне аэрации и гидравлическая связь с водоносным горизонтом, подстилающим сыртовую толщу. Водоупоры имеют локальное развитие и относительно водопроницаемы. По опытным данным, скорость инфильтрации устанавливается в пределах 0,05—0,07 м/сут.

Близкие данные по коэффициентам фильтрации были получены при откачках из сыртовых глин (0,03—0,05 м/сут) в зоне их насыщения.

Наличие активного влагопереноса в сыртовой толще подтверждается перераспределением солевых аккумуляций, которые сосредоточиваются на склонах и у подножий, а на водораздельных участках, как правило, вымыты.

Зона высоких сыртов построена очень сложно, однако там имеются благоприятные условия для локального вертикального дренажа, осуществление которого начато в опытно-производственном порядке (Средволгогипроводхоз, В. В. Бейлин).

Значительные территории низких сыртов подстилаются апшеронскими песками, представляющими естественную дрену, по которой происходит сток подземных вод в сторону Прикаспийской равнины и частично террас Волги. При орошении водоразделов в первую очередь будут страдать земли понижений и в долинах логов. В настоящее время эти земли плодородны, но имеют солевые аккумуляции на глубине 1—1,5 м. При подъеме грунтовых вод существует опасность их вторичного засоления и выпада из сельскохозяйственного оборота. Поэтому одновременно с развитием орошения в пределах Сыртового Заволжья должна быть усилена дренированность с помощью линейных и локальных систем вертикального дренажа по долинам, расчленяющим сыртовую толщу (Решеткина, 1971).

Общий расход дренажных сооружений (вертикального дренажа) должен компенсировать те перестройки в водном балансе, которые вносятся орошением.

Учитывая, что оросительные системы строятся закрытыми, а техника полива принята дождеванием с помощью широкозахватных машин («Фрегат», «Волжанка», «Днепр» и др.), дополнительное инфильтрационное питание достигнет 500 м^3/га. Такое количество влаги сыртовая толща, несомненно, способна пропустить в подстилающий пласт. Кроме того, могут быть сооружены усилители, увеличивающие перетекание грунтовых вод в нижний горизонт (Сойфер С. Я. и Сойфер А. М., 1976).

Для низких сыртов, где повсеместно развиты апшеронские пески мощностью до 30 м с коэффициентом фильтрации 3—10 м/сут, дренажные скважины могут давать

дебит при откачке от 5 до 10 л/с, а в отдельных случаях и до 20 л/с. Эта вода с пестрой минерализацией (от 4 до 20 г/л) может сбрасываться с обводнительным током по логам и долинам рек. Количество ее настолько невелико, что это на первых порах существенно не ухудшит качество подаваемой воды на обводнение. В дальнейшем перед сбросом она должна очищаться от солей в специальных опреснительных устройствах. Если максимальное питание грунтовых вод принять равным 0,05 м/год, или 500 м³/га в год, то при развитии орошения первой очереди на Саратовских сыртах на площади 21 тыс. га питание подземных вод увеличится на 10 500 м³/год. С учетом возможных перестроек в водном балансе района искусственный дренажный сток из апшеронского песка должен быть около 0,6 м³/с. Такой расход может быть получен из нескольких локальных систем вертикального дренажа, расположенных по долинам и балкам. Если принять средний дебит одной скважины от 5 до 10 л/с, то потребуется от 60 до 120 скважин, затраты на один орошаемый гектар составят при этом 50—100 руб. Небольшие системы таких скважин могут работать в автоматическом режиме и не требуют больших затрат на эксплуатацию. Первая опытно-производственная система на Ершовском участке дала хорошие результаты.

Усиление естественной дренированности сыртовой толщи в результате разгрузки апшеронского водоносного горизонта скважинами вертикального дренажа очень важно также для благополучия террасовых земель и земель северной части Прикаспийской равнины. В пределах последней вертикальный дренаж находит широкое применение во всех случаях, где под покровными мелкоземами залегают хазарские пески.

Глава 5

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА*

ГЕОФИЛЬТРАЦИОННАЯ СХЕМАТИЗАЦИЯ И ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ДРЕНАЖА

Фильтрационные расчеты мелиоративного дренажа позволяют оценить параметры дренажных сооружений и прогнозировать действие системы в тех случаях, когда они основываются на обстоятельном изучении природных условий и правильном учете всего комплекса намечаемых мелиоративных мероприятий. Ранее (гл. 2—4) уже рассматривались особенности исследования сформировавшейся мелиоративно-гидрогеологической обстановки в естественном (или искусственно нарушенном) облике и соответственно условий применения вертикального дренажа. В результате такого исследования может быть построена качественная гидрогеологическая схема массива и выделены типовые условия, для которых целесообразно оценивать эффективность вертикального дренажа. На следующем этапе, который может быть назван геофильтрационной схематизацией (Сойфер, Шестаков, 1974), эта задача рассматривается в гидродинамической постановке с оценкой пространственной структуры потока, геофильтрационных параметров водоносного комплекса, гидродинамических границ.

При исследовании объектов мелиорации задача оценки сложившихся и прогнозных гидрогеологических условий обычно реализуется в двух основных направлениях. С одной стороны, рассматривается региональная гидрогеологическая обстановка, прогнозируются перераспределение потоков подземных вод, взаимодействие массивов, оценивается эффективность различной очередности мелиоративных мероприятий и ряд других задач регионального

* Глава написана А. М. Сойфером.

характера. С другой стороны, изучается и прогнозируется геофильтрационная обстановка в зоне влияния конкретных дренажных сооружений. В такой постановке следует рассматривать и два типа геофильтрационных схем: региональные и локальные (Решеткина, Барон и Якубов, 1966; Сойфер, Шестаков, 1974).

Региональной схемой охватывается вся исследуемая область геофильтрации или отдельные ее блоки, для которых могут быть обоснованы гидродинамические границы. При построении такой схемы наиболее важна оценка плановой неоднородности структуры потока, в том числе суммарной проводимости водоносного комплекса, гравитационной (нередко и упругой) емкости, интенсивности питания и разгрузки подземных вод.

При обосновании локальных типовых геофильтрационных схем необходимо учитывать, что с гидрогеологической позиции главным фактором, определяющим выбор типа дренажа и эффективность его действия, является наличие в разрезе хорошо проницаемых водоносных горизонтов. В связи с этим при геофильтрационной схематизации в качестве основных таксономических единиц целесообразно рассматривать следующие фильтрационные системы водоносных пластов над региональным водоупором:

I — однопластовая — один хорошо проницаемый водоносный пласт сравнительно однородного или двухслойного строения (как правило, с покровным слабопроницаемым слоем);

II — двухпластовая — два хорошо проницаемых водоносных пласта разделены слабопроницаемым слоем, при этом верхний пласт может быть однородного или двухслойного строения;

III — беспластовая — в разрезе не встречены хорошо проницаемые водоносные пласты, вскрыта сравнительно однородная или неоднородная толща слабопроницаемых пород;

IV — водоупорная — в разрезе вскрыты водоупорные отложения ($K<10^{-2}—10^{-3}$ м/сут).

Для применения вертикального дренажа, очевидно, наиболее перспективны I, II и в некоторых случаях III фильтрационные системы. В рамках такой систематики при дальнейшей ее детализации выделяются типовые расчетные схемы, которые отличаются главным образом значениями геофильтрационных параметров.

Наряду с исследованием водоносного комплекса над региональным водоупором целесообразно составить приближенные представления о проводимости водонапорной системы под водоупором, так как применение вертикального дренажа с усилителями перетекания (Сойфер, 1976) позволяет в ряде случаев использовать напорные пласты для создания дренажа.

Питание подземных вод при работе дренажа обычно складывается из инфильтрации, бокового притока по пласту и перетекания из глубоких водоносных горизонтов.

В последнем случае перетекание из нижележащих пластов чаще всего предопределяется вновь сформировавшимися условиями разгрузки подземных вод, для описания которой в литературе нередко используется термин «напорное питание».

Характерный пример такой разгрузки подземных вод — перетекание из выклинивающихся водоносных пластов (с интенсивным расходованием на испарение) в периферийных частях предгорных шлейфов. Интенсивность напорного питания определяется прежде всего внешним притоком подземных вод к зоне разгрузки и не может рассматриваться, как функция искусственно создаваемой разности напоров в соседних водоносных пластах. При построении расчетных моделей систематического дренажа (особенно вертикального) предпосылка о постоянном напоре в нижнем пласте чаще всего оказывается неприемлемой, так как при работе дренажной системы на значительной территории меняются напоры в дренируемом и в подстилающем водоносных горизонтах (гл. 2). Подобная расчетная схема может быть рассмотрена в частных случаях локальных водозаборов, производительность которых несоизмеримо ниже расхода в напорном водоносном пласте.

Разгрузку подземных вод надо прогнозировать на основе исследования региональной фильтрационной модели (например, аналоговой) рассматриваемого массива. Установленная же для проектных условий интенсивность напорного питания может быть учтена в расчетных схемах дренажа, как дополнение к интенсивности инфильтрации.

Боковой приток по дренируемому водоносному пласту оказывает существенное влияние на эффективность мелиоративного дренажа у внешних границ массива, а также в зонах влияния внутренних гидродинамических границ (водотоков и водоемов). При значительных размерах

бокового притока в ряде случаев оправдано применение специального заградительного (перехватывающего) дренажа. Внешний приток подземных вод обычно оценивается по данным специальных гидрогеологических исследований (Бочевер, 1968).

Наиболее сложное развитие (во времени и пространстве) в натурных условиях характерно для инфильтрационного питания при орошении. В то же время указанный параметр часто остается наименее исследованным в проектных проработках. Нередко создается диспропорция в обосновании параметров фильтрационных расчетных схем дренажа: предъявляются высокие требования к определению гидрогеологических параметров, а интенсивность питания оценивается ориентировочно.

В реальных условиях чередованием вегетационных поливов по площади и во времени определяется сложный характер режима грунтовых вод. Тем не менее вопросы оценки значимости плановой неоднородности инфильтрационного питания при поливах крайне недостаточно исследованы как натурными наблюдениями (что наиболее важно), так и на аналоговых моделях мелиоративных систем.

В зоне влияния скважин вертикального дренажа плановая неравномерность инфильтрационного питания оказывается малозначительной при автоморфном мелиоративном режиме (Решеткина, 1972). Однако при полугидроморфном и особенно гидроморфном режимах инфильтрационное питание неравномерно (в плане) не только в связи с неоднородностью строения зоны аэрации и неравномерностью водного питания сельскохозяйственных культур, что возможно и в случаях других типов дренажа, но и преимущественно вследствие заметно различных понижений уровня подземных вод при работе скважины вертикального дренажа (Решеткина, Барон и Якубов, 1966; Сойфер, 1976).

РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Наиболее типичным случаем заградительного дренажа являются условия интенсивного бокового притока по напорному пласту, когда ряд скважин значительной длины устанавливается на границе орошаемого массива (рис. 36). Пользуясь методом фильтрационных сопротивлений (Шестаков, 1965) из баланса потока

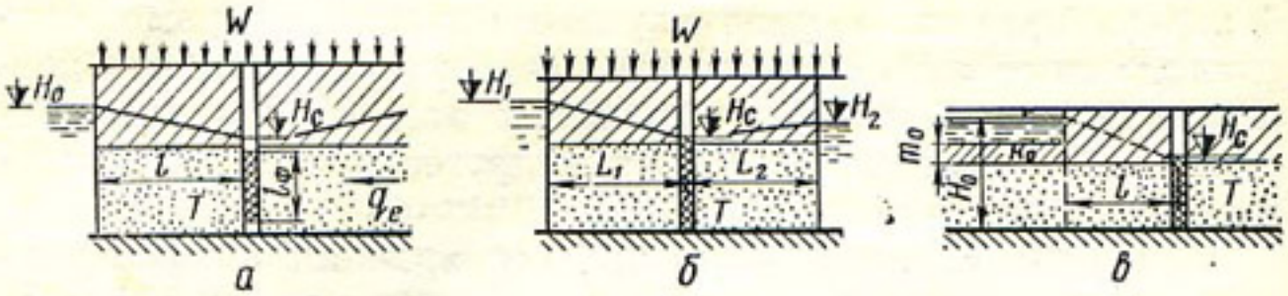


Рис. 36. Схемы к расчету заградительного вертикального дренажа: *а* — в полуограниченном напорном пласте с боковым притоком; *б* — между контурами питания и стока; *в* — у границы III рода.

для условий стационарной фильтрации, получим следующую зависимость для расчета дебита скважины:

$$Q_c = 2\sigma \frac{T\left(\frac{H_0 - H_c}{l}\right) + \frac{Wl}{2} + q_e l}{0{,}5 + 2\overline{L}_к}, \tag{46}$$

где T — проводимость водоносного пласта; H_0 — напор на нижней границе; H_c — напор в скважине; σ — расстояние между скважинами в ряду; W — интенсивность инфильтрационного питания; l — расстояние до границы; q_e — естественный приток; $\overline{L}_к$ — безразмерное фильтрационное сопротивление контура скважин.

$$\overline{L}_к = L_к / l, \tag{47}$$

$$L_к = \sigma f_{кс}, \tag{48}$$

$$f_{кс} = 0{,}36 \lg \frac{\sigma}{\pi d'_c}, \tag{49}$$

$$d'_c = d_c e^{-\xi_к}, \tag{50}$$

$$\xi_к = \xi + \xi_{н.к}, \tag{51}$$

$$\xi = \frac{1 - \overline{l}}{\overline{l}} \left(\ln \frac{2l_ф}{d_c} + \varepsilon\right), \qquad \overline{l} = \frac{l_ф}{m}; \tag{52}$$

$$\xi_{н.к} = -2 \frac{1 - 0{,}95\sqrt[3]{\overline{\sigma}}}{\overline{\sigma}} \ln\left(\sin \frac{\pi}{2} \overline{l}\right), \qquad \overline{\sigma} = \frac{\sigma}{m}. \tag{53}$$

Параметр ε определяется по следующим данным:

$\overline{l}$	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
ε	0,39	0,22	0,08	—0,13	—0,32	—0,065	—1,1

Зависимость (53) применяется при $\overline{\sigma} \leqslant 1$, а при $\overline{\sigma} > 1$ $\xi_{н.к} \approx 0$.

Интересен также случай, когда и верхняя граница потока относится к границе I рода (H=const, рис. 36). Тогда

$$Q_c = \left(TS_c + \frac{WL_1^2 L_2}{2L_0}\right) \Big/ \left(\frac{L_1 L_2}{\sigma L_0} + f_{кс}\right), \tag{54}$$

где, кроме известных обозначений, $S_c = H_e - H_c$.

При несовершенных границах I рода к расстояниям L_1 и L_2 добавляются эквивалентные длины ΔL_1 и ΔL_2.

В ряде практических случаев возникает задача расчета заградительного вертикального дренажа (с заданным дебитом) вдоль водотока с оценкой динамики уровней подземных вод. Решение такой задачи при граничном условии I рода в водотоке и при $W=0$ имеет вид (Бочевер, Гармонов, Лебедев, Шестаков, 1969):

$$S_м = Q_c l f_л / \sigma T, \tag{55}$$

где $S_м$ — понижение в точке на расстоянии x от реки,

$$f_л = \frac{\sqrt{at}}{l}\left(\mathrm{ierfc}\frac{l-x}{2\sqrt{at}} - \mathrm{ierfc}\frac{l+x}{2\sqrt{at}}\right), \tag{56}$$

a — коэффициент уровнепроводности.

При $t \longrightarrow \infty$ для $x < l$ $f_л = x/l$, а для $x \geqslant l$ $f_л = 1$.

При существенном фильтрационном сопротивлении ложа водотока для оценки понижения уровня можно использовать зависимость (55), а фильтрационное сопротивление ряда $f'_л$ определяется из выражения:

$$f'_л = f_л + \frac{1}{bl}\left[\mathrm{erfc}\,\frac{l+x}{2\sqrt{at}} - \right.$$

$$\left. - l^{b(l+x)+b^2at}\,\mathrm{erfc}\left(\frac{bat}{l} + \frac{l+x}{2\sqrt{at}}\right)\right], \tag{57}$$

где $в = \sqrt{K_0/Tm_0}$ (рис. 36, *в*).

В случае длительной откачки, когда можно считать $t \to \infty$,

для $x < l$ $f'_л = (x + 1/b)/l$,

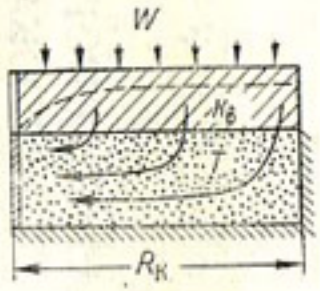
для $x \geqslant c$ $f'_л = (l + 1/b)l$.

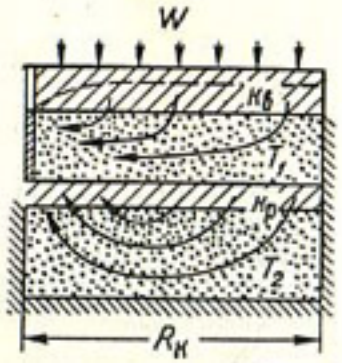
РАСЧЕТ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Систематический (площадной) вертикальный дренаж с равномерным расположением скважин по территории наиболее распространен на крупных орошаемых массивах. Основные зависимости для расчетов вертикального дренажа этого типа в условиях стационарной фильтрации приведены в таблице 36.

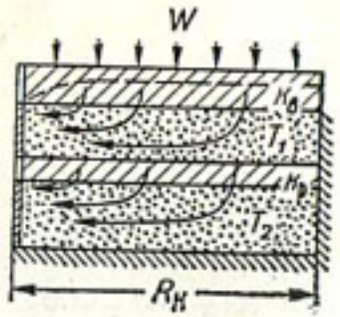
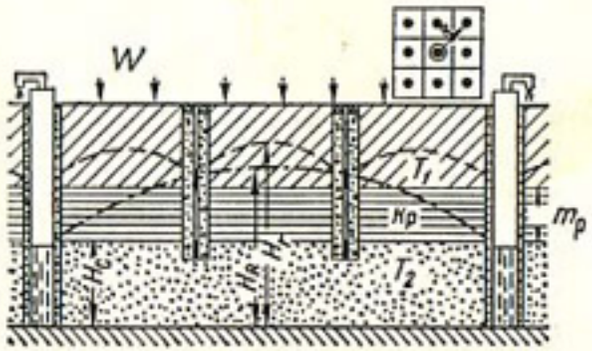
Один из наиболее важных вопросов обоснования расчетных схем дренажа — оценка фильтрационных сопро-

Таблица 36. Основные зависимости для расчетов систематического вертикального дренажа в условиях стационарной фильтрации

Фильтрационная система	Особенности размещения дренажа в разрезе	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости: общий вид	Расчетные зависимости: условия применения	Условные обозначения
Однопластовая			$H_R = H_c + \frac{WR_к^2}{2T} \times \left(\ln \frac{R_к}{r_c} - 0{,}5\right)$ $R_к = \frac{\sigma}{\sqrt{\pi}} \approx 0{,}56\sigma$ $h - H = \frac{W}{k_в} m_в$ $\sigma = \sqrt{\frac{Q_c}{W}}$	$T(r) = \text{const}$ $W(r) = \text{const}$	H_R, H'_R—напор в верхнем пласте при $r = R_к$ H_c—напор в скважине h_R, h'_R—уровень грунтовых вод при $r = R_к$ r_c—расчетный радиус скважины $k_р, k_в$—коэффициенты фильтрации разделяющего и покровного слоев σ — шаг скважин вертикального дренажа по сетке W—инфильтрационное питание $m_р, m_в$—мощности разделяющего
Двухпластовая	В верхнем пласте		$H_c = H'_c - \theta'' \Delta H_c$ $\Delta H_c = \overline{W} - \frac{Q_c}{T_1}(f_c + \Delta f_c)$	$T_{1,2}(r) = \text{const}$ $k_р(r) = \text{const}$ $W(r) = \text{const}$ при $\overline{R} > 3$	

			$f_c = 0{,}366 \lg \frac{1{,}12}{\bar{r}_c}$ $\bar{r}_c = b_0 r_c;$ $b_0 =$ $= \sqrt{\frac{k_p}{m_p}\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)}$ $\Delta f_c = 0{,}16 \frac{K_1(\bar{R})}{I_1(R)};$ $\bar{R} = b_0 R_к$ $\bar{W} = \frac{W}{k_p} m_p \theta''$ $H'_R = H_R + \theta \Delta H_R$ $\Delta H_R = \bar{W} - \frac{Q_c}{T_1} f_R$ $f_R = 0{,}16 \left[K_0(\bar{R}) + \right.$ $\left. + \frac{K_1(\bar{R})}{I_1(\bar{R})} I_0(\bar{R})\right]$	$\Delta f_c = 0$ $\Delta \bar{R} > 5$ $\Delta f_c = f_R = 0$	и покровного слоев Q_c—дебит скважины K_0, K_1, I_0, I_1—обозначение функций Бесселя. Для двухпластовой системы $\theta' = \frac{T_1}{T};\ \theta'' = \frac{T_2}{T};$ $T = T_1 + T_2$ n—число усилителей в зоне влияния скважины вертикального дренажа $f_R(\bar{\sigma}), f_R(\bar{\sigma}_*)$ — определяются как $f_R/0{,}16$ с заменой аргумента $\bar{R}$ на $\bar{\sigma}$ или $\bar{\sigma}_*$ или по таблице С. Я. Сойфер и А. М. Сойфер (1976)

Продолжение

Фильтрационная система	Особенности размещения дренажа в разрезе	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости: общий вид	Расчетные зависимости: условия применения	Условные обозначения
Двухпластовая	В двух пластах		$H'_R = H_c + \frac{WR^2_к}{2T} \times \left(\ln \frac{R_к}{r_c} - 0,5\right) + \theta' \Delta H_R$ $\Delta H_R = \overline{W}\left(1 - \frac{f_R}{f_c + \Delta f_c}\right)$	$\Delta f_c = f_R = 0$ $k_p < 10^{-2}$ $H_R \geqslant m_2 + m_p$ $H_R \approx H_c + \frac{W\sigma^2}{2\pi T_2} f_R(\overline{\sigma}_*)$	
	В нижнем пласте		$H_R = H_c + \frac{W\sigma^2}{2\pi n T_1} [f(\overline{\sigma}, \overline{T}, \overline{r_0}) + nTf_R(\overline{\sigma}_*)]$ $f(\overline{\sigma}, \overline{T}, \overline{r}) = \frac{2}{(1+T)^2 \overline{\sigma}^2} +$		

			$+\overline{T}\left(\ln\frac{\overline{\sigma}}{\overline{r_0}}-0,5\right)-$ $-f_R(\overline{\sigma})\frac{1}{1+\overline{T}}$; $\overline{\sigma}_*=\frac{\sigma}{B_*\sqrt{\pi}}$; $B_*=\sqrt{\frac{m_p T_2}{k_p^*}}$; $k_p^*=k_p+$ $+\frac{3\pi n m_p T_1}{\sigma^2\left(\ln\frac{\sigma}{r_0\sqrt{n\pi}}-0,5\right)}$; $B_1=\sqrt{\frac{T_1 m_p}{k_p}}$		
			$h_r=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\times$ $\times\sqrt{\frac{W}{\pi k_1}f(\overline{\sigma},\overline{T},\overline{r}_0)}$; $h_r=H_r-(m_2+m_p)$	$H_R<m_2+m_p$ $k_p<10^{-2}$	

Продолжение

Фильтрационная система	Особенности размещения дренажа в разрезе	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости		Условные обозначения
			общий вид	условия применения	
Двухпластовая	В нижнем пласте		$\frac{2\pi T_1 (H_r - H_c)}{W} = \frac{\sigma^2 T_1}{T_2}\left(\ln \frac{\sigma}{r_c\sqrt{\pi}} - 0{,}5\right) + \frac{\sigma^2}{n} \times \left(\ln \frac{\sigma}{r_0\sqrt{n\pi}} - 0{,}5\right)$	$k_p < 10^{-3}$ $H_R \geqslant m_2 + m_p$ $H_R < m_2 + m_p$	
			$h_r \sqrt{\frac{\pi k_1}{W}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\ln \frac{\sigma}{r_0\sqrt{n\pi}} - 0{,}5}$	$k_p < 10^{-3}$ $H_R = H_c + \frac{W\sigma^2}{2\pi T_2} \times \left(\ln \frac{\sigma}{r_c\sqrt{\pi}} - 0{,}5\right)$	

тивлений скважин. Известно (Бочевер, Гармонов, Лебедев, Шестаков, 1969), что это фильтрационное сопротивление может рассматриваться, как сумма двух составляющих:

$$\xi_c = \xi + \xi_0, \tag{58}$$

где ξ и ξ_0 — фильтрационное сопротивление скважины соответственно по степени вскрытия пласта, определяемое по зависимости (52) и по характеру вскрытия пласта.

Наиболее сложен учет фильтрационного сопротивления скважин по характеру вскрытия пласта, так как он зависит от многих факторов: особенностей строения водоносного пласта, конструкции скважины, технологии строительства, структуры фильтрационного потока при эксплуатационной откачке и др. Вместе с тем анализ практических данных показывает, что влияние этой составляющей фильтрационного сопротивления скважин нередко является значительным (табл. 37).

Таблица 37. **Оценка фильтрационных сопротивлений по характеру вскрытия пласта скважин вертикального дренажа в совхозе № 17 Голодной степи**

№ скважины	Обсыпка	Проводимость пласта, м²/сут	Дебит скважины, л/с	Понижение, м	Фильтрационное сопротивление	Расчетный радиус скважин, м
541Б	Сортированный гравий Беговатского карьера	300	55	7	—2	3,7
542Е	Искусственная смесь песка Джуминского карьера и гравия Беговатского карьера	120	17,2	12,5	0	0,5
556	Сортированный гравий Беговатского карьера	240	59	19	—0,8	1,1
558	То же, с обмоткой фильтра винипластовой сеткой	100	16,4	21	4	10^{-2}
40Д	Песчано-гравийная смесь карьера Ак-Берье	300	30	27	18	$6,2 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, оценка в натуре фильтрационных сопротивлений скважин по характеру вскрытия пласта наиболее надежна.

Однако для ориентировочных расчетов параметра ξ_0 можно использовать следующие аналитические зависимости, рассматривая фильтрационное сопротивление как сумму ряда составляющих:

$$\xi_0 = \xi_{01} + \xi_{02} + \xi_{03} + \xi_{04}, \tag{59}$$

где ξ_{01} — сопротивление, обусловленное скважностью фильтра; ξ_{02} — сопротивление, обусловленное фильтровой обсыпкой и изменением проницаемости в прискважинной зоне; ξ_{03} — сопротивление, определяемое отклонением от линейного закона фильтрации; ξ_{04} — сопротивление, вызванное гидравлическими потерями напора в трубах.

$$\xi_{01} = \frac{m\delta}{2\pi r_c \alpha \xi_ф}, \tag{60}$$

$$\xi_{02} = 0{,}366\left(\frac{k}{k_0} - 1\right)\lg\frac{r_0}{r_c}, \tag{61}$$

$$\xi_{03} = \frac{\varphi Q_1(\varphi - 1)}{2\pi T S_1}, \tag{62}$$

$$\xi_{04} = QT\varphi_т; \qquad \varphi_т = \frac{8\lambda l_т}{\pi^2 g d_т^5}, \tag{63}$$

где σ — толщина стенок фильтра; α — скважность фильтра; $\xi_ф$ — коэффициент, учитывающий сопротивление в результате сужения фильтрационного потока при входе в отверстия (меняется от 1 до $1/\alpha$); k_0 и r_0 — коэффициент фильтрации и радиус прискважинной зоны с измененной проницаемостью; Q_1—дебит скважины при понижении S_1 в условиях отклонения от линейного закона фильтрации; φ — параметр, который определяется экспериментально:

$$\varphi = \left(1 - \frac{Q_1}{Q_2}\right) \Big/ \left[1 - \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 \frac{S_2}{S_1}\right], \tag{64}$$

Q_2 — дебит при понижении S_2; $d_т$ и $l_т$ — диаметр и длина водоприемной трубы; λ — коэффициент гидравлического трения, который для стальных и чугунных труб Ф. А. Шевелев рекомендует определять по следующим зависимостям:

при $Re > 10^6$

$$\lambda = 0{,}021/d_т^{0,3}, \tag{65}$$

при $Re < 10^6$

$$\lambda = (1{,}5 \cdot 10^{-6}/d_т + 1/Re)^{0,3}. \tag{66}$$

В таблице 38 даны наиболее простые зависимости для расчета вертикального дренажа в однопластовой системе при нестационарной фильтрации по работам П. Я. Полубариновой-Кочиной, С. Ф. Аверьянова, В. С. Усенко и др.

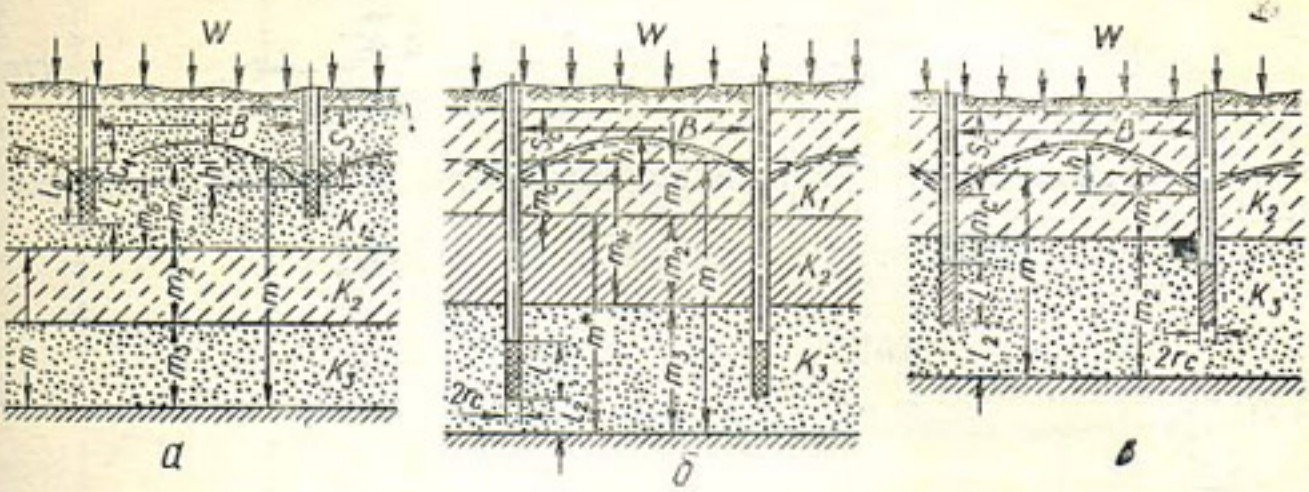


Рис. 37. Схемы к расчету скважин вертикального дренажа в слоистых системах при нестационарной фильтрации:

а, б — дренаж соответственно в верхнем и нижнем пласте двухпластовой системы; *в* — дренаж в двухслойном пласте.

Предпосылка о постоянном и равномерном (в плане) инфильтрационном питании условна и может рассматриваться только в тех случаях, когда дренаж значительно понижает уровень грунтовых вод. При неравномерном (во времени и пространстве) питании и неоднородном строении пласта целесообразно исследование рассматриваемой задачи на аналоговых моделях.

В ряде случаев возникает необходимость расчета сработки напоров под влиянием скважины вертикального дренажа. Для сравнительно однородного пласта при решении такой задачи целесообразно использовать зависимость Маскета (Бочевер, 1968):

$$S=\frac{Q}{2\pi T}\left(rF_0+\ln\frac{0,6R_к}{r}-2\varphi\right). \qquad (67)$$

При значительной продолжительности сработки уровней ($t>0,2R^2_к/a$) последним членом в скобках в зависимости (67) можно пренебречь.

Иногда условие $v_h(r)=\text{const}$ может не выполняться. В этих случаях для расчетов вертикального дренажа в слоистых системах надо использовать зависимости Н. И. Лавреха, А. Я. Олейника и В. Л. Полякова (1976).

При двухпластовом строении водоносного пласта (рис. 37) и $Q_с=\pi R^2_к W$ снижение напоров описывается следующим выражением:

$$S_i(r)=\overline{S}_i(r)\left(1-e^{-\overline{\lambda}t}\right), \qquad (68)$$

где

$$\overline{\lambda}=\frac{\overline{\alpha}+\overline{\beta}}{2}+\sqrt{\frac{\overline{\alpha}+\overline{\beta}}{2}+c_1c_2}, \qquad (69)$$

$$\bar{\alpha} = -\frac{a_1\bar{\rho}_1^2}{R_к^2} - c_1, \qquad \bar{\beta} = -\frac{a_2\bar{\rho}_1^2}{R_к^2} - c_2, \tag{70}$$

a_1 и a_2 — уровнепроводность и пьезопроводность первого и второго пласта.

Параметр ρ_1 находят по следующим данным:

$\bar{r}_с = r_с/R_к$	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
$\bar{\rho}_1$	3,96	3,83	3,83	3,83	3,83

При откачке второго пласта (рис. 37, *б*) $\bar{S}_i(r)$ для первого и второго пласта находят по следующим выражениям:

$$S_1(\bar{r}) = \bar{S}_{он} + S(W) - \frac{Q}{2\pi T} W(r) - \frac{T_з}{T} W_0, \tag{71}$$

$$S_2(\bar{r}) = \bar{S}_{он} + S(W) - \frac{QT_1}{2\pi T_з T} W(r) - \frac{T_1}{T} W_0, \tag{72}$$

$$\bar{S}_{он} = -\frac{3}{8}\frac{WR_к^2}{T} + \frac{W_0 T_з}{T} + \frac{Q}{\pi T R_к^2 b_0^2}, \tag{73}$$

$$S(W) = \frac{Wr^2}{4T}\left(1 - \frac{2\ln\bar{r}}{\bar{r}^2}\right), \tag{74}$$

$$W_0 = \frac{m_р}{k_р}\frac{WT_з}{T}, \tag{75}$$

$$b_0 = \sqrt{\frac{k_р}{m_р}\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_з}\right)}, \tag{76}$$

$$W(r) = 2\pi\Delta f' I_0(b_0 r) + K_0(b_0 r). \tag{77}$$

Функции $\Delta f'$ и $\Delta f''$ представлены в работе Н. И. Лаврехи, А. Я. Олейника и В. Л. Полякова (1976).

В зависимостях (71)—(77) $T = T_1 + T_з$, а $\bar{r} = r/R_к$, I_0 и K_0 — функции Бесселя. На границах контура и скважины выражения для $W(r)$ несколько упрощаются:

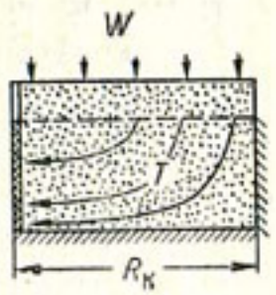
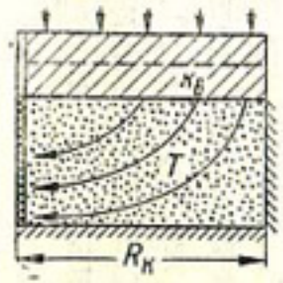
$$W(R_к) = 2\pi\Delta f'', \tag{78}$$

$$W(r_с) = 2\pi\Delta f' + \ln\frac{1,12}{b_0 r_с}. \tag{79}$$

При откачке из первого пласта

$$\bar{S}_1(r) = S_{ов} + S(W) - \frac{QT_з}{2\pi T T_1} W(r) - \frac{T_з}{T} W_0, \tag{80}$$

Таблица 38. **Основные зависимости для расчетов систематического вертикального дренажа в однопластовой системе при нестационарной фильтрации**

Строение первого пласта	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости: общий вид	Расчетные зависимости: условия применения	Обозначения
Сравнительно однородное		$H_R \approx H_с + \frac{Q_с - Q_{инф}}{\pi T} F_0 +$ $+ \frac{Q_с}{2\pi T}\left(\ln \frac{R_к}{r_с} - 0{,}5\right)$ (a) $Q_с - Q_{инф} \approx$ $\approx \left(\frac{2\pi T S_с}{R_к/2r_с} - Q_{инф}\right) e^{-\theta^2 F_0^2}$ $F_0 = at/R_к^2$ (b) $Q_{инф} = \pi R_к^2 W$ (c)	$T(r) = \text{const}$ $a(r) = \text{const}$ $W(r) = \text{const}$	Те же, что в таблице 36. a — коэффициент уровнепроводности пласта t — время μ — коэффициент гравитационной емкости (водоотдачи, недостатка насыщения) $S_с$ — понижение уровня в скважине
Двухслойное		H_R по (a) $Q_{инф}$ по (c) $F_0 = a_1 t/R_к^2$ $a_1 = a\left(1 + \frac{W}{k_в} - \frac{\mu}{k_в} v_h\right)$ $h - H = h\left(\frac{W}{k_в} - \frac{\mu}{k_в} v_h\right)$	Те же и $k_в(r) = \text{const}$ $v_h = \text{const}$ $\mu(r) = \text{const}$	θ / $r_с/R_к$ 0,72 / 10^{-2} 0,57 / 10^{-3} 0,49 / 10^{-4} 0,43 / 10^{-5}

$$\overline{S}_2(r)=S_{ов}+S(W)-\frac{Q}{2\pi T}W(r)+\frac{T_1}{T}W_0, \quad (81)$$

$$S_{ов}\approx-\frac{3}{8}\frac{WR_к^2}{T}-\frac{W_0T_з}{T}+\frac{QT_з}{\pi TT_1R_к^2b_0}. \quad (82)$$

При $Q_с>\pi R^2{}_кW$ в правой части зависимостей (71) и (80) добавляется член $\mu^*{}_2(\overline{W}-W)/\mu^2{}_1$, а в правой части зависимостей (72) и (81) — выражение $-(\overline{W}-W)/\mu_1$, где $\overline{W}=Q_с/\pi R^2{}_к$, $\mu^*{}_2$ — упругая водоотдача нижнего пласта, а μ_1 — гравитационная водоотдача верхнего пласта. При этом в зависимостях для оценки $\overline{S}_{он}$, b, $S(W)$ и $W(r)$ заменяется W на $\overline{W}$.

В случае двухслойного строения водоносного пласта можно применять зависимости для откачки из нижнего пласта двухпластовой системы, предположив в них $T_1=0$ за исключением зависимости (76), где нужно считать

$$b_0=\sqrt{\frac{k_р}{m_рT_з}}.$$

Тогда в выражении (69) α можно заменить на C_1, а для расчета $\overline{S}_2(r)$ применять следующую зависимость:

$$\overline{S}_2(r)=\overline{S}_{он}+S(W), \quad (83)$$

где

$$\overline{S}_{он}=\frac{3}{8}\frac{WR_к^2}{T}+\frac{Wm_в}{k_в}. \quad (84)$$

Во многих случаях, когда в нижней части разреза покровных отложений встречаются относительно водоупорные прослои ($K<0{,}01$ м/сут), для создания благоприятных условий перетекания целесообразно устраивать в зоне влияния скважин вертикального дренажа специальные усилители, расположенные по сетке. Приближенные зависимости для расчета вертикального дренажа с усилителями перетекания построены на основе известных решений задач для скважин в замкнутом непроницаемом контуре в однопластовой и двухпластовой системах (Бочевер, 1968). При этом в качестве расчетного надо рассматривать крайний блок с усилителем, наиболее удаленный от центральной скважины. В таблице 36 приведены расчетная схема и основные зависимости. Подробно расчет вертикального дренажа с усилителями перетекания приведен в работе С. Я. Сойфер и А. М. Сойфер (1976).

Перечисленные методы расчетов фильтрационных потоков к дренам основаны на моделях планово-плоских потоков, создание которых в натуре обусловлено единовременным и равномерным проведением каждого полива во

всей зоне влияния дрены. Еще менее соответствующими натуре являются нередко используемые в расчетах предпосылки о стационарном (в течение года или вегетационного периода) инфильтрационном питании и в особенности о постоянном напоре в подстилающем водоносном пласте.

В связи с этим при решении такого рода задач обоснованием методики расчетов дренажа может служить исследование наиболее типичных геофильтрационных моделей (натурных или аналоговых), выполненное с учетом сложившегося или проектируемого режима поливов при орошении.

УЧЕТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ИНФИЛЬТРАЦИИ В РАСЧЕТАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

При долгосрочных прогнозах работы вертикального дренажа в условиях гидроморфного мелиоративного режима необходимо учитывать, что в средней части междренья в межполивные периоды происходит более интенсивная разгрузка грунтовых вод на испарение и транспирацию, чем в прискважинной зоне. В этом случае интенсивность инфильтрации, выраженная реально периодическими импульсами поливов и межполивными промежуточными интервалами, обычно осредняется во времени, так как эти промежутки ничтожно малы по сравнению с расчетным периодом. Учитывая неравномерность разгрузки, расчетные значения W на разных расстояниях от скважины могут заметно отличаться и, следовательно, возникает задача оценки и учета неравномерной скорости инфильтрации. Особенно важно решение этой задачи при исследовании процессов конвективного переноса солей, развивающихся в течение многих лет под влиянием орошения и дренажа. Решение этой задачи получено для скважины вертикального дренажа в однопластовой системе в случае линейной зависимости суммарного испарения от уровня грунтовых вод. Инфильтрационное питание в первом приближении рассматривается, как разница между поступлением воды $W_п$ и разгрузкой на испарение и транспирацию $W_н$, линейно зависящей от глубины до уровня грунтовых вод. Это положение может быть выражено следующей системой зависимостей:

$$\left.\begin{aligned} W &= W_п - W_н \\ W_н &= W'_0\left(1 - \frac{m_1 - h}{z_{кр}}\right) \\ h &\approx H + \frac{W m_в}{k_в}, \end{aligned}\right\} \qquad (85)$$

где, кроме известных обозначений, W'_0 — условная интенсивность испарения (берется с положительным знаком) при $z=0$ (Решеткина, Сойфер, 1975); $W_п$ — инфильтрация при поливах; $z=m_1-h$ — глубина до уровня грунтовых вод; m_1 — глубина от поверхности земли до плоскости сравнения (подошва покровного слоя, уровень

воды в скважине или др.); h — то же, от свободной поверхности грунтовых вод; H — то же, от пьезометрического уровня основного водоносного пласта.

Из уравнений (85) получаем следующую зависимость:

$$W = A_w - Б_w H, \tag{86}$$

где

$$A_w = \frac{W_н + W'_0\left(\frac{m_1}{z_{кр}} - 1\right)}{1 + \frac{W'_0 m_в}{z_{кр} k_в}}, \tag{87}$$

$$Б_w = \frac{W'_0}{z_{кр} + \frac{W'_0 m_в}{k_в}}. \tag{88}$$

В случае однородного строения пласта в выражениях (85)—(88) принимается $m_в = 0$, $h = H$.

Анализ уравнения радиальной фильтрации к скважине вертикального дренажа с учетом выражения (85) позволил получить следующую расчетную зависимость для оценки W:

$$W = \frac{Q_c Б_w}{2\pi T} f(\bar{r}), \tag{89}$$

где

$$f_R(\bar{r}) = K_0(\bar{r}) + \frac{K_1(\bar{R}_к)}{I_1 \bar{R}_к} I(\bar{r}), \tag{90}$$

$$\bar{r} = r\sqrt{Б_w/T}, \tag{91}$$

$$\bar{R}_к = R_к \sqrt{B_w/T}. \tag{92}$$

Из (89) и (90) следует, что интенсивность инфильтрации в зоне влияния скважины может оказаться существенно неравномерной. Для учета этого явления в расчетных схемах дренажа целесообразно установить среднее значение $W_{ср}$ для зоны влияния скважины. В условиях однородного и двухслойного пласта оно будет иметь вид:

$$W_{ср} = \frac{2A_w T}{Б_w R_к^2} \frac{1}{f_R(\bar{R}_к) + \ln\frac{R_к}{r'_c} - 0{,}5}, \tag{93}$$

где r'_c — расчетный радиус скважины. При этом $Q = \pi R^2_к W_{ср}$.

В некоторых случаях вблизи скважины в зоне r_1 (обычно между r_c и $R_к$) глубина до уровня грунтовых вод превышает $z_{кр}$. Для этой зоны характерна постоянная (в плане) интенсивность инфильтрации W_1. В подобных случаях взамен выражения (93) целесообразно использовать следующую зависимость для расчета $W_{ср}$ в зоне r_1—$R_к$:

$$W_{ср} = \frac{2A_w T}{Б_w\left(R_к^2 - r_1^2\right)} \frac{1}{f_R(\bar{R}_к) + \ln\frac{R_к}{r_1} - 0{,}5} - \frac{r_1^2 W_1}{R_к^2 - r_1^2}. \tag{94}$$

При этом в расчетах вертикального дренажа используется следующая интенсивность инфильтрации:

$$W_{расч} = W_{ср} + \frac{r_1^2}{R_к^2}(W_1 - W_{ср}). \tag{95}$$

Глава 6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ И ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Общие водные ресурсы СССР, оцениваемые по суммарному стоку рек, составляют 4340 км^3 в год. В том числе 24%, или 1038 км^3, приходится на долю подземного стока. Эта цифра характеризует суммарные естественные (ежегодно восполняемые) ресурсы пресных подземных вод, учтенные для 95% территории страны. Но распределение водных ресурсов весьма неравномерно: на наиболее обжитую южную и западную части страны, где сосредоточено 85% населения, приходится всего 20% стока, все остальное стекает в Северный Ледовитый и Тихий океаны. Поэтому в южных районах, остро нуждающихся в воде, вопрос о рациональном использовании водных ресурсов особенно актуален в связи с развивающимся орошением.

Каскад водохранилищ на реках южного склона (Волга, Днепр, Дон в европейской части СССР, Сырдарья и Амударья в Средней Азии, Кубань и Маныч на Северном Кавказе и др.) создал оптимальные условия для использования поверхностного и подземного стоков этих рек с внутригодовым и многолетним его регулированием в водохранилищах.

Однако эти меры не обеспечили растущие потребности народного хозяйства и в первую очередь намеченные темпы развития орошения. Всего на нужды народного хозяйства отбирается 300 км^3/год. Сельское хозяйство потребляет более 50%, в том числе на орошение только в Средней Азии приходится 70%. В связи с развитием орошения доля сельскохозяйственного водопотребления будет соответственно расти. По ряду бассейнов (Сыр-

дарья, Кубань, Дон и др.) уже к 1985 г. намечается дефицит воды. Поэтому в настоящее время интенсивно разрабатывается проблема переброски части стока северных рек на южный склон страны.

Естественные ресурсы подземных вод, стекающих в реки и участвующих в формировании их стока (в среднем это около $^1/_4$ стока рек, а в межени — речной сток определяется выклинивающимися подземными водами), используют на орошение из русловых водохранилищ совместно с поверхностными водами. Таким образом, на орошение будут поданы все естественные ресурсы подземных вод, остающиеся после забора их на хозяйственно-питьевое водоснабжение, обводнение и другие цели.

Распределение пресных подземных вод на территории Советского Союза тесно связано с поверхностными водами. Поэтому в районах, богатых поверхностными водами, как правило, формируются значительные ресурсы подземных вод, а на территориях, бедных осадками и поверхностными водами, запасы подземных вод крайне ограничены.

Детали формирования подземных вод, их количество и качество в каждом конкретном бассейне или его части определяются геологическими структурами, литологическим строением, естественной расчлененностью рельефа и др. (гл. 2).

Подземный сток формируется на обширных территориях подземных водосборных бассейнов и частично используется на месте на эвапотранспирацию, на водоснабжение городов и поселков, обводнение пастбищ и другие цели. Доля подземных вод, извлекаемых искусственными сооружениями, невелика (не более 3—5% естественных ресурсов). Все остальное стекает в естественные дрены—реки, регулируется в русловых водохранилищах и может быть использовано в комплексе с поверхностными водами на орошение.

Для оценки возможностей использования пресных подземных вод на месте их формирования составлены карты модулей эксплуатационных запасов в л/с с 1 км^2 для основных водоносных горизонтов и их комплексов на хорошо изученной части Советского Союза, составляющей $^2/_3$ всей территории (ВСЕГИНГЕО). Определены прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод. Общая их сумма составила 10 300 м^3/с, или $^1/_3$ часть естественных ресурсов (32 924 м^3/с).

Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод значительно меньше естественных, так как для их расчета принимаются лишь те водоносные пласты и их комплексы, в которых целесообразно устраивать каптаж подземных вод. Между тем реки, прорезая толщи горных пород, дренируют все водоносные слои и собирают все выклинивающиеся подземные воды.

Естественно, что увеличение забора подземных вод различного вида каптажами соответственно уменьшит подземную составляющую питания рек, то есть отразится на их русловом балансе.

Нарушение сложившегося водного баланса в местах интенсивного отбора подземных вод в районах крупных населенных центров (Москва, Киев, Минск, Брянск, Рига и др.) или усиленного отбора подземных вод для орошения, например в степном Крыму, приводит к угрозе истощения подземных вод — падению пьезометрических уровней, ухудшению качества воды, а местами неблагоприятно отражается на пригородном ландшафте. Имеются случаи загрязнения подземных вод. Истощение и загрязнение подземных вод наблюдаются и во многих странах мира (США, Мексика, Алжир и др.).

Строительство гидротехнических сооружений на крупных реках (плотины, водохранилища), организация на их базе крупных новых массивов орошения вносят существенные изменения в природный процесс формирования географических ландшафтов страны, сказываясь на формировании подземных вод: в зонах подтопления водохранилищами поднимаются уровни грунтовых вод, ухудшается естественная дренированность под орошаемыми землями. В одних случаях увеличивается естественный сток подземных вод — появляются возвратные воды, в других этот сток формируется за счет искусственного дренажа и, как правило, имеет повышенную минерализацию, которая неблагоприятно отражается на качестве воды.

Проблемы рационального использования поверхностных и подземных водных ресурсов при развитии орошения, применения технически совершенных оросительных и дренажных систем, новой техники орошения, борьбы с засолением и заболачиванием поливаемых земель, повторного использования дренажных вод тесно связаны. Поэтому их решают комплексно в Генеральных схемах, составляемых регулярно для каждого крупного развивающегося объекта орошения или бассейна.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ, ОРОШЕНИЕ И ДРЕНАЖ В БАССЕЙНЕ СЫРДАРЬИ

Бассейн Сырдарьи занимает 32% всей территории Средней Азии. Природные условия отдельных частей бассейна весьма разнообразны (рис. 38). Основные культуры, которые возделывают на орошаемых землях, — хлопчатник в средней и верхней частях бассейна и рис в низовьях.

Водные ресурсы бассейна состоят из поверхностного стока Сырдарьи и ее притоков. Главная масса водных ресурсов (74%) формируется в Ферганской долине — 25 км^3 в средний по водности год с колебаниями от 17 до 33,5 км^3 в год.

Основные составляющие Сырдарьи — р. Нарын и р. Карадарья дают соответственно 41 и 11% ресурсов поверхностных вод, или в средний по водности год 13,5 и 3,8 км^3/год. Многочисленные мелкие притоки, формирующиеся в Ферганской долине, имеют сток (по выходе из гор) в среднем 7,7 км^3/год и часто не достигают Сырдарьи, так как их воды разбирают на орошение.

В среднем течении Сырдарья пополняется (8,2 км^3/год) правобережными притоками (рр. Чирчик, Ангрен, Келес). Наибольший сток реки в створе Чардара. Ниже по течению часть стока теряется на транспирацию и испарение в пойме реки во время паводковых разливов, которые в зависимости от расходов реки изменяются от 0,7 до 10 км^3/год при среднем значении 5,5 км^3/год.

Подземные водные ресурсы в бассейне складываются из подземного притока с гор и инфильтрации атмосферных осадков. Они составляют 2,3 км^3/год, или 6,5% общих водных ресурсов. Почти половина ресурсов подземных вод формируется в Ферганской долине. Таким образом, общие водные ресурсы бассейна Сырдарьи для года средней водности оцениваются в 35,5 км^3/год.

Эта вода используется на орошение, теряется на инфильтрацию и частично возвращается, выклиниваясь в русло рек и дренажные каналы. Общий возврат оросительных вод по бассейну достигает 14 км^3/год (в створе до Чардары). Кроме того, около 2 км^3/год возвращается за счет промышленных стоков.

Строительство гидротехнических узлов на Сырдарье и ее главных притоках позволило регулировать сток ее бассейна.

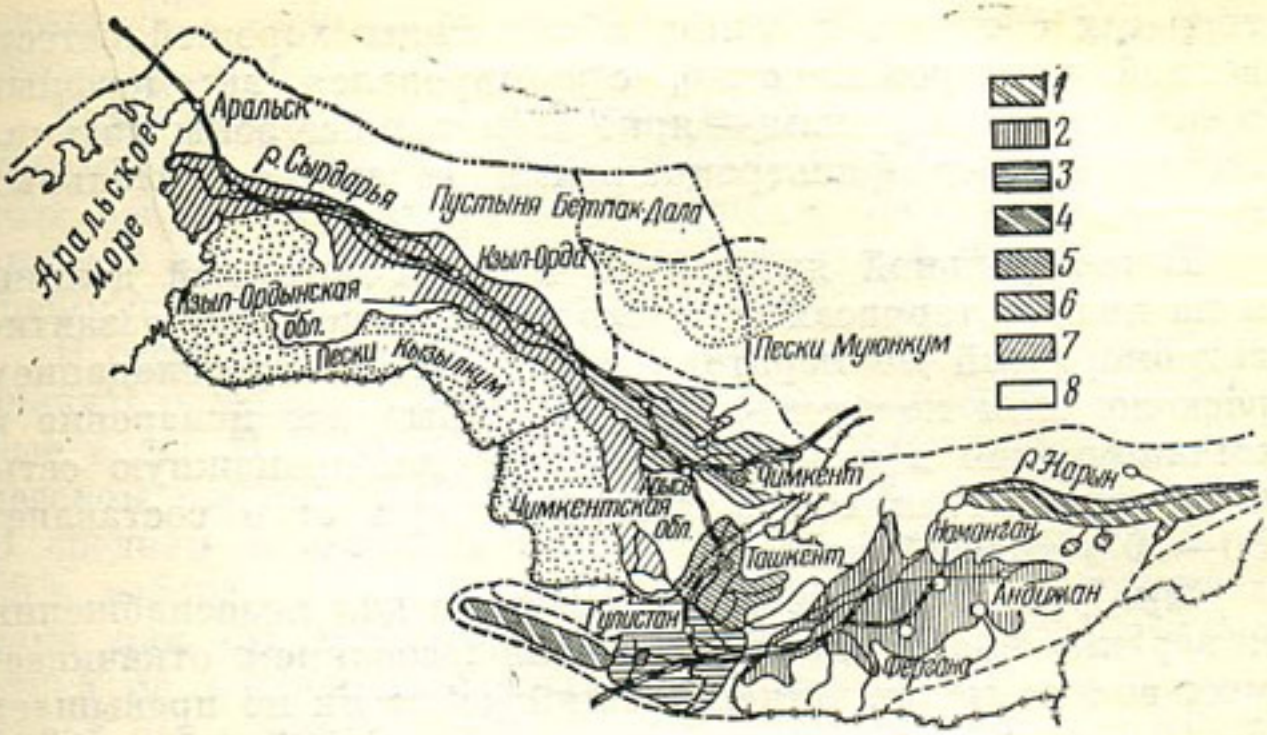


Рис. 38. Схема бассейна р. Сырдарья с орошаемыми районами: *1* — верховья Нарына; *2* — Ферганская долина; *3* — среднее течение; *4* — Фаришская степь; *5* — Чирчик-Ангрен-Келесский район; *6* — Арысь-Туркестанский район; *7* — нижнее течение; *8* — горы.

Одновременно строились крупные магистральные каналы и сооружения на них, реконструировались старые оросительные системы и развивалось строительство новых оросительных систем. Орошение вышло на земли слабодренированные и первично засоленные, что потребовало сооружения коллекторно-дренажных систем. Вовлечение в орошение земель, расположенных на более высоких отметках, повлекло за собой развитие машинного подъема воды.

В результате поливные площади в бассейне увеличились более чем на 1 млн. га и достигли к 1970 г. 2347 тыс. га, из них более половины занято хлопчатником. Однако подавляющая часть оросительной сети была в земляных руслах, поэтому к. п. д. систем низкий (0,4—0,6). Протяженность оросительной сети по отдельным районам достигает 100 м на 1 га; полив поверхностный: по бороздам для хлопчатника и других пропашных культур и затоплением для люцерны и риса. Средневзвешенное удельное водопотребление за год нетто составляет 7524 м^3/га при оросительных нормах брутто 17 400 м^3/га (Фергана).

На оросительных системах старого типа, расположенных на высоких окраинах Ферганской долины, высоких

террасах среднего течения, обладающих хорошей естественной дренированностью, сформировался автоморфный мелиоративный режим — ярко выраженные зоны питания подземных вод фильтрационными водами оросительных систем.

В центральной низменной части Ферганской долины и на низких террасах среднего течения получил развитие гидроморфный мелиоративный режим с преобладанием расходования подземных вод на суммарное испарение и выклинивание в открытую коллекторно-дренажную сеть. Суммарный сток возвратных вод при этом составляет 50—60% водозабора.

Пробурены многие сотни скважин для водоснабжения и вертикального дренажа с использованием откачиваемых вод на месте. Однако общий дебит их не превышает 5—10% всех возвратных вод.

В среднем течении Сырдарьи на равнинах Голодной степи, где естественная дренированность низкая, а почвогрунты имеют первичное засоление, построена новая, технически совершенная система Южного Голодностепского канала на площади около 300 тыс. га. Магистральные каналы имеют бетонное покрытие, распределительная сеть выполнена в трубопроводах или в лотках. Полив осуществляется с помощью шлангов по бороздам. К. п. д. таких систем высокий (0,85). Дренажная сеть, а частично и коллекторная, закрытая, в основном горизонтальная из гончарных труб диаметром 100—150 мм, заложенных в гравийную обсыпку на глубину 3—3,5 м. Средняя удельная протяженность ее равна 55 м/га. Модули дренажного стока, обеспечивающие нормальную эксплуатацию оросительных систем, составляют 0,12—0,15 л/с·га.

Доля дренажных вод от водозабора для новых оросительных систем не превышает 15—18%, увеличиваясь по среднему течению на системах старого типа в зоне Кировского магистрального канала до 28—30%. Здесь получил широкое развитие вертикальный дренаж с частичным использованием откачиваемых вод на месте для орошения (гл. 4). В целом по среднему течению доля возвратных (дренажных) вод составляет 25% водозабора.

Одновременно с ростом орошаемых земель повышался забор воды в оросительные системы: только по Ферганской долине он увеличился с 11—12 км^3 (30-е годы) до 19—20 км^3 (70-е годы). По бассейну в целом забор воды

достиг 37,7 км³/год, в том числе выше створа Чардары около 33 км³/год.

Естественно, что при общих водных ресурсах 35,5 км³ невозможно было бы отбирать 37,7 км³/год на орошение, если бы не было возвратного стока в реку из верхней и средней частей бассейна и повторного его использования преимущественно в нижнем течении.

В горной и предгорной частях бассейна (до Чардары) значительное место в водных ресурсах занимают возвратные воды. В Ферганской долине и в Чирчик-Ангрен-Келесском районе они составляют более 50% забора воды. В среднем течении возвратные воды достигают только 25% забора воды в оросительные системы, а в низовьях реки они отсутствуют, наблюдается лишь рассеивание стока на непроизводительные потери, особенно при разливах рек в половодье (испарение и транспирация). Формирование значительных количеств возвратных вод в Ферганской долине и в среднем течении реки связано с особенностями геологического строения и гидрогеологическими условиями этих районов.

Ферганская котловина — крупное подземное водохранилище, аккумулятор пресных подземных вод в рыхлообломочных четвертичных толщах, заполняющих ее на глубину в несколько сотен метров (рис. 1).

Приподнятые краевые части котловины, сложенные галечными толщами конусов выноса, являются прекрасными полями фильтрации атмосферных осадков, вод поверхностных водотоков и оросительных вод при развитии орошения. Естественный дренаж в Сырдарью (русловое выклинивание) оценивается в 5,5 км³/год.

Фильтрационные воды от развивающегося орошения как бы переполняют чашу подземного водохранилища и увеличивают пропорционально забору сток возвратных вод в реку. Освоение равнинных просторов центральной части Ферганы потребовало строительства разветвленной коллекторно-дренажной сети для осушения озер и болот и рассоления солончаковых земель. По мере роста площади орошаемых земель и увеличения забора воды росли и стоки по коллекторно-дренажным системам, выводящим возвратные воды в Сырдарью (3,4 км³ в 1956—1957 гг. и 9—10 км³ в 70-е годы). Коллекторно-дренажная сеть была построена открытой. Удельная протяженность ее по районам колеблется от 20 до 50 м/га, глубина коллекторов 4—7 м, дрен 2—3 м. В маловодные годы коллектор-

ные воды (минерализация 2—6 г/л) откачиваются для орошения плантации хлопчатника.

Основная масса ежегодно восполняемых подземных вод Ферганской долины образуется за счет инфильтрации оросительных вод на ее территории в объеме 10,2 км^3/год, что составляет половину водозабора. По данным Узбекгидрогеологии (ГИДРОИНГЕО), внешний приток из горного обрамления вместе с питанием грунтовых вод за счет инфильтрации осадков равен 1,1 км^3/год. Из этих ежегодно возобновляющихся ресурсов подземных вод на сток в коллекторы и в реку расходуется 9,1 км^3/год, на испарение на территориях с близкими грунтовыми водами — 1,4 км^3/год, а 0,8 км^3/год используется на месте в долине (извлекаются из буровых скважин и отбираются на орошение из коллекторов).

Увеличение отбора подземных вод внутри территории долины непосредственно из подземного водохранилища системой насосных скважин соответственно скажется на возвратном стоке в Сырдарью.

В настоящее время большая часть стока подземных вод возвращается в реку и с помощью сезонного регулирования в Кайраккумском и Чардаринском водохранилищах используется для орошения нижележащих земель в смеси с поверхностной водой.

Следовательно, формирующиеся в Ферганской долине и в среднем течении бассейна Сырдарьи подземные воды (в основном возвратные оросительные воды), прежде чем использоваться повторно на орошение, проходят двойное регулирование — в подземных и русловых водохранилищах. В русловых водохранилищах подземный сток смешивается с поверхностным. Это очень важно для улучшения качества возвратных вод.

И все же проблема ухудшения качества воды в реке вниз по течению остается нерешенной, так как низовья реки (ниже Чардары) получают в значительной мере возвратную воду. Так, минерализация Сырдарьи от истоков до Кайраккумского водохранилища изменяется от 420 до 2350 мг/л вследствие притока дренажных вод по коллекторам центральной части Ферганы с минерализацией от 2 до 6 г/л. В западной части долины минерализация дренажных вод еще выше.

Кайраккумское водохранилище снижает минерализацию воды в паводок до 710 мг/л и в межень до 1400 мг/л. Поэтому в оросительные системы Голодной степи посту-

пает вода с минерализацией около 1 г/л, а в маловодные годы — до 1,8 г/л.

Пресные воды Чирчика вновь разбавляют воды Сырдарьи до 540 мг/л, а в Чардаринском водохранилище минерализация возрастает до 902 мг/л после сброса коллекторных вод из Голодной степи. Ниже Чардаринского водохранилища до Аральского моря из-за рассеивания стока и приема коллекторных вод минерализация реки возрастает в межень до 1200—1500 мг/л, а в маловодные годы — до 1,8—2 г/л.

По мере дальнейшего развития орошения и строительства дренажных систем на более засоленных землях будут повышаться сток солей в реку и минерализация воды в ней. Только коллекторная сеть Голодной степи ежегодно сбрасывает в реку более 6 млн. т солей.

Решение этой проблемы должно идти по двум направлениям.

Первое направление — уменьшение забора воды в оросительные системы с соответствующим понижением объема возвратных вод. Для этого потребуется перестройка всей старой земляной оросительной и дренажной сети. При замене старых земляных каналов, протяженность которых достигает 100 м/га, современными оросительными системами с к. п. д. 0,95 пропускная способность подводящей сети может сократиться вдвое, соответственно уменьшится и забор воды из реки. Вместе с тем совершенно должна быть перестроена и коллекторно-дренажная система. Она должна быть полностью армирована и закрыта, мощность ее сократится в 5—10 раз. При этом большая часть воды может использоваться на месте из скважин вертикального дренажа. Вывод солей за пределы Ферганской долины и Голодной степи может быть растянут на длительные сроки — сотни лет, так как уровень грунтовых вод должен поддерживаться на глубинах, исключающих вредное действие солей на почвы (автоморфный мелиоративный режим).

Эти мероприятия уменьшат минерализацию воды в Сырдарье. Так, у Кайраккумского водохранилища она будет не более 500 мг/л; в Голодную степь вода будет поступать с минерализацией 400—600 мг/л (с учетом паводковых вод); у Чардаринского водохранилища минерализация воды будет находиться в тех же пределах вследствие опресняющего влияния вод Чирчика, а низовья будут получать воды с минерализацией от 600—800 мг/л в па-

водки до 1000—1200 мг/л в межень. Закрытые с меньшей протяженностью оросительные и дренажные системы позволят увеличить орошаемую площадь в центральной части Ферганы и в зоне Кировского магистрального канала не менее чем на 10% и получить на этих землях дополнительное количество сельскохозяйственной продукции;

второе — разработка техники и технологии освобождения дренажных вод от вредных солей и сброс возвратных вод в реку после их обессоливания и очистки (Дмитриев, Ярославский, 1977).

Первое направление определяется требованиями общего технического прогресса в мелиоративном строительстве и позволяет поставить эксплуатацию оросительных систем на современную промышленную базу с программированием управления водного, солевого, питательного и теплового режимов орошаемых земель.

Второе направление необходимо во всех случаях, где дренажные стоки имеют большую минерализацию (Арало-Каспийская и Кура-Араксинская низменности и другие молодые, первично засоленные равнины, на которых развивается или будет развиваться орошение).

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ, ОРОШЕНИЕ И ДРЕНАЖ В ЗАВОЛЖЬЕ

Бассейн Волги занимает восточную половину европейской части Советского Союза. На большей территории эти земли подвержены периодическим засухам и нуждаются в орошении.

Полноводная Волга, протекающая по низким отметкам, дренирует поверхностные и подземные воды бассейна. Пригодные для орошения земли лежат выше уреза реки и требуют машинного подъема воды. Только после строительства каскада гидроузлов на реке с мощными гидроэлектростанциями и крупными водохранилищами были созданы условия для развития орошения в Поволжье.

В 1969 г. Ленгипроводхоз разработал схему развития орошения в районах Нижнего и Среднего Поволжья и междуречья Волго-Урал общей площадью 52,5 млн. га, в том числе 19,2 млн. га пашни и 21,7 млн. га естественных кормовых угодий.

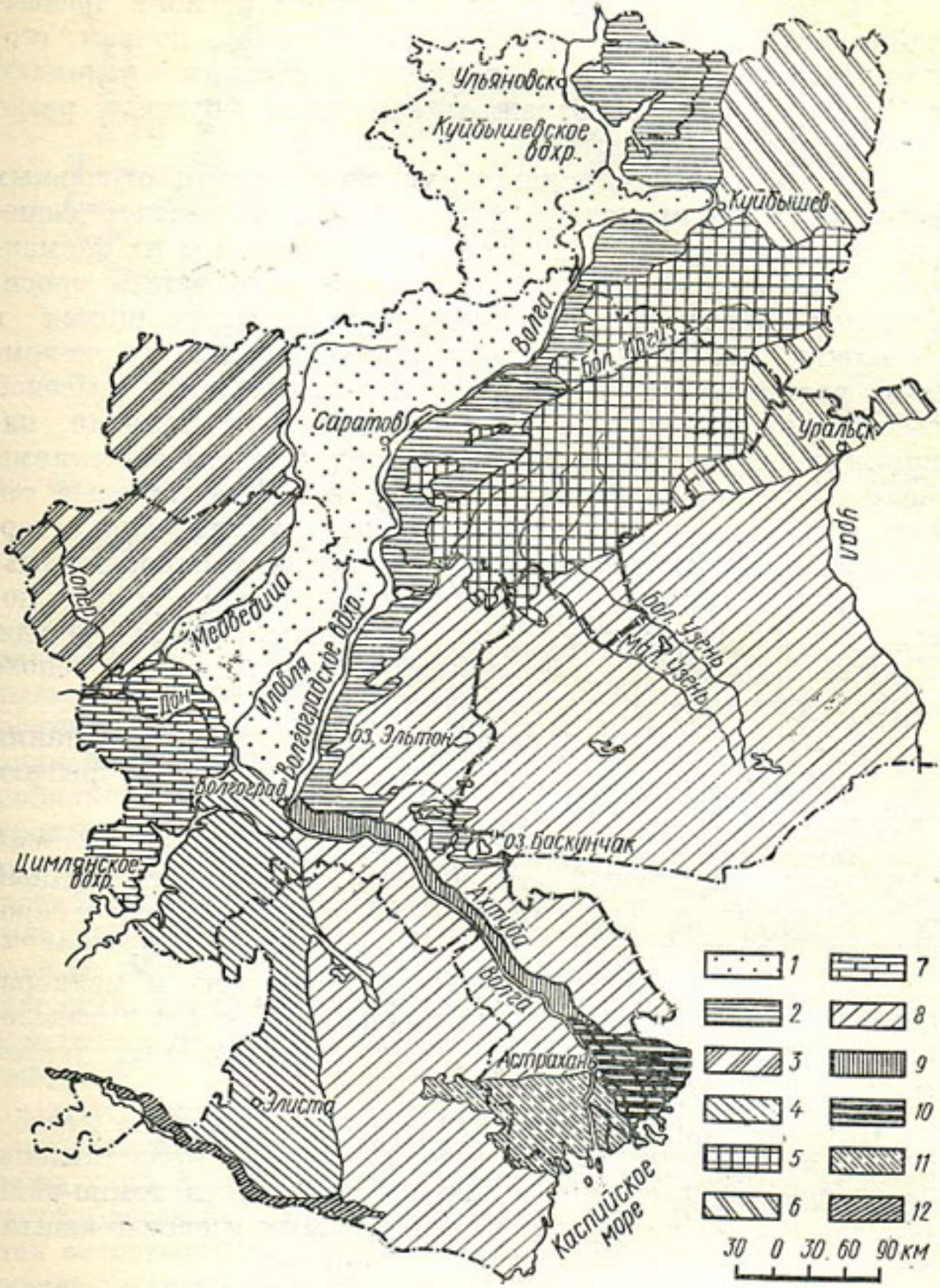


Рис. 39. Основные геоморфологические регионы Поволжья (данные Ленгипроводхоза и Южгипроводхоза):

Слабо дренированные: *1* — Приволжская возвышенность; *2* — долина р. Волги. *Весьма слабо дренированные;* *3* — Окско-Донская моренная равнина; *4* — Ергенинская возвышенность; *5* — Сыртовое Заволжье; *6* — Высокое Заволжье и отроги Общего Сырта; *7* — Донская равнина. *Бессточные:* *8* — Прикаспийская низменность; *9* — пойма р. Волги; *10* — дельта р. Волги; *11* — область западных подстепных ильменей; *12* — Манычская впадина.

Природные условия этого обширного региона чрезвычайно разнообразны (рис. 39). По рельефу, почвам, геологическому строению и гидрогеологическим условиям в Заволжье (на левобережье) выделяют крупные, резко обособленные регионы.

Разнообразие природных условий внутри отдельных регионов предопределяет разнообразие проектных решений по отдельным мелиоративным системам и их элементам. Но имеются общие черты, присущие новым оросительным системам, проектируемым и строящимся в Заволжье. Эти черты связаны с необходимостью экономного расходования воды, что обусловливается высокой себестоимостью воды в случае машинного подъема, напряженностью общего водного баланса и соображениями мелиоративного порядка. Поэтому все оросительные системы проектируют с высоким к. п. д., технически совершенными, с облицованными каналами, с распределительной сетью в трубах, с орошением — дождеванием широкозахватными машинами с малой интенсивностью дождя. Водораспределение должно осуществляться на основе автоматизации и телеуправления.

Режим орошения проектируется в строгом сочетании с погодными условиями, только как дотация, покрывающая недостаток осадков.

В целом сложность и разнообразие природных условий Поволжья определяют этот объект как весьма трудный для мелиорации. Так, только 15% площадей могут орошаться без устройства искусственного дренажа.

Исходя из почвенных, гидрогеологических и мелиоративных условий, земли первой очереди орошения выделены главным образом в пределах аллювиальных террас Волги на площади 1,8 млн. га.

Преимущественное развитие они получили на левобережье и соответственно природным зонам представлены на севере черноземами, в центральной части темно-каштановыми и на юго-востоке каштановыми и светло-каштановыми почвами в комплексе с солонцами.

Литологический разрез аллювиальных террас и гидрогеологические условия с небольшими вариациями выдержаны по всей долине: аллювиальные покровные суглинки подстилаются на глубине 10—20 м мощной толщей обычно мелкозернистых, слоистых аллювиальных песков с прослоями суглинков и глин. Грунтовые пресные воды залегают в толщах песков и дренируются рекой.

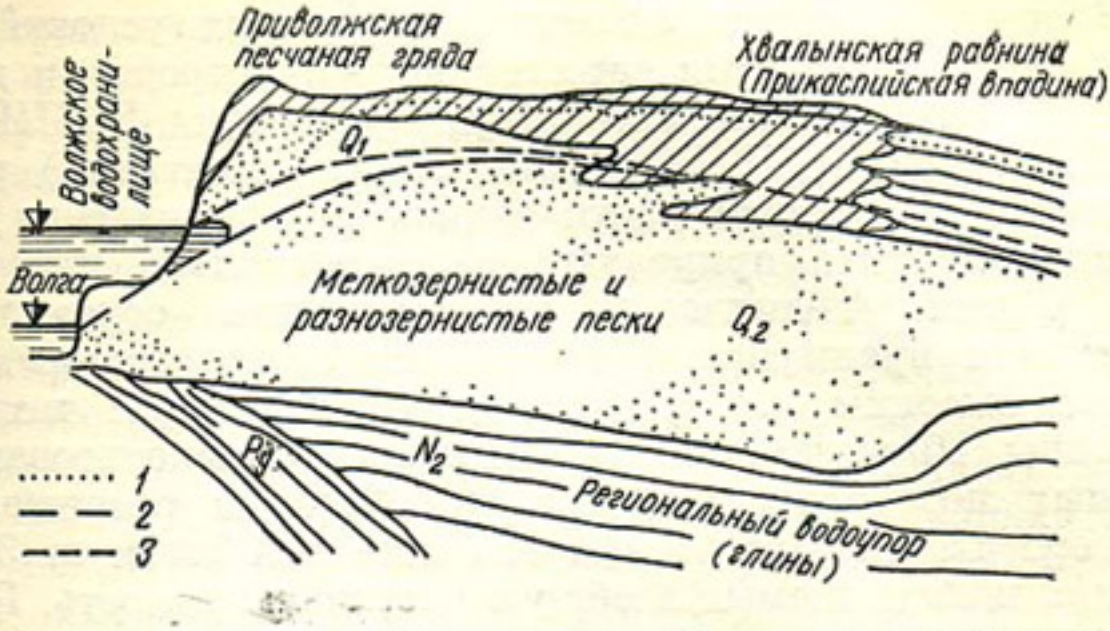


Рис. 40. Схема строения Волгоградского Заволжья в районах нового орошения:

1 — прогнозный уровень грунтовых вод при орошении без дренажа; *2, 3* — уровень грунтовых вод до и после строительства водохранилища.

Модули подземного стока в бассейне Волги сравнительно невелики. На большей части территории они не превышают десятых долей литра в одну секунду с 1 км^2, увеличиваясь до единиц лишь на отдельных участках верхней и средней частей бассейна реки, сложенных водообильными породами. Однако меженный сток реки до строительства водохранилищ определялся только притоком подземных вод. Со строительством водохранилищ уровни воды в реке поднялись до 20 м, в связи с чем уменьшилась естественная дренированность прибрежной полосы. Местами понизился подземный сток. Так, для Заволжской оросительной системы, по данным Волгогипроводхоза, сток с песчаной гряды сократился на 30% (рис. 40).

Опыт орошения земель в пределах волжских террас (Энгельсская оросительная система в средней части бассейна реки и Кисловская оросительная система в нижней части бассейна) свидетельствует о том, что существующая естественная дренированность при орошении обеспечивает подземный сток лишь в узкой зоне, прилегающей к реке. На остальной территории необходимо устраивать искусственный дренаж, чтобы предотвратить подъем грунтовых вод, скорость которого достигает 0,7—1 м/год (Энгельсская, Кисловская и другие оросительные системы). Темпы подъема грунтовых вод будут, очевидно, расти по мере сдачи в эксплуатацию крупных орошаемых земельных массивов.

В связи со специфичностью природных условий Заволжья для сохранения естественного плодородия и дальнейшего его повышения при орошении ВНИИГиМ (Л. Г. Балаев, В. И. Бобченко, Н. М. Решеткина) рекомендовал на большей части земель первой очереди орошения сохранить природный рассолительный автоморфный режим. Технически это возможно осуществить сочетанием преимуществ совершенных оросительных систем с высоким к. п. д. (0,9) и дождевальной техники (машины «Фрегат» и «Волжанка») с использованием пресных подземных вод на орошение из разреженной сети оросительно-дренажных скважин с дебитом от 30 до 100 л/с, подключаемых в общую оросительную сеть. Пресные подземные воды используются на месте вместе с поверхностными.

В этих условиях суммарная мощность насосных колодцев принимает на себя нагрузку инфильтрационных вод при опреснительном режиме орошения (на юге зоны), а также грунтовых в связи с изменениями режимов (водного, теплового и др.) зоны аэрации под орошаемым массивом и уменьшением расхода грунтовых вод на внутригрунтовое испарение. При залегании грунтовых вод на глубине более 10 м этой величиной обычно пренебрегают. Однако в данном случае она, возможно, соразмерна с инфильтрационным питанием, что должно учитываться при расчете нагрузки на оросительно-дренажные скважины. Средний модуль стока в вегетационный период из оросительно-дренажных колодцев составит 0,05—0,1 л/с·га.

Водно-солевой баланс регулируется естественным стоком подземных вод, который контролируется пьезометрами и сохраняется на прежнем уровне. Это условие особенно важно для волжских террас, потому что под гидрокарбонатно-кальциевыми водами залегают содовые, извлечение которых для орошения недопустимо. Качество воды должно постоянно контролироваться.

Откачиваемая подземная пресная вода используется на орошение, что составляет 10—20% забора воды в систему. Стоимость 1 м^3 подземных вод, используемых на орошение, оказывается ниже стоимости 1 м^3 поверхностных вод, так как из любых точек забора воды в Заволжье требуется машинный подъем ее на все земли. Дренажный эффект, обеспечивающий надежность работы системы, получается при этом бесплатным.

Строительство и эксплуатацию оросительно-дренажных колодцев можно начинать до полного завершения поверхностного орошения или одновременно с ним. На скважинах таких кустов насосных колодцев, действующих самостоятельно, организуют опытно-производственные участки орошаемого земледелия, что особенно важно для новых районов. Это практикуют на Каховской системе Украины, а также на Быковской оросительной системе в Волгоградском Заволжье. Исследования на опытно-производственных системах позволяют решить многие важные вопросы до пуска магистрального канала и использовать их при проектировании. Первые группы скважин успешно работают в Куйбышевской, Саратовской и Волгоградской областях.

В зависимости от конкретных особенностей литологических разрезов по отдельным массивам в пределах террас Волги глубина скважин изменяется от 40 до 80 м, а дебиты — от 30 до 100 л/с в каждой скважине. Расстояние между скважинами при этом значительно колеблется. Одна скважина приходится на 300—1000 га (валовой).

При работе системы уровень грунтовых вод будет иметь бугристую поверхность и залегать на глубине от 10 до 30 м. В зимний период поверхность грунтовых вод выравнивается и устанавливается сток в реку. Это техническое решение оказалось перспективным не только на волжских террасах, но и в Волгоградском Заволжье. Скважины, опущенные в Хазарские пески в пределах севера Прикаспийской низменности (на Кисловской и Быковской оросительной системах), имели дебиты до 40 л/с и более каждая при радиусах действия до 2 км.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ *

Допустимая концентрация солей в поливной воде зависит от ряда факторов и, в частности, от химического состава воды, дренированности территории, способа орошения, водно-физических свойств и засоленности почв и грунтов, солеустойчивости сельскохозяйственных культур. Поэтому единой качественной и количественной оценки пригодности ирригационной воды не существует.

Достаточно отметить опыт использования минерализованных вод с общим содержанием солей до 10—20 г/л и более для полива различных культур, чтобы убедиться, насколько широк диапазон

* Раздел написан С. Я. Сойфер.

постановки экспериментов и практического использования минерализованных вод. Так, морская вода — хорошо сбалансированная ионная система, основные компоненты которой (хлористый натрий и хлористый магний) обладают высокой растворимостью; прочие органические и химические соединения обеспечивают питание растений. В песчаных породах при интенсивной фильтрации контакт корневых волосков и соленых вод столь непродолжителен, что не оказывает на растение губительного действия. При орошении же на слабопроницаемых почвах происходит непрерывная аккумуляция солей даже при поливе пресной водой. При недостаточной дренированности это может привести к засолению, превышающему предел солеустойчивости растений.

Оптимальная концентрация легкорастворимых солей в почвенных растворах 3—5 г/л, при концентрации более 12 г/л растения испытывают сильное угнетение и гибнут (Минашина, 1972). Незасоленными считаются почвы, содержащие менее 0,3—0,4% легкорастворимых солей. Наиболее токсичны — бикарбонаты щелочей (особенно сода), затем хлориды и нитраты щелочей. Наименее токсичны — сульфаты, за исключением сульфата магния. При содовом засолении заметное угнетение растений наблюдается при содержании иона HCO_3, равном 0,08% (предельное содержание 0,001%), при хлоридном засолении предельное содержание иона хлора составляет 0,01% к массе сухой почвы. При длительном использовании минерализованных вод для орошения необходимо соблюдение условия предельного накопления солей в почве.

Согласно международной классификации подземных вод по содержанию плотного остатка, различают пресные (до 1 г/л), слабосолоноватые (1—3 г/л), среднесолоноватые (3—5 г/л), сильносолоноватые (5—10 г/л), соленые (10—35 г/л), рассолы (>35 г/л).

При концентрации поливных вод, превышающей 1 г/л, необходимы условия обеспеченной дренированности, промывного режима орошения и высокого уровня агротехники. Если поливная вода или почва не содержит гипса, возможно осолонцевание почв за счет поглощения иона Na^+ особенно при соотношении $Na^+/(Ca^{++}+Mg^{++}) \geqslant 3$—4. При плотном остатке, не превышающем 1,5 г/л, используются воды с соотношением $Na^+/Ca^{++}<5$, при 1,5—5 г/л — $Na^+/Ca^{++}<2,5$.

Применение поливных вод с концентрацией более 5 г/л на негипсированных почвах недопустимо. При увеличении концентрации соды в оросительной воде интенсивность адсорбции натрия повышается, а роль кальциевых резервов в почве снижается, так как карбонаты становятся менее растворимыми, а кристаллы гипса покрываются кальцитовой оболочкой. Содержание бикарбоната натрия в оросительной воде, превышающее 1,25 мг·экв/л (по Вилкоксу), является предельным, а

при суммарном содержании карбоната и бикарбоната натрия более 2,5 мг·экв/л вода непригодна для орошения почв, не содержащих гипса.

Д. Канвар и Б. Канвар установили, что токсичность нормальной соды проявляется при концентрации, в 4 раза меньших, чем для бикарбоната натрия, поэтому воды, содержащие 0,6 мг·экв/л нормальной соды, непригодны для орошения без улучшения их качества.

При изучении проблемы осолонцевания важно исследовать группу микроорганизмов почв и их активность. Длительное орошение минерализованной сульфат-натриевой водой способствует активизации сульфатредуцирующих микроорганизмов в почве. Эта группа микроорганизмов способствует восстановлению сульфатов с образованием соды.

И. Н. Антипов-Каратаев и Г. М. Кадер (1961) изучали качество оросительных вод в связи с опасностью осолонцевания почв и выявили зависимость между поглощением Na^+ и концентрацией соды в оросительной воде. Они предложили оценку качества оросительных вод по коэффициенту ионного обмена K:

$$K = \frac{rCa^{++} + rMg^{++}}{rNa^{+} + 0,23S}, \qquad (96)$$

где S — минерализация воды, г/л; rCa^{++}, rMg^{++}, rNa^{+} — эквивалентное содержание катионов в воде.

При $K \geqslant 1$ вода считается пригодной для орошения, при $K < 1$ непригодной.

Требование к качеству воды, используемой для орошения в США, значительно выше. Общая концентрация не должна превышать 0,5 г/л при содержании Na^+ среди катионов растворенных солей не более 60%, использование более минерализованных вод возможно при высокой проницаемости почв, обеспеченном дренаже и промывном режиме орошения.

Американская классификация основана на показателе натриевого адсорбционного отношения (SAR), определяемого по формуле Гапона:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}},$$

где Na^+, Ca^{++} и Mg^{++} — концентрация катионов солей, мг·экв/л.

При $SAR<10$ опасность осолонцевания малая, при $SAR = 10 \div 18$ — средняя, при $SAR = 18—26$ — высокая, при $SAR>26$ — очень высокая.

Эта классификация не учитывает резервы Ca^{++} в почвах, и оценка возможности осолонцевания в ряде случаев будет преувеличенной. Дополнительный эффект от наличия резервов кальция в почвах учитывает «выверенное» натриевое адсорбционное отношение, используемое в настоящее время некоторыми лабораториями США:

$$SAR^* = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} [1 + (8{,}4 - pH_c)], \qquad (97)$$

где pH_c — расчетная величина, учитывающая сумму катионов $Ca^{++}+Mg^{++}$ и анионов $CO_3^{--}+HCO_3^-$;

$$pH_c = (pK_2 - pK_c) + p\,(Ca^{++}+Mg^{++}) + pAl_к.$$

Абсолютные значения слагаемых приведены в таблице 39.

Если $pH_c>8{,}4$, то условия для растворения извести в почве при фильтрации поливной воды благоприятны. При $pH_c<8{,}4$ наблюдается тенденция к выпадению извести из поливной воды.

Если $SAR^*<6$, то осолонцевание не ожидается, при SAR^*, равном 6—9, возможно постепенное накопление солей в почве, при $SAR^*>9$ может произойти осолонцевание почв. SAR может быть уменьшено путем увеличения кальция в оросительной воде. В работах американского ученого Л. К. Стромберга отмечается, что оросительные воды должны содержать не менее 20 мг/л кальция для предотвращения дисперсии почвы. По данным Бюро мелиорации США, норма внесения гипса на 1230 м^3 поливной воды должна быть 90—450 кг. Из исследований, проводимых в США (Нестерова, 1973), определенный интерес представляет также изучение возможности полива минерализованной водой при дождевании. Было отмечено, что листья поглощают хлор, натрий, бор и другие токсичные для растений элементы. Допустимое содержание хлора в оросительной воде при поливе дождеванием составляет 100 мг/л, натрия — 70 мг/л.

Возможность использования минерализованных вод с учетом условий орошения отражают, например, методы Израэльсена, Сабольча и Дараба. Формула Израэльсена позволяет определить общий слой оросительной воды M

Таблица 39. **Таблица для определения pH_c в зависимости от суммы катионов и анионов**

$Ca^{++}+Mg^{++}+Na^{+}$, мг·экв/л	pK_2-pK_c	$Ca^{++}+Mg^{++}$, мг·экв/л	$p(Ca^{++}+Mg^{++})$	$CO_3^{--}+HCO_3^{-}$, мг·экв/л	$pAl_к$
0,5	2,11	0,05	4,60	0,05	4,30
0,7	2,12	0,10	4,30	0,10	4,00
0,9	2,13	0,15	4,12	0,15	3,82
1,2	2,14	0,20	4,00	0,20	3,70
1,6	2,15	0,25	3,90	0,25	3,60
1,9	2,16	0,32	3,80	0,31	3,51
2,4	2,17	0,39	3,70	0,40	3,40
2,8	2,18	0,50	3,60	0,50	3,80
3,3	2,19	0,63	3,50	0,63	3,20
3,9	2,20	0,79	3,40	0,79	3,10
4,5	2,21	1,00	3,30	0,99	3,00
5,1	2,22	1,25	3,20	1,25	2,90
5,8	2,23	1,58	3,10	1,57	2,80
6,6	2,24	1,98	3,00	1,98	2,70
7,4	2,25	2,49	2,90	2,49	2,60
8,3	2,26	3,14	2,80	3,13	2,50
9,2	2,27	3,90	2,70	4,00	2,40
11,0	2,28	4,97	2,60	5,00	2,30
13,0	2,30	6,30	2,50	6,30	2,20
15,0	2,32	7,90	2,40	7,90	2,10
18,0	2,34	10,0	2,30	9,90	2,00
22,0	2,36	12,5	2,20	12,5	1,90
25,0	2,38	15,8	2,20	15,7	1,80
29,0	2,40	19,8	2,00	19,8	1,70
34,0	2,42				
39,0	2,44				
45,0	2,46				
51,0	2,48				
59,0	2,50				
67,0	2,52				
76,0	2,54				

(м) в зависимости от степени минерализации воды C (кг/м^3), предельно допустимого содержания солей в почве S (кг на 100 кг почвы), плотности почвы γ (кг/м^3) и мощности увлажняемого слоя почвы H (м):

$$M=\frac{S\gamma H}{C}\,10^{-2}. \qquad (98)$$

По формуле (98) можно найти слой оросительной воды заданной минерализации, при котором содержание солей в почве становится предельно допустимым. Отношение этой величины к ежегодной оросительной норме опре-

делит число лет, по истечении которых почва может оказаться на грани засоления.

И. Сабольч и К. Дараб определяют предельно допустимую степень минерализации оросительной воды с помощью константы солевого режима почвы d:

$$d = b - \left(a + \frac{CM}{H\gamma} 10^2 \right), \qquad (99)$$

где a и b — содержание растворимых солей в почве в начале и в конце наблюдений, кг на 100 кг почвы.

При $a = b$, то есть условии, когда не меняется содержание солей в почве, предельно допустимая минерализация оросительной воды равна:

$$C = \frac{d\gamma H}{M} 10^{-2}. \qquad (100)$$

Константа солевого режима, вычисленная по формуле (99), соответствует предельно допустимому содержанию солей в почве, найденному по выражению (98). Если свойства почв позволяют сравнительно быстро обновлять почвенные растворы и почвы не обладают сорбционными свойствами, то при частых поливах возможно, как показывает опыт, использование воды с минерализацией более 3—5 г/л, а в отдельных случаях до 8—15 г/л (И. С. Рабочев, Н. Г. Минашина, Г. А. Ибрагимов, О. Г. Грамматикати, В. А. Емельянов, Г. С. Нестерова, Г. М. Гусейнов, Н. М. Решеткина, А. К. Спицын, А. В. Шуравилин, Х. И. Якубов и др.).

Вместе с тем в ряде случаев целесообразно использовать минерализованные воды для промывки солончаков. Соли двухвалентных катионов обладают способностью коагулировать диспергированные почвенные частицы и коллоиды и тем самым увеличивать скорость фильтрации промывной воды (В. А. Ковда, В. В. Егоров, П. С. Панин и др.). Коагулирующая способность минерализованных вод тем выше, чем меньше отношение натрия к кальцию или натрия к сумме щелочноземельных катионов.

По результатам исследований, выполненных Л. Н. Василенко под руководством Н. М. Решеткиной в условиях Волгоградского Заволжья, предельное содержание натрия в оросительной воде составляет 50% суммы катионов. Подземные воды с большим содержанием натрия могут быть использованы в этих условиях после улучшения их качества и предварительного внесения гипса в почву. По

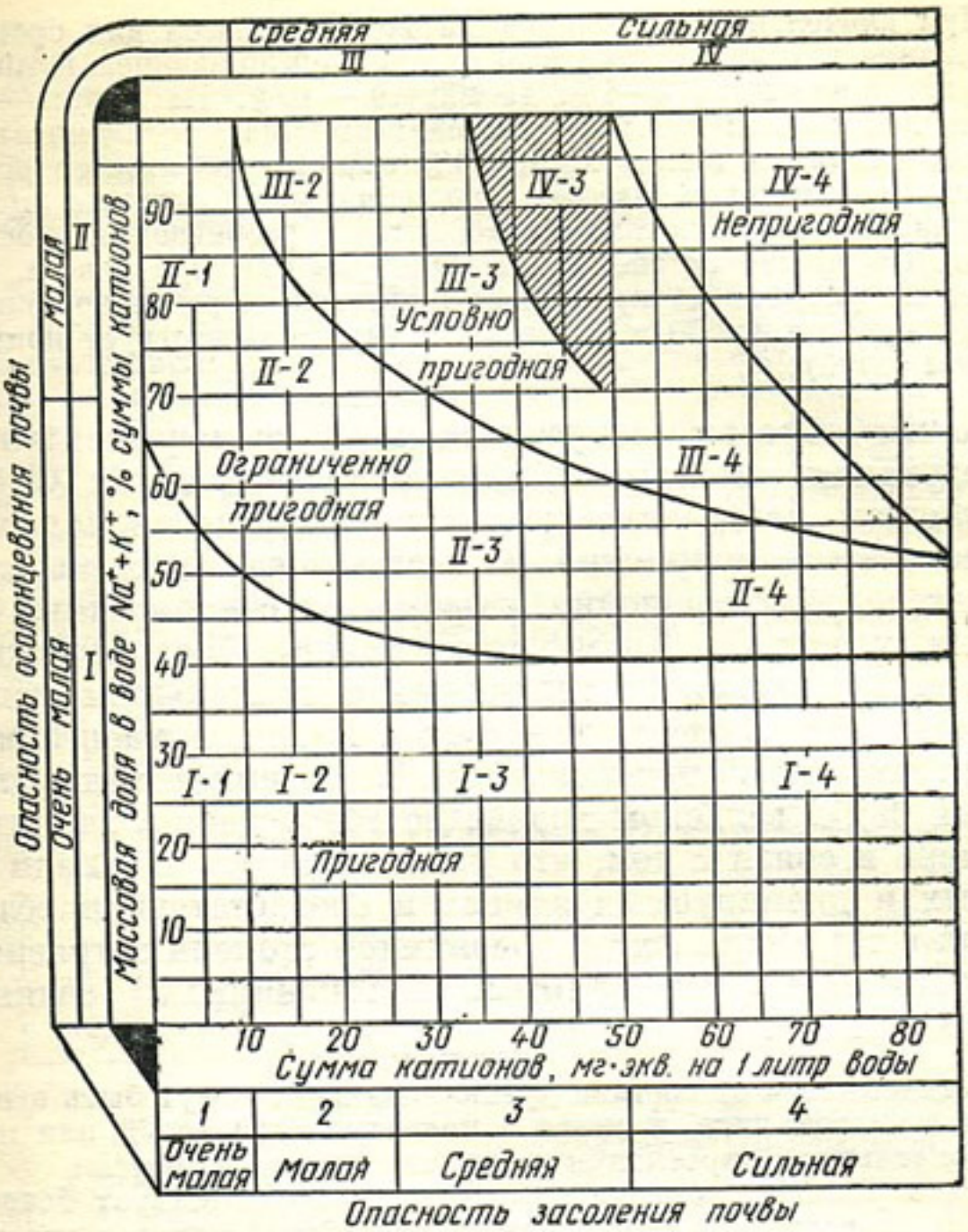


Рис. 41. Классификация минерализованных вод по степени пригодности для орошения.

опытам А. М. Можейко и Т. К. Воротник, проведенным на Украине, вода может вызывать осолонцевание почв при содержании в ней $Na^+ + K^+$ более 65% суммы катионов.

На основании исследований, выполненных на Украине, А. И. Болдыревым (1976) предложена классификация минерализованных вод по степени пригодности для орошения. В этой классификации вода характеризуется двумя показателями — общей минерализацией и относительным содержанием суммы натрия и калия. Выделено 4 класса воды по опасности осолонцевания почвы при орошении: I — вполне пригодная; II — ограниченно пригодная; III — условно пригодная; IV — непригодная.

При длительном использовании воды I класса для орошения содержание натрия и калия в почвенном поглощающем комплексе не будет превышать 3—4%, II класса — 10%, III класса — 16%. При использовании воды IV класса возможно накопление поглощенных натрия и калия более 20% емкости катионного обмена. Поэтому использовать их для орошения можно только при условии внесения химических мелиорантов и разбавления пресными водами. По опасности засоления выделены также 4 класса, показанные на рисунке 41 арабскими цифрами. Предельно допустимые минерализации 50 и 85 мг·экв/л (что соответствует примерно 3 и 5 г/л солей).

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в различных зонах СССР и за рубежом, свидетельствуют о необходимости надежного обоснования мероприятий по использованию минерализованных вод для орошения и промывок в конкретных природных условиях. Кроме того, важны биологические и медицинские аспекты, связанные с длительным использованием минерализованных вод в крупных масштабах.

Актуальность проблемы использования минерализованных вод в сельском хозяйстве возрастает в значительной мере в связи с тем, что увеличиваются площади орошаемых и дренируемых земель и соответственно объемы отводимых дренажных вод различной степени загрязнения минеральными (нетоксичными и токсичными) солями и ядохимикатами.

В зависимости от состава дренажные воды могут быть использованы в чистом виде, в смеси с поверхностной водой или после предварительного опреснения и улучшения их качества.

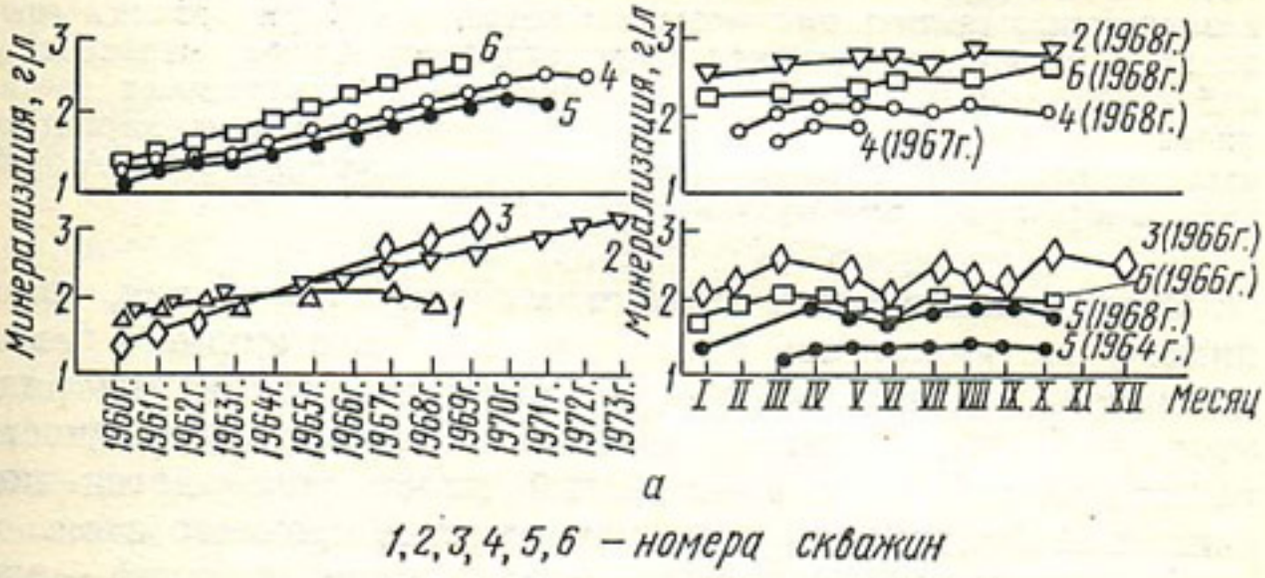
Для опреснения минерализованных вод существует более 20 способов, из которых наибольший практический интерес для сельского хозяйства представляют методы дистилляции, кристаллизации (вымораживания), обратного осмоса, ионного обмена и электродиализа. При опреснении дренажной воды, используемой для орошения, предпочтение отдается методам, позволяющим регулировать степень минерализации воды, то есть в этом случае нет необходимости снижать минерализацию до 0,5—1 г/л, как для питьевого водоснабжения, а достаточно уменьшить ее до 2—5 г/л в зависимости от природных условий и выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Для обоснования мероприятий по использованию дренажных вод для орошения и промывок необходимо изучить динамику минерализации дренажных вод в процессе эксплуатации мелиоративных систем, влияние воды прогнозного или опресненного состава на рост и развитие выращиваемых культур, на структуру, водно-физические свойства и плодородие почв.

Динамика минерализации дренажных вод исследована на опытно-производственных системах вертикального дренажа в Средней Азии (Н. М. Решеткина, Х. И. Якубов, Д. И. Иконому, Л. Л. Корелис, А. К. Спицын и др.) и Араратской равнине (Ананян, 1971).

Геофильтрационное строение участков опытно-производственных систем представлено схемой двуслойного пласта. Верхний слабопроницаемый слой на порядок и более отличается по фильтрационным свойствам от водоносного пласта и содержит основные запасы солей. С глубиной содержание солей постепенно уменьшается и в основном водоносном пласте составляет 1,2—1,5 г/л, местами 4—5 г/л. На системах Средней Азии тип засоления пород, как правило, хлоридно-сульфатно-кальциевый с повышенным содержанием гипса. В условиях Араратской равнины развиты содовые солончаки. Мелиорация здесь осуществлялась кислованием почв 1%-ным раствором серной кислоты с последующим опреснением.

На участке совхоза «Социализм» в Голодной степи разница между уровнем грунтовых вод и пьезометрическим уровнем в процессе наблюдений (1960—1966 гг.) постепенно увеличивалась от 0,14 до 0,7 м. В соответствии с этим интенсифицировался вынос солей от 6,5—7 т/га в первые годы до 17—20 т/га в последующие.



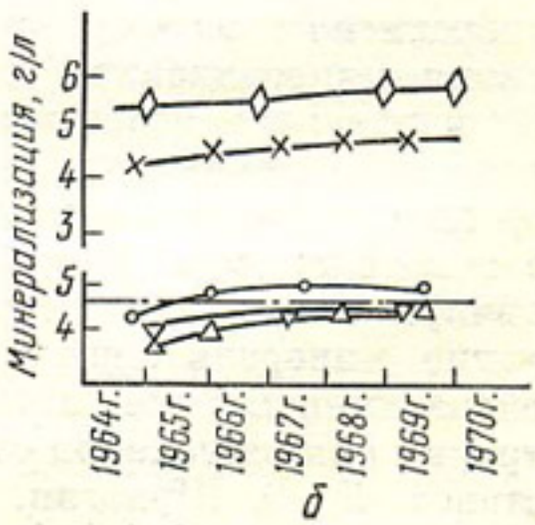


Рис. 42. Динамика минерализации дренажных вод:
а — в совхозе «Социализм», *б* — в совхозе «Пахтаарал».

Наблюдения за солевым режимом пород покровных отложений в 100 м от скважины вертикального дренажа № 5 показали, что за 1963—1966 гг. в толще пород 0—20 м содержание солей уменьшилось: по плотному остатку на 25%, хлор-иону на 54%, сульфат-иону на 20% (З. П. Пушкарева). Это вызвало увеличение минерализации дренажных вод от 1,4 до 2—3 г/л. Амплитуда колебания минерализации дренажных вод в течение года составляет около 0,5 г/л. Наиболее динамичный компонент — хлор-ион (рис. 42, *а*).

Данные полного химического анализа откачиваемых вод в совхозе «Пахтаарал» позволили установить повышенное содержание фосфора, растворимого кальция и отсутствие щелочности. Использование дренажных вод с минерализацией 4,5 г/л при промывках и орошении в первые годы наблюдений дали положительные результаты (Решеткина, Спицын, Шуравилин, 1972). Изменение минерализации дренажных вод по отдельным скважинам отражено на рисунке 42, *б*.

Продолжительность исследований динамики минерализации дренажных вод недостаточно длительна для выявления закономерностей миграционного процесса, но тем не менее позволяет отметить некоторые особенности. Прежде всего представляется возможным выделить три основных периода в формировании «выходной» кривой: увеличение минерализации, период относительной стабилизации, последующее снижение. Они отражают нестационарный миграционный процесс. Продолжительность характерных периодов обусловлена особенностями строения области миграции и режимом эксплуатации систем.

Задачу прогнозной оценки минерализации вод, отводимых вертикальным дренажем, применительно к условиям аридной зоны сформулировали и решили для ряда случаев Д. Ф. Шульгин и М. П. Чиркин. Особенность рассмотренной задачи — нижний пласт рассоляется под влиянием фильтрационного потока из покровного слоя.

В зависимости от применяемого типа дренажа — мелиоративного или профилактического — процесс формирования минерализации дренажных вод будет различным. Отличительная особенность расчетной схемы при мелиоративном дренаже (при промывках и промывном режиме орошения) — неравномерность поля скоростей фильтрации в покровном слое (рис. 43), которая предопределяет различную интенсивность рассоления и влияет на формирование минерализации дренажных вод. Теоретические и экспериментальные исследования поля скоростей фильтрации при рассолении сероземов аридной зоны (В. М. Шестаков, Д. Ф. Шульгин, И. Ф. Музычук, В. М. Маргулис

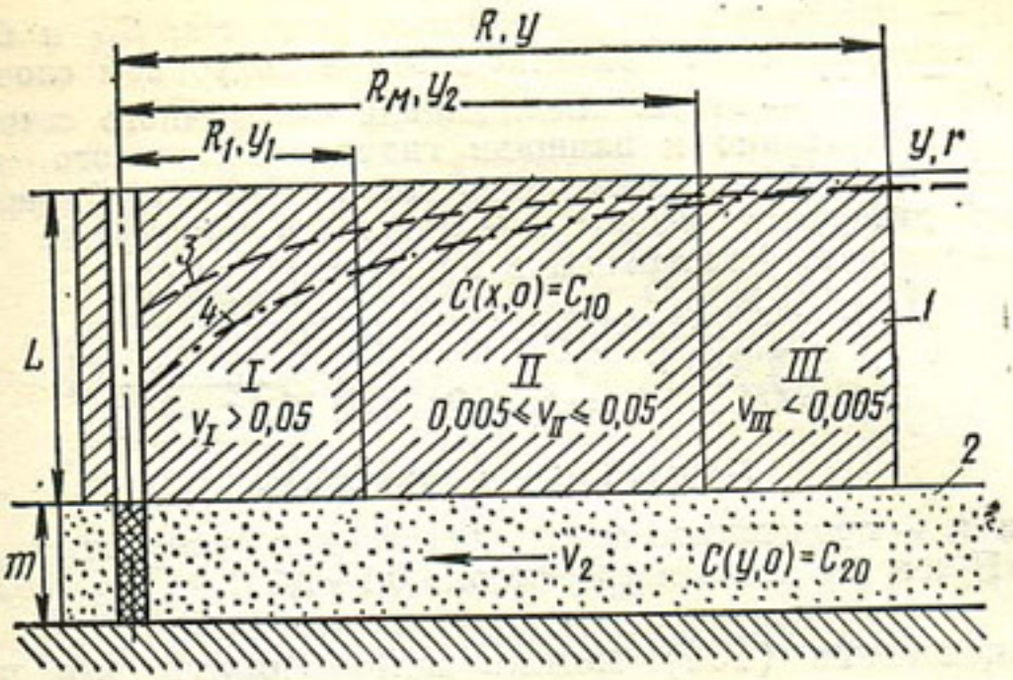


Рис. 43. Схема к расчету динамики минерализации дренажных вод:

1 — суглинки; *2* — пески; *3* — уровень грунтовых вод; *4* — пьезометрический уровень; *L* и *m* — мощность покровной толщи и водоносного пласта.

и др.) позволяют выделить в покровном слое 3 зоны с характерным интервалом скоростей фильтрации:

I зона $v_I > 0,05$ м/сут (преобладает конвективный перенос солей);

II зона $0,005 \leqslant v_{II} \leqslant 0,05$ (конвективный перенос солей и процессы конвективной диффузии соизмеримы);

III зона — $v_{III} < 0,005$ (преобладают процессы конвективной диффузии).

Наиболее неблагоприятная мелиоративная обстановка формируется в III зоне, характеризуемой неустойчивым солевым режимом и проявлением процессов вторичного засоления при гидроморфном режиме. Анализ поля скоростей фильтрации на стадии проектирования дренажа позволит в каждом конкретном случае наметить оптимальный режим работы системы, чтобы исключить формирование III зоны.

Для приближенной прогнозной оценки динамики минерализации стока мелиоративного дренажа может быть использована следующая зависимость (Сойфер, 1976):

$$C_2(t) = C_{20} + C_{10}\overline{\omega}_I \overline{t}_I \exp\left(-\frac{v_I t}{n_э L}\right) + C_{10}\overline{\omega}_{II}\overline{t}_{II} \exp\left(-\frac{0,1 v_{II} L \overline{t}_{II}}{D}\right). \quad (101)$$

где $C_2(t)$ — минерализация дренажных вод, г/л; C_{10} и C_{20} — начальная минерализация подземных вод в покровном слое и пласте, г/л; $\overline{\omega_I}$ и $\overline{\omega_{II}}$ — отношение площади поперечного сечения I и II зон соответственно к площади гидродинамического влияния скважины; $n_э$ — эффективная пористость; D — коэффициент конвективной диффузии, м²/сут; L — мощность покровного слоя, м; v_I и v_{II}—скорость фильтрации в I и II зоне, м/сут.

$$t_I = t/t_к; \quad t_к = 7n_э L/v_I$$

$$\overline{t_{II}} = t/t_c; \quad t_c = t_1 + 2t_2 + 2\sqrt{t_1 t_2 + t_2^2}$$

$$t_1 = L/v_{II}; \quad t_2 = 4D/v_{II}^2,$$

где $t_к$ и t_c — продолжительность рассоления покровных отложений I и II зон (до значения примерно 0,1—0,2 C_{10}).

Зависимость (101) можно использовать для приближенной оценки продолжительности формирования характерных периодов, например периода наступления максимального значения концентрации дренажных вод для оценки возможности использования их для орошения. Эта зависимость не учитывает неравномерности исходного засоления, гетерогенности строения среды, которые влияют на формирование минерализации дренажных вод в начальный период.

Дальнейшие исследования динамики минерализации дренажных вод целесообразно развивать в трех основных направлениях:

постановка долговременных натурных экспериментов и наблюдений на действующих объектах;

схематизация природных условий и построение расчетных схем;

теоретические исследования солепереноса и обоснование математической модели.

Глава 7

КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Скважины вертикального дренажа отличаются от скважин для водоснабжения как по условиям работы, так и по задачам, что определяет выбор их конструктивных элементов и технологию строительства.

Если скважины для водоснабжения работают как одиночные (в случае сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ) или как группы сосредоточенных на сравнительно небольших площадях водозаборов, ограниченных охранной зоной, то скважины вертикального дренажа, как правило, рассредоточены на крупных орошаемых массивах (многие десятки и сотни тысяч гектаров) и работают в едином режиме со всей гидромелиоративной системой, являясь ее органической частью. Скважина вертикального дренажа, как правило, располагается непосредственно на орошаемой территории, занимая лишь небольшую площадку, необходимую для размещения наземной части оборудования и ее технического обслуживания.

В отличие от скважин для водоснабжения, цель которых — каптирование строго определенного водоносного горизонта, обладающего известными питьевыми качествами, скважины вертикального дренажа глубиной 40—100 м должны получать возможно больше воды из верхней части напорного комплекса подземных вод. При этом необходимо усилить нисходящие фильтрационные токи грунтовых вод из покровной толщи мелкозема, а в случае многослойного разреза также и через слабопроницаемые прослои между отдельными водоносными слоями. При водоснабжении недопустимо смешение верхних, обычно худ-

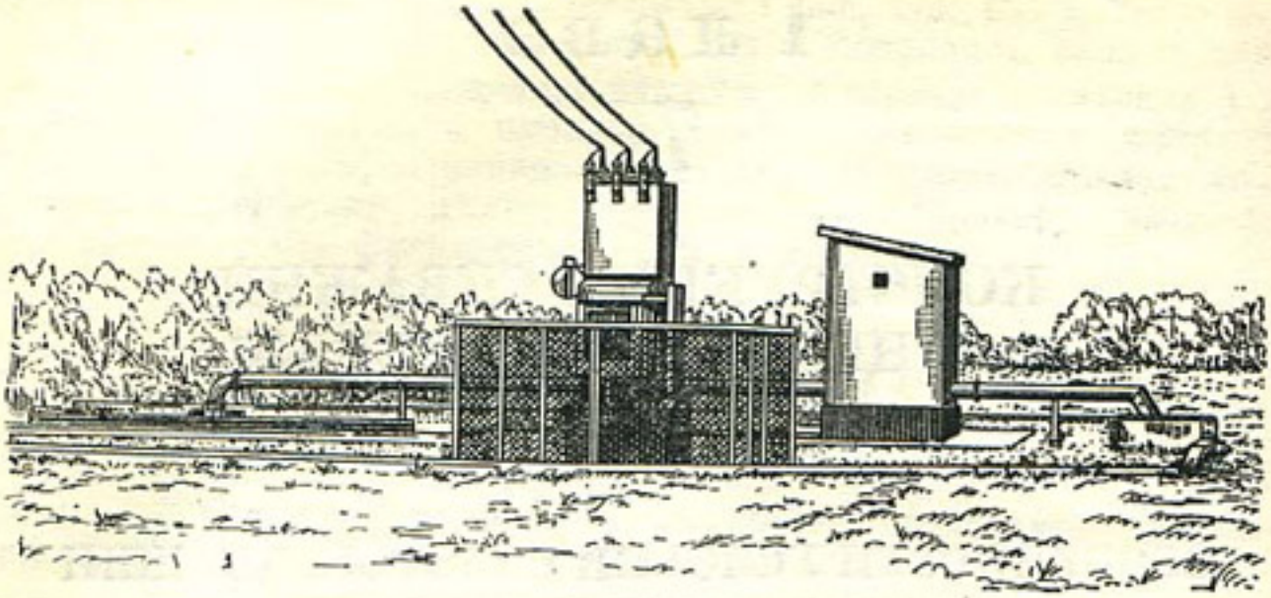


Рис. 44. Скважина вертикального дренажа в Голодной степи.

щих по качеству, грунтовых вод с водами основного водоносного горизонта, из которого ведется откачка. Задача же вертикального дренажа — усиление гидравлической связи между грунтовыми водами и водами каптируемого пласта путем создания перепада давлений $(H_1 - h)$ в результате откачек. В особых случаях приходится сооружать специальные скважины-усилители перетекания (гл. 5). Поэтому при строительстве скважин вертикального дренажа водоприемная поверхность фильтра скважины должна принимать приток подземных вод из всего водосодержащего комплекса.

Естественно, что чем выше дебит скважины вертикального дренажа, тем больше ее дренирующее влияние (при прочих равных условиях).

Из технико-экономических и хозяйственных соображений выгодно увеличить удельный дебит, улучшив конструкцию скважины (предельного сокращения сопротивления скважины), то есть уменьшить число скважин на массиве. Каждую скважину вертикального дренажа следует рассматривать как узловой элемент гидромелиоративной системы, представляющий достаточно сложное гидротехническое сооружение. Оно состоит из водозаборной подземной части и комплекса наземных сооружений (рис. 44), обеспечивающих нормальную эксплуатацию подземного водозабора и отвод извлекаемой воды по назначению. Подземное водозаборное сооружение имеет следующие конструктивные элементы:

водоприемник, отбирающий воду; в качестве водоприемника используется обычно гравийно-песчаная обсыпка,

которая работает в контакте с грунтом водоносного пласта;

обсадную колонну фильтрового каркаса, по которой транспортируется вода, поступившая через водоприемник;

насосно-силовое оборудование;

датчик уровня воды.

Для получения высоких дебитов при нормальной работе скважины вертикального дренажа необходимо, чтобы конструкция ее отвечала следующим требованиям:

диаметр фильтрового каркаса должен позволять свободный монтаж и демонтаж насосно-силового оборудования и приборов автоматики и телемеханики;

водоприемная часть скважины должна обеспечивать максимальный водозабор при минимальном понижении воды в скважине.

Водоприемная часть — наиболее ответственное звено подземного сооружения.

Очень важно правильно подобрать фильтр. Это дает возможность уменьшить или вообще предотвратить механическую суффозию грунта из водоносного пласта, что удлиняет срок службы насосно-силового оборудования, сокращает срок строительных откачек и предотвращает опасность обвала кровли, снижает входные сопротивления и облегчает эксплуатацию вертикального дренажа.

Выбор конструкции фильтра зависит от литологического строения территории (гранулометрического состава и мощности водоносного пласта), гидромеханических условий эксплуатируемого пласта, хозяйственного значения скважин, величины водозабора и др.

В крупнообломочных породах, а также в гравелисто-песчаных грунтах применяют наиболее простую конструкцию фильтра — перфорированную трубу с щелевыми или круглыми отверстиями. В этих условиях в процессе строительной откачки и эксплуатации формируется естественный гравийный фильтр из грунта водоносного пласта. Поэтому для уменьшения потерь напора при входе воды в каркас необходимо подобрать скважность, размеры и форму отверстия фильтрового каркаса в зависимости от фракционного состава грунта водоносного пласта.

Если скважины заложены в мелкозернистых породах, для предотвращения суффозии применяют фильтры более сложных конструкций, то есть, кроме перфорированной трубы, используют искусственные фильтры: гравийную засыпку, блочные пористые фильтры и др. Чем больше

грунты водоносного пласта содержат мелкозернистых фракций, тем сложнее конструкции и серьезнее требования, предъявляемые к фильтрам скважин.

По хозяйственному назначению скважины подразделяются на разведочные (временные), эксплуатационные и наблюдательные.

Мелиорации орошаемых земель на базе вертикального дренажа осуществляют с помощью эксплуатационных скважин, которые в зависимости от водообильности подразделяются на малодебитные скважины (2—5 л/с и редко 10—15 л/с, а удельный дебит 0,1—1 л/с), среднедебитные (15—30 л/с, а удельный 1—2 л/с), высокодебитные (30—200 л/с и более при удельном дебите от 2—3 до 10—15 л/с, что требует более сложных конструкций фильтров).

Последние скважины чаще всего применяют для водоснабжения крупных населенных пунктов, орошения и рассоления земель.

По виду работы фильтры должны:

обеспечить максимальный водозабор при минимальном понижении воды в скважине, то есть создать минимальные входные сопротивления в прифильтровой зоне, что позволит свести к минимуму затраты на подъем воды;

предотвратить или в крайнем случае сократить период усиленного выноса песка из каптируемого пласта и тем самым сохранить устойчивость стенок и устья скважины, а также улучшить условия работы насосно-силового оборудования;

обеспечить долголетнюю бесперебойную работу скважин при максимальном к. п. д. насосных установок.

По конструктивным особенностям и по методам устройства фильтры можно подразделить на опускные и создаваемые в забое.

Фильтры опускные собирают на поверхности земли. Водоприемную поверхность их изготовляют из стекла и ткани, применяют сетки из меди, латуни, нержавеющей стали, пластических масс и волокна, капрона и нейлона. Фильтры могут делать из гравия с использованием сеток и различных склеивающих материалов: корзинчатые, кожуховые (гравийно-сетчатые), тарельчатые и пористо-блочного типа. Для последнего типа фильтров используют склеивающие вещества: сульфатно-спиртовую барду, цемент, клей БФ-2 и БФ-4, битум, лак бакелитовый, жидкое стекло, резиновый клей и др. Фильтры опускные имеют следующие достоинства:

небольшую толщину, что уменьшает затраты на их строительство;

возможно централизованное изготовление на строительной площадке;

легкость изготовления сетчатых фильтров и простота монтажа фильтров всех типов (на поверхности земли);

широкий диапазон скважности (15—50%) и возможность создания отверстий большого размера в фильтровом каркасе;

возможно каптирование водоносного пласта, представленного различным фракционным составом пород.

Однако фильтры опускного типа имеют и ряд недостатков:

в мелкозернистых песчаных грунтах водоприемная часть скважин оборудуется фильтрами из сеток мелкого размера плетения или узкопористыми блочными фильтрами. В первых фильтрах отверстия быстро закупориваются грунтом, сетки покрываются солями и подвергаются химической и электрической коррозии, а во вторых поры кольматируются частицами водоносного грунта. Эти явления вызывают дополнительные сопротивления на входе, снижают дебит и сокращают срок службы скважин;

со временем уменьшается прочность пористых блочных фильтров, причем быстрее в фильтрах, изготовленных с применением вяжущих материалов. Применение их резко сокращает пропускную способность фильтра и увеличивает входные сопротивления;

в водоносных пластах, где в воде имеется защемленный газ, на поверхности пористых фильтров может образовываться воздушная пленка, снижающая дебит скважины.

В связи с этим использование фильтров опускного типа в высокодебитных скважинах приводит к дополнительной затрате энергии для подъема воды, а процесс зарастания и кольматации пор сокращает срок службы скважин, что увеличивает расходы на эксплуатацию скважин.

Кроме того, если скважины должны эксплуатировать пласт, представленный тонкозернистым песком, можно применять блочные фильтры: шамотные на жидком стекле с кремнефтористым натрием и гравийные на глазури, которые обладают наименьшим сопротивлением и наибольшим сроком службы. Эти фильтры следует изготавливать по типу фильтра, предложенного Н. А. Карамбировым и В. В. Шимановским, с увеличенной внешней поверхностью, то есть с увеличенной водозахватной способ-

ностью путем образования ребристых труб. Но и они создают дополнительные входные сопротивления.

В практике строительства вертикального дренажа широко применяются гравийные фильтры, создаваемые на забое скважин: естественные, формируемые за счет крупных фракций грунта каптируемого пласта, и искусственные, образуемые засыпкой гравия в забой. Последний вид фильтра, в свою очередь, может быть с однослойной и многослойной обсыпкой.

Фильтры первого типа формируются там, где в составе грунта каптируемого пласта содержится более 50—60% фракций крупнее 1—2 мм, в противном случае скважины будут долго песковать, что может привести к обвалу устья, искривлению фильтрового каркаса и выходу из строя насосного оборудования.

В мелкозернистых водоносных породах применяют гравийно-песчаную обсыпку. Искусственный фильтр формируется в результате выноса мелких частиц и отложения более крупных фракций у отверстий фильтрового каркаса в процессе строительных откачек.

Преимущества таких фильтров следующие:

возможность эксплуатировать водоносный пласт, представленный грунтами от тонкозернистых до крупнозернистых и гравелистых песков;

входные сопротивления в 2—5 раз меньше, чем у скважин, оборудованных блочными фильтрами;

процесс кольматации и зарастания пор протекает намного медленнее, чем в блочных фильтрах, и, кроме того, замедляются коррозийные процессы. Это увеличивает срок службы скважин и тем самым снижает затраты на эксплуатацию.

Недостаток фильтра — необходимость бурить скважины большого диаметра для загрузки гравия в забой, что требует тяжелых станков и относительно большого количества гравия. Технология засыпки гравия в затрубное пространство сложна и не всегда обеспечивает равномерность укладки фильтровой обсыпки. Крупные частицы оседают быстрее мелких. Поэтому по глубине скважины нередко образуется фильтр с различными размерами пор. Это приводит к более интенсивному выносу песка в местах крупнопористого фильтра.

Для более равномерной укладки гравийно-песчаной обсыпки в забой скважины применяют специальные трубы.

При формировании фильтра в забое скваж[illegible] то фильтровой зоне происходит замена естественн[illegible] обладающего меньшим коэффициентом фильтра[illegible] чано-гравийной смесью с большим коэффициенто[illegible] трации, что улучшает работу водоприемной части [illegible] жин, снижает сопротивления при входе воды в фил[illegible], дает возможность получить больший дебит при меньшем понижении уровня воды в скважине.

Опыт массового строительства скважин вертикального дренажа в Средней Азии и других районах СССР показал, что требованиям высокодебитных скважин лучше всего отвечают фильтры с гравийно-песчаной обсыпкой, обладающие минимальными сопротивлениями. Они создаются в процессе строительства скважин путем загрузки рыхлого материала в затрубное пространство. Все виды опускных фильтров, применяемые в настоящее время, обладают большими сопротивлениями и подвергаются быстрой кольматации. Дебиты и удельные дебиты скважин, оборудованных фильтрами опускного типа (пористые трубофильтры, созданные при помощи различных связывающих материалов, сетчатые, корзинчатые и др.), в 2—3 раза меньше, чем дебиты скважин с гравийно-песчаными фильтрами (табл. 40).

На прикопетдагском опытно-производственном участке (Н. П. Дубинская) две скважины (№ 2 и № 3) из 14 были оборудованы керамическими пористыми фильтрами с внутренним диаметром 280 мм. В начальный период откачек расход скважины № 2 составлял 7,7 л/с, на десятый день он снизился до 3,6 л/с, а в скважине № 3 расход воды уменьшился с 2,25 до 0,5 л/с, тогда как расход скважин, оборудованных гравийными фильтрами, увеличился от 38 до 50 л/с ($q=1{,}85—5{,}7$ л/с). Аналогичная картина наблюдалась на скважинах вертикального дренажа, построенных в новой зоне орошения Голодной степи, где в качестве фильтра были использованы тарельчатые пластмассовые фильтры и блочные пористые трубофильтры с гравийно-песчаной обсыпкой.

В связи с этим при строительстве скважин вертикального дренажа нашли широкое применение фильтры с гравийно-песчаной обсыпкой, создаваемые непосредственно в процессе строительства скважин путем засыпки рыхлой смеси в затрубное пространство между стенками скважины и фильтровой колонной.

Для расчета конструктивных элементов водоприемной части скважин должны быть известны литологическое строение и полная характеристика водоносного грунта (мощность, коэффициенты фильтрации каптируемого пласта и покровного мелкозема, гранулометрический состав водоносных пород, химический состав подземных вод, режим грунтовых и напорных вод и др.). На основании этих данных выбирается геофильтрационная расчетная схема, подбирается соответствующая расчетная зависимость и определяется дебит скважины (гл. 4 и 5).

Таблица 40. Характеристика скважин вертикального дренажа с различными конструкциями фильтров, построенных в Туркменской ССР

Показатели	Чарджоуский участок					Прикопетдагский участок					
	№ скважин										
	1	2	5	6	7	2	3	5	6	9	11
Грунт каптируемого пласта	Мелко- и среднезернистый песок				Песок гравелистый	Суглинки и супеси					
Глубина, м	28,1	26	35,1	35	41,65	50	53	56,2	53	51	47,6
Типы фильтра	Гравийный		Кожухово-гравийный			Керамический с гравийной обсыпкой		Гравийный с рыхлой обсыпкой			
Диаметр каркаса, мм	350	350	350	350	350	273	273	377	429	429	429
Скважность, %	13,5	14,2	12,8	14,6	13,4	15	15	15	15	15	15
Диаметр бурения, мм	500	500	500	500	500	457	457	1200	1200	1200	1200
Максимальные дебиты, л/с	44,4	37,56	20,5	23,1	15,6	7,7	2,25	45	50	39	38
Понижение, м	6,9	7	7,9	11,7	8,4	8,4	—	15,6	8,8	21	1,8
Удельные дебиты, л/с	6,4	5,62	2,6	2	1,85	0,38	—	2,7	5,7	1,85	2,1
Длина фильтра, м	11,5	11	24	16,4	23,15	3,85	14	22,7	15	20	23

Расчетный дебит и другие параметры проверяются по результатам опытно-производственных скважин, работающих в аналогичных условиях.

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФИЛЬТРОВОГО КАРКАСА

Размеры конструктивных элементов фильтрового каркаса зависят от водозабора, мощности каптируемого пласта, условий формирования подземных вод, а также от проектируемого мелиоративного режима.

Расчетами определяют длину перфорированной части обсадной трубы и ее положение в водоносном пласте, диаметр фильтрового каркаса, его скважность, размеры и форму отверстий и их размещение на поверхности каркаса.

Длина перфорированной части зависит от мощности эксплуатируемого пласта. Если скважина гидродинамически совершенная, то для предотвращения размыва покровного и подстилающего мелкоземов длину фильтра $l_ф$ принимают немного меньше мощности каптируемого пласта T:

при T до 10 м	$l_ф = T - (1-2)$ м
при T до 20 м	$l_ф = T - (2-3)$ м
при T от 20 до 40 м	$l_ф = T - (4-5)$ м

Длина фильтра должна быть не более 25—30 м. Дальнейшее ее увеличение с возрастанием мощности пласта нерационально, так как нижняя часть фильтра быстро заиляется и не участвует в формировании дебита скважины.

Для гидродинамически несовершенных скважин длину фильтра рекомендуется ориентировочно принимать, исходя из условия: $l_ф = (0{,}7-0{,}8)\ T$, но не более 25—30 м. Бо́льшая длина фильтра не увеличивает дебит и осложняет эксплуатацию из-за необходимости в периодической его очистки. Кроме того, мертвая глубина повышает строительную стоимость скважины (табл. 41). Поэтому длину фильтрового каркаса следует определять исходя из обеспечения дебита скважины (последний должен быть на 15—20% больше расчетного), то есть из зависимости:

$$l_ф = \frac{1{,}2 Q_{max}}{\pi D_{скв} v_{доп}}, \qquad (102)$$

где $D_{скв}$ — внешний диаметр скважины; $v_{доп}$ — допустимая скорость входа воды в фильтр; определяется по формуле С. К. Абрамова с более широкими пределами коэффициента перед корнем:

$$v_{доп} = (90 \div 120) \sqrt[3]{k}, \qquad (103)$$

где k — коэффициент фильтрации водоносного пласта.

Диаметр фильтрового каркаса прежде всего должен обеспечить свободный монтаж и демонтаж насосного оборудования и свободное размещение приборов автоматики и телемеханики. Для этого внутренний диаметр стренера должен быть на 75—100 мм больше внешнего диаметра водоподъемной трубы насоса.

Таблица 41. **Конструктивные элементы опытных скважин, построенных в Голодной степи с различной длиной фильтра**

Объект	№ скважины	Глубина скважины, м	Метод бурения	Диаметр бурения, мм	Интервал установки, м
Шурузякский участок	108	75,5	ФА-12	1016	37—73,5
	139	68	ФА-12	1016	43,9—66,4
	178	73	УРБ-ЗАМ	1000	38—72,5
	14	66	УРБ-ЗАМ	1000	34,3—68,6
	11	68	АБВ-400	900	35,1—65,26
Сардобинский участок	76	45	ФА-12	1270	28,15—45,5
	168	59	УРБ-ЗАМ	1000	36,6—59,9
Северо-западная часть Голодной степи	1	55,5	ФА-12	1270	23,85—54,1
	4	55	ФА-12	1270	25—55

Продолжение

Объект	Длина фильтра, м	Скважность, %	Дебит, л/с	Удельный дебит, л/с	
				на 1 м понижения	на 1 м длины фильтра
Шурузякский участок	36,5	14	130	18,0	3,56
	22,5	14	120	15,0	5,35
	34,5	14	80	9,0	2,32
	32,7	15	85	7,5	2,60
	30,6	15	70	7,8	2,30
Сардобинский участок	16,85	14	70	4,5	4,12
	22,7	14	70	5,6	3,10
Северо-западная часть Голодной степи	29,25	18—20	80	8,0	2,72
	30	14	70	6,5	2,32

Кроме того, фильтровой каркас должен обеспечить при минимальных потерях напора бесперебойную работу скважин в течение многих лет. Это зависит в первую очередь от правильного выбора диаметра и скважности фильтрового каркаса. Так, одна из главных причин уменьшения дебита и сокращения срока нормальной работы скважин — нарушение линейного закона фильтрации в прифильтровой зоне, что способствует выделению солей из состава откачиваемых вод и, следовательно, зарастанию ими отверстий фильтра (Гаврилко, Алексеев, Гуркин и др., 1974). Поэтому как для уменьшения потерь напора, так и для увеличения срока службы диаметр каркаса следует выбирать не только по габаритам насосного оборудования, но и рассчитывать из условий сохранения ламинарного движения потока при входе воды в отверстия стренера, что достигается увеличением пропускной способности водоприемной части скважины.

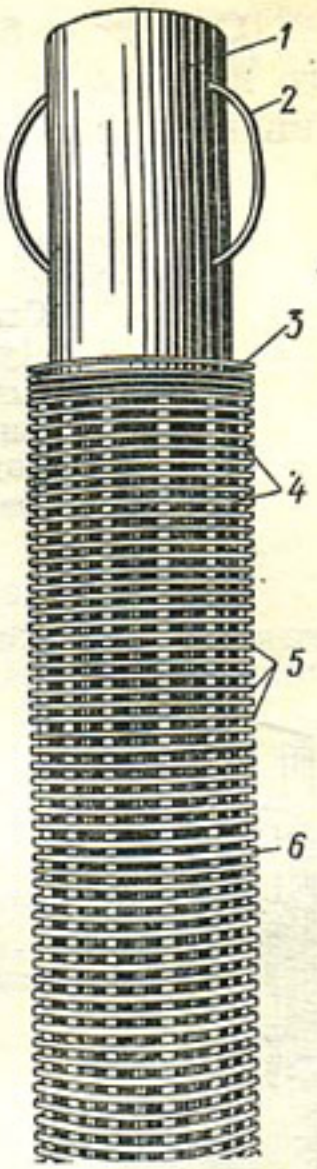


Рис. 45. Конструкция каркасно-стержневого фильтра (Дрогобычский завод):

1 — соединительный патрубок; 2 — направляющий фонарь; 3 — кольцо насадка; 4 — металлические стержни; 5 — проволока; 6 — опорный пояс.

Пропускная способность водоприемной части скважин зависит от скважности и диаметра фильтрового каркаса, длины фильтра и дебита: при одном и том же дебите чем больше диаметр и скважность, тем меньше скорость воды при входе ее в фильтр.

Учитывая процесс кольматации и зарастания отверстий в период эксплуатации скважин, В. М. Гаврилко рекомендует увеличивать скважность каркаса, а при агрессивных водах доводить ее до 50—60%. В этом отношении заслуживают большого внимания каркасно-стержневые и штампованные фильтры, предложенные им.

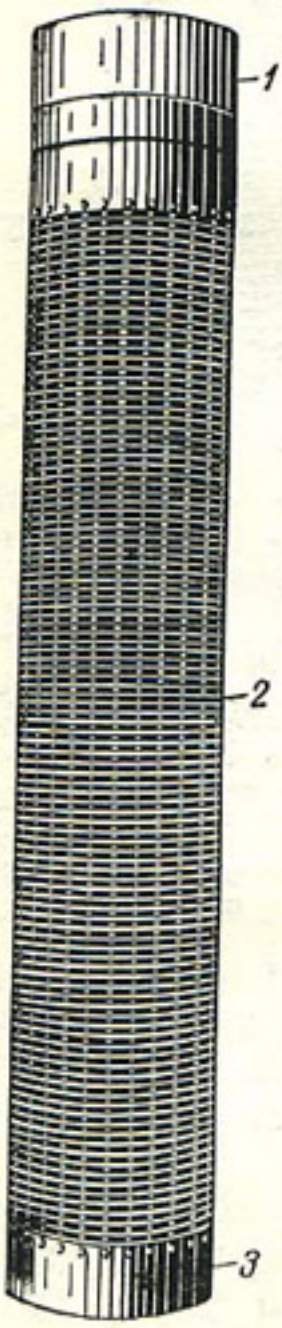
По мнению авторов, лучшая скважность фильтрового каркаса та, которая совпадает или несколько больше скважности контактирующего слоя, в данном случае гравийного фильтра (не менее 25—30%).

Однако в большинстве случаев скважность фильтрового каркаса ограничена прочностью материалов труб, принятых для оборудования скважин:

Фильтры из труб	Предельная скважность, %
Стальных	30
Чугунных	15
Асбестоцементных	25
Винипластовых	25
Гончарных	17
Фарфоровых	6

В практике строительства скважин вертикального дренажа в СССР применяют каркасно-стержневые фильтры с проволочной обмоткой из стали (рис. 45) и фильтры на основе трубчатого каркаса, выпускаемые Дрогобычским заводом на Украине (табл. 42). Используются также цельнотянутые стальные трубы с антикоррозийным покрытием. Скважность последних ограничена механической прочностью труб и достигает при заводской нарезке отверстий 25—30%, а при автогенной — 15—18%.

В зарубежной практике наиболее надежными в эксплуатации оказались проволочные сварные фильтры из нержавеющей стали (рис. 46) фирмы «Джонсон» (США), щелевые из цельнотянутых прутьев с проволочной обмоткой фирмы «Cook Weel Strainer C°» (США) и штампованные фильтры типа моста Нольд (ФРГ). Очевидно, нержавеющая сталь



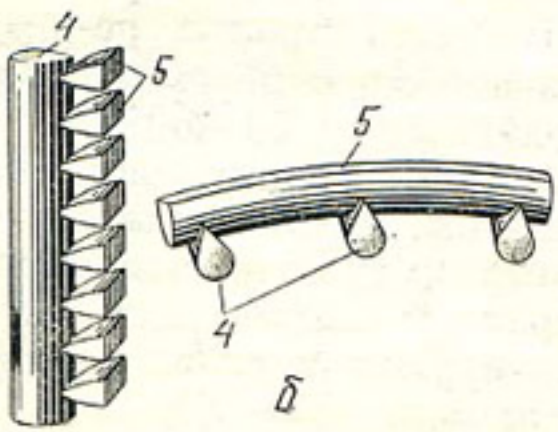


Рис. 46. Проволочный сварной фильтр Джонсона (США):

а — общий вид; *б* — деталь фильтра; *1* — свинцовый сальник; *2* — рабочая часть; *3* — отстойник; *4* — проволока основы; *5* — проволока водоприемной поверхности.

Таблица 42. **Номенклатура фильтровых каркасов Дрогобычского экспериментального завода специального оборудования и газовой аппаратуры** (по ТУ 51-644—74)

Тип фильтра	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Масса секции, кг	Скважность, %	Рекомендации по применению
С-8Ф5В	247	203	88	59	
С-10Ф5В	301	255	105	62	
С-12Ф5В	352	307	161	60	
С-14Ф5В	405	359	178	60	
С-16Ф5В	454	406	202	61	
ТП-8Ф2В	245	203	133—136	28—42	Рыхлые несвязные породы (для мелкозернистых песков с гравийной обсыпкой)
ТП-10Ф2В	299	255	198—203	22—23	
ТП-12Ф2В	341	307	229	25—30	
ТП-14Ф2В	393	359	266	22—32	
ТП-16Ф2В	442	406	304	22—32	
ТЛ-8Ф4В	245	203	137	15—25	Пески разнозернистые (для тонкозернистых песков с гравийной обсыпкой)
ТЛ-10Ф4В	299	255	190	15—25	
ТЛ-12Ф4В	339	307	223	15—25	
ТЛ-14Ф4В	391	359	259		
ТЛ-16Ф4В	440	406	294		
СП-8Ф7В	251	203	100—103	34—44	
СП-10Ф7В	307	255	131—136	28—38	
СП-12Ф7В	359	307	158	39	
СП-14Ф7В	411	359	180	38	
СП-10Ф7В	460	406	200	39	
СЛ-8Ф11В	249	203	104	25—30	
СЛ-10Ф11В	303	255	122	25—30	
СЛ-12Ф11В	355	307	189	25—30	
СЛ-14Ф11В	407	359	210		
СЛ-16Ф11В	456	406	237		

Примечания. 1. Длина секции для всех типов фильтра 3100 мм. 2. Т — фильтр на основе трубчатого каркаса с круглой перфорацией; ТП — то же, с водоприемной поверхностью из нержавеющей проволоки, навитой на закрепленные вдоль трубчатого каркаса стержни; ТЛ — то же, с водоприемной поверхностью из нержавеющего просечного листа, опирающегося на закрепленный трубчато-стержневой каркас; С — стержневой каркас; СП — то же, с водоприемной поверхностью из нержавеющей проволочной навивки; СЛ — то же, с водоприемной поверхностью из нержавеющего просечного листа.

наиболее надежный материал для изготовления фильтровых колонн для скважин вертикального дренажа.

В настоящее время накоплен значительный опыт по использованию пластмасс для изготовления фильтров. Наиболее простой и доступный для буровых организаций способ применения полимеров для оборудования водоприем-

ной части скважин — использование перфорированных пластмассовых труб. Трубы могут быть изготовлены из полиэтилена, поливинилхлорида, полипропилена, стеклопластика, древесноволокнистых пластмасс, а также из других термопластичных и термореактивных материалов. Более прочны фильтры, изготовленные из стеклопластиковых труб. Эти фильтры были предложены ВНИИВОДГЕО. Нити стекловолокна (при армировании труб) наматываются под различным углом к образующей. Щели нарезаются по спирали с таким расчетом, чтобы их направление совпадало с волокнами основных усиленных слоев. Подобное размещение перфорации в 2,5 раза увеличивало прочность фильтров по сравнению с трубами с продольными щелями. Недостаток их заключается в относительно высокой стоимости стеклопластиковых труб.

Скорость, при которой сохраняется линейный закон фильтрации у входа воды в отверстия стренера, можно обеспечить подбором диаметров труб.

Критическую скорость, обеспечивающую ламинарное движение, определяют по формуле Н. Н. Павловского:

$$v_{кр} = \frac{1}{6,5}(0,75p + 0,23)\frac{\nu N}{d} \qquad (104)$$

или по формуле П. Я. Полубариновой-Кочиной:

$$\mathrm{Re} = \frac{vd}{\nu} \leqslant 3 - 10, \qquad (105)$$

где p — пористость грунта, прилегающего к фильтру (гравийной обсыпки), %; d — эффективный диаметр фракций, прилегающих к фильтру, равносильный d_{10} (d_{10} — диаметр частиц грунта каптируемого пласта, составляющих 10%), мм; v — скорость воды при входе в отверстия, см/с (м/с); ν — кинематический коэффициент вязкости, зависящий от температуры воды, см/с; Re — число Рейнольдса; N — показательное число, аналогичное числу Рейнольдса, численное значение составляет 50—60.

Если принять коэффициент кинематической вязкости $\gamma = 0,011$, что соответствует температуре подземных вод в Голодной степи 17—19°С, а пористость $p = 35\%$, $\mathrm{Re} = 6$, то критическая скорость по Н. Н. Павловскому:

$$v_{кр} = 0,55/d_{10}, \qquad (106)$$

а по П. Я. Полубариновой-Кочиной:

$$v_{кр} = 0,66/d_{10}. \qquad (107)$$

Действительная скорость воды при подходе к фильтровому каркасу определяется по формуле:

$$v_{д} = Qp_{гр}/\pi D_{ф} l_{ф} p_{ф.к}. \qquad (108)$$

Подставляя значения (106) и (107) в (108), получим соответственно:

$$\left.\begin{aligned} D_ф &= Qd_{10}p_{гр.обс}/0,175l_ф p_{ф.к}; \\ D_ф &= Qd_{10}p_{гр.обс}/0,21l_ф p_{ф.к}. \end{aligned}\right\} \quad (109)$$

Длину фильтра находят из условий (103). Число отверстий, соответствующее заданной скважности фильтрового каркаса, определяют:

для круглой перфорации

$$n = 4D_ф\, 1000p_{ф.к}/d^2, \quad (110)$$

для щелевой нарезки

$$n = \pi D_ф\, 1000p_{ф.к}/ab, \quad (111)$$

где d — диаметр отверстий; a — ширина щелей; b — длина щелей; $p_{ф.к}$ — скважность фильтрового каркаса.

Таким образом, методом подбора можно определять диаметр фильтрового каркаса, при котором соблюдается линейный закон фильтрации.

Размеры и форму проходных отверстий подбирают в зависимости от гранулометрического состава грунта, прилегающего непосредственно к фильтровому каркасу. При этом, с одной стороны, нужно создать минимальные сопротивления, а с другой — предотвращать суффозию грунта.

По Техническим условиям проектирования и сооружения буровых скважин на воду (СН-326—65), размеры проходных отверстий фильтра при его контакте с естественным водосодержащим грунтом рекомендуется определять, пользуясь следующими соотношениями (мм):

	Однородные пески	Разнородные пески
	$d_{60}/d_{10} \geqslant 2$	$d_{60}/d_{10} \leqslant 2$
Дырчатый фильтр	2,5—3 d_{50}	2—4 d_{50}
Щелевой	1—1,5 d_{50}	1,5—2 d_{50}

Меньшие значения размеров проходных отверстий относятся к мелкозернистым пескам, а большие — к крупнозернистым.

При заложении скважин в крупнозернистых песках, где $d_{50} < 1$ мм, проходные отверстия получаем до 10 мм для фильтровых каркасов с круглыми отверстиями и 4—5 мм для щелевых.

При мелкозернистых грунтах, состоящих из частиц 0,1—0,5 мм, по этим соотношениям размер отверстий 0,5—1 мм, а если подбирать по среднему диаметру частиц обсыпки — 20—25 мм. В фильтрах с мелкими отверстиями

создаются большие входные сопротивления и возникает опасность быстрой закупорки, а с крупными отверстиями — усиленный вынос частиц гравийной обсыпки.

Для свободного прохождения воды и выноса мелкозернистых частиц И. Ф. Володько рекомендует диаметр отверстий каркаса фильтра принимать равным 0,8—1 D_{50}, где D_{50} — средний диаметр фракций гравийной обсыпки, составляющих 50% (определяется по логарифмической кривой гранулометрического состава).

По опыту эксплуатации скважин с гравийными фильтрами в Голодной степи для подбора размеров отверстий каркаса можно рекомендовать:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{для круглой перфорации} & D_{\text{отв}}=1{,}2-1{,}5D_{50}; \\ \text{для щелевой нарезки} & b_{\text{щ}}=0{,}75-1{,}0D_{50}; \\ & l_{\text{щ}}=2{,}5-3{,}5D_{50}, \end{array}\right\} \quad (112)$$

где $b_{\text{щ}}$, $l_{\text{щ}}$ — соответственно ширина и длина щелей.

В практике для предотвращения выноса частиц гравийной обсыпки и уменьшения величины отверстий очень часто применяют проволочную обмотку поверх фильтрового каркаса.

Исследования САНИИРИ в г. Гулистан, в совхозе «Пахтаарал» и на Сардобинском понижении показали, что проволочная обмотка поверх фильтрового каркаса увеличивает потери напора на 10—20% в зависимости от шага витка (чем меньше шаг витка, тем больше потери). Это объясняется тем, что проволока при обмотке уменьшает площадь отверстий, снижая этим скважность фильтрового каркаса от 5 до 12% и меняя форму отверстий. Поэтому при оборудовании скважин гравийной обсыпкой не следует применять проволочную обмотку поверх перфорированной части фильтрового каркаса. Устойчивость обсыпки и снижение размера суффозии грунта водоносного горизонта нужно обеспечить соответствующим подбором гранулометрического состава гравия.

ПОДБОР ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА И ТОЛЩИНЫ ГРАВИЙНОЙ ОБСЫПКИ

Гранулометрический и минералогический состав зерен и их сложение при засыпке в забой определяют как форму и размеры пор гравийной обсыпки, так и размеры отверстий фильтрового каркаса скважин. По мере уменьшения

крупности частиц увеличивается общая пористость грунта, а размеры пор резко уменьшаются. Поры уменьшаются особенно сильно у смеси гравия и песка, состоящей из зерен различной крупности.

К фракционному составу гравийной обсыпки предъявляются следующие требования:

с одной стороны, он должен предотвращать усиленный вынос грунта водоносного пласта, тем самым предохраняя от обвала устья и фильтровой каркас скважин от искривления, а с другой — зерна гравия должны создавать наилучшие условия сводообразования у отверстий фильтрового каркаса (формирование искусственного фильтра в процессе откачек);

предотвращать кольматацию пор;

обладать минимальными входными сопротивлениями при максимальном сроке службы скважины.

Кольматацию пор гравийной обсыпки можно предотвратить в том случае, если входные скорости потока не нарушают устойчивость скелета грунта водоносного пласта, то есть размеры пор обратного фильтра на границе с породой такие, что частицы грунта водоносного пласта не проникают в поры гравийной обсыпки или проходят свободно через него в скважину (в момент формирования фильтра).

Эти скорости можно получить при определенной толщине гравийной обсыпки или при многослойном обратном фильтре.

На практике создать такой фильтр прочным очень трудно, особенно в мелкозернистых песках. Поэтому допускается вынос небольшого количества мелких фракций при каждом новом пуске скважины.

На основании лабораторных исследований и изучения работ скважин на воду и глубокого водопонижения имеется целый ряд предложений по подбору состава гравийной обсыпки, при которой сохраняется устойчивое состояние стенок скважин.

По этим предложениям в условиях тонкозернистых, мелкозернистых и даже среднезернистых песчаных водоносных горизонтов с преобладающим диаметром частиц 0,1—0,25 мм и 0,25—0,5 мм (средний диаметр $d_{50}=0,17$—0,25 мм) нужны фракции гравийной обсыпки от 0,5 до 3 мм. В этих условиях для нормальной работы скважин вертикального дренажа необходим фильтровой каркас с отверстиями 0,5—2 мм.

Рекомендуемый состав обсыпки не обеспечивает длительной работы высокодебитных скважин, так как в результате создается мелкопористый гравийный фильтр, который быстро закупоривается мелкими частицами грунта, а каркас быстро закрывается солями. По мнению авторов, нельзя подбирать фракционный состав обсыпки по коэффициенту неоднородности, так как гравий может быть однородным или иметь коэффициент неоднородности в пределах допустимого — 2—5 и в то же время не содержать фракций, необходимых для формирования нормального фильтра.

Гравийная обсыпка — самый ответственный элемент конструкции водоприемной части скважин вертикального дренажа. От качества обсыпки, ее фракционного и минералогического состава, прочности и окатанности зерен зависят не только продолжительность строительной откачки, содержание песка в откачиваемой воде (пескование скважин), надежность работы гидромеханического оборудования, но и надежность и долговечность эксплуатации систем вертикального дренажа в целом.

До 1969 г. при строительстве вертикального дренажа в Узбекистане в качестве обсыпки использовался гравий из различных карьеров с размером фракции от 1 до 30 мм, хотя в проекте была предусмотрена гравийно-песчаная смесь размером 1—20 мм. Частиц размером 1—2 мм, 2—3 мм, 3—5 мм, необходимых для формирования устойчивого фильтра, в составе гравия содержалось не более 10—15%, что совершенно недостаточно для предупреждения пескования скважин. В этих случаях обычно формируется крупнопористый фильтр. Поэтому строительные откачки скважин, построенных с таким составом обсыпки, продолжались от 20 до 30 и более суток, а сами скважины песковали годами, в результате чего насосное оборудование быстро изнашивалось и выходило из строя. На таких скважинах срок безотказной работы гидромеханического оборудования не превышает 2,5—3,5 тыс. часов. Массовый ввод таких скважин (построенных в 1965—1969 гг.) в эксплуатацию сильно усложнил организацию службы эксплуатации из-за частого монтажа и демонтажа насосных агрегатов, очистки сбросных и оросительных сетей от песка и др. Из-за пескования скважины заиляются и снижается их дебит.

В старой зоне Голодной степи дебит заиленных скважин уменьшился до 24—40 л/с, тогда как до заиления он составлял 70—75 л/с.

САНИИРИ (Х. И. Якубов, А. А. Абиров) в 1972—1973 гг. провел натурные исследования на производственных скважинах вертикального дренажа Голодной степи по изучению притока воды к скважине на различных участках по длине фильтра. Исследовались скважины, построенные в различных гидрогеолого-литологических условиях Голодной степи (табл. 43). Результаты показали, что в реальных условиях неравномерность притока по

длине фильтра проявляется гораздо больше, чем это доказано теоретически (Грикевич, 1969).

При проектировании скважин вертикального дренажа в зависимости от мощности каптируемого пласта назначаются различные длины фильтра (от 10—15 до 45 м). В процессе эксплуатации скважин там, где длина фильтра превышает 20—25 м, нередко его нижняя часть (от 10 до 50%) заиливается и не участвует в процессе формирования дебита (табл. 44).

Результаты натурных исследований показали, что увеличение длины фильтра не всегда оправдывает себя, особенно в случае плохого подбора гравийной обсыпки, когда скважина сильно пескует после каждой остановки и для уменьшения пескования снижают ее подачу (расход), что способствует быстрому заилению нижней части скважин вертикального дренажа. Фактические скорости потока внутри фильтрового каркаса, измеренные специальной микровертушкой, позволили определить возможные условия заиления скважины путем сопоставления скоростей восходящего потока и естественного осаждения песка (твердых частиц). Надо иметь в виду, что даже при хорошо подобранном гравийно-песчаном фильтре при остановках и пусках скважины происходит ее пескование вследствие нарушения обратного фильтра, образованного в процессе откачки. Скорость восходящего потока для нормального выноса песка должна быть в 1,5—2 раза больше скорости стесненного осаждения, которая определяется по формуле Н. Г. Сапожникова:

$$u_{с.о} = \beta u, \tag{113}$$

где $u_{с.о}$ — скорость стесненного осаждения, см/с; u — скорость свободного падения зерен песка, см/с; β — коэффициент, учитывающий взаимодействие зерен при стестенном осаждении; в нашем случае он равен 1, так как ничто не мешает взаимодействию частиц при осаждении.

Скорость свободного падения может быть определена по формуле:

$$u = k\sqrt{d_{ср}(\gamma - \gamma_ж)/\gamma_ж}, \tag{114}$$

где k — коэффициент, зависящий от формы частиц и характера движения жидкости, по данным Р. И. Шищенко и Б. Д. Бакланова, для частиц шарообразной формы при турбулентном режиме $k=50$; γ — плотность твердой частицы (песка), равная 2,7 г/см^3; $\gamma_ж$ — плотность воды, равная 1 г/см^3.

Таблица 43. **Скорость потока внутри фильтрового каркаса скважин вертикального дренажа, см/с**

Расстояние от начала отстойника скважины, м	№ скважины						
	139	1	178	14	11	108	76
1	10,9	8,0	2,5	4,1	3,5	4,2	11,25
2	14,4	9,0	4,0	6,52	6,7	7,8	13,05
3	21,6	11,3	5,7	8,55	8,0	10,1	16,2
4	29,15	16,0	7,5	9,9	10,1	11,1	16,2
5	38,25	19,1	8,6	11,7	12,4	13,0	17,1
6	41,4	20,0	9,5	20,25	13,3	15,0	21,15
7	42,3	22,1	10,4	27,45	15,6	17,5	21,15
8	43,65	27,5	11,0	30,1	17,0	21,0	22,95
9	45,3	32,5	12,3	36,0	19,1	25,0	22,95
10	47,2	33,4	12,3	40,0	21,0	27,1	23,8
11	49,5	34,8	12,3	40,5	22,0	28,0	27,4
12	55,8	36,5	13,2	42,3	22,3	29,1	32,4
13	60,48	37,5	14,1	42,3	23,7	30,1	33,15
14	63,0	41,1	14,1	42,7	24,6	33,0	41,15
15	64,6	44,8	17,0	42,8	28,6	35,6	51,75
16	66,8	45,5	17,0	42,35	31,0	37,7	57,6
17	67,5	47,0	17,8	43,6	31,3	44,2	55,8
18	69,3	47,0	17,8	54,6	32,7	50,4	
19	72,9	49,6	17,8	44,5	35,0	56,5	
20	78,3	51,0	17,8	45,5	35,0	58,1	
21	80,1	52,0	18,6	45,4	35,9	59,4	
22	76,05	55,5	20,4	46,8	36,3	61,0	
23	75,15	61,3	20,4	47,7	36,3	61,0	
24		63,15	20,4	48,25	36,3	61,0	
25		63,6	21,4	48,6	36,7	61,0	
26		68,5	26,4	49,5	40,3	62,0	
27		68,5	29,0	49,95	42,1	62,7	
28		69,75	34,0	52,6	42,6	63,2	
29			34,0	52,6	42,6	63,2	
30			34,4	56,7	45,3	64,0	
31			37,4	58,95	41,45	65,2	
32			39,2	60,3		65,1	
33			38,7				
34			36,0			65,7	
35						66,1	
36						84,0	
37						85,05	

Если средний диаметр зерен песка, выносимого при откачке из скважин, принять равным $d_{ср}=0{,}2$ мм (изменяется в пределах 0,1—0,25 мм), то, подставляя искомые величины в формулу (114), получим $u=9{,}25$ см/с.

Для того чтобы скважина не заиливалась, скорость восходящего потока внутри колонны должна быть $u_{в.\,п} \geqslant (1{,}5-2)u \geqslant 13{,}9-18{,}5$ см/с.

Таблица 44. Заиленные скважины вертикального дренажа в старой зоне орошения Голодной степи

Хозяйство	№ скважины	Длина фильтра, м	Глубина скважины, м	
			исполнительная	фактическая
Колхоз «Москва»	1	42	80	52,5
	12	33	55,43	40
	24	34	60	41,7
	28	31,6	53	37
	33	36,8	52	37,3
Совхоз «Мирзачуль»	19	29,1	57	43
	31	32,1	54	39
	41	27,8	65	43,5
Совхоз им. XXII партсъезда	16	34,2	57,5	42,3
	43	36,7	57	39,0
Колхоз «Ленинизм»	4	39,6	80	59
	6	37,1	80	61,5
	7	34,5	80	63
	8	37,0	80	68
Колхоз «Узбекистан»	45	39	75	65
	159	37,2	72	55
	190	36	67	53
	186	37,8	65	57
Колхоз «Коммунизм»	56	39,4	77,7	63,7
	55	34	70	57,5
Колхоз «1 Мая»	155	37,3	72	45
	156	29,8	54,2	43
Совхоз «Малек»	167	34,2	56,70	44,5
	165	29,6	56,58	46
	170	28,7	56,6	46,0
Совхоз «Социализм»	1	37	74,2	33
	2	38	71,5	62
	4	36	74	63
	6	34	76	65
	20	41,7	81,4	62,5
	22	40	79,16	63

Систематический обмер глубин действующих скважин вертикального дренажа в Голодной степи с различной длиной фильтрового каркаса подтвердил правильность определения возможных условий заиления скважин. В таблице 43 приведены скорости восходящего потока внутри фильтрового каркаса. На скважинах № 1, 11, 14, 108, 178 с длиной фильтра более 30 м нижняя часть фильтра длиной от 4 до 20 м имеет осевую скорость менее 14—18,5 см/с, то есть эти скважины предрасположены к заилению, что и было подтверждено обмером глубин. Тенденцию к заилению имеют даже скважины с длиной фильтра 17 и 22 м (№ 76 и 139).

Исследованиями формирования потока воды по длине фильтра в скважинах, построенных в идентичных гидрогеолого-литологических условиях, установлено, что дебиты скважин (№ 108 и

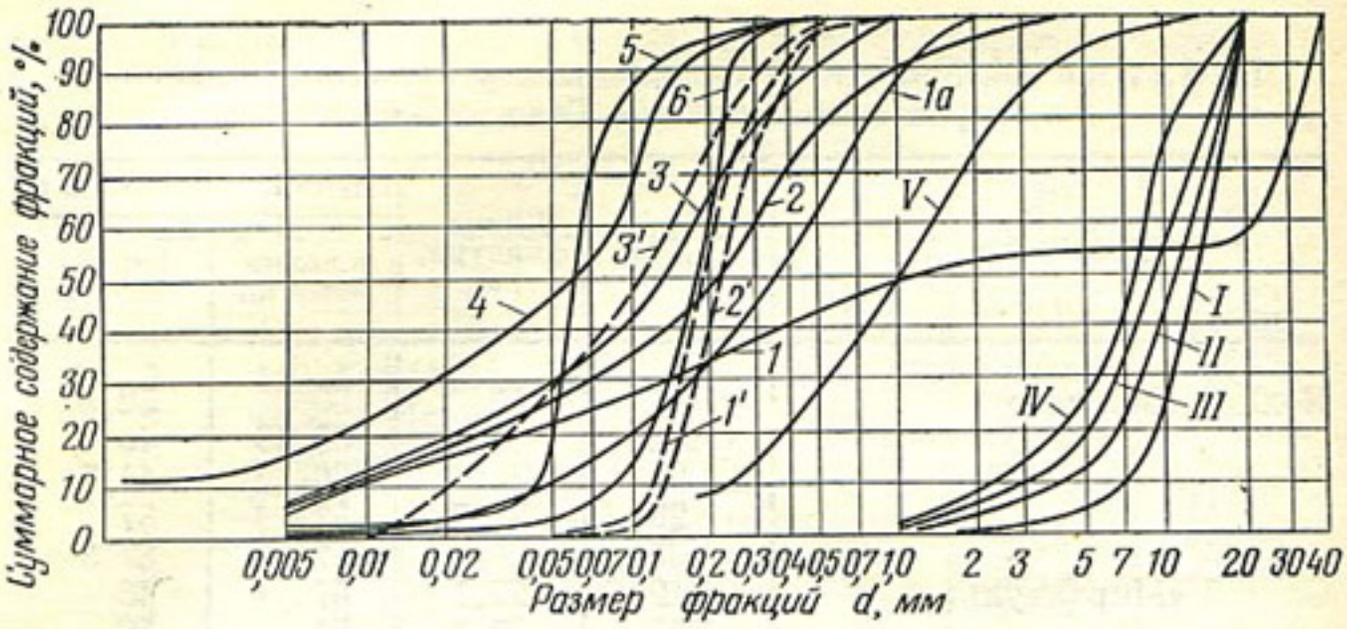


Рис. 47. Гранулометрический состав породы водоносных пластов и песчано-гравийной обсыпки в скважинах:

I, II, III — песчано-гравийная обсыпка в скважинах, построенных соответственно в 1957—1965 гг., в 1965—1966 гг. и в 1967—1970 гг. на Шурузякском и Пахтааральском массивах; *IV* — то же, в 1967—1970 гг. на Сардобинском массиве; *V* — то же, в 1976—1977 гг. на Ершовском участке Саратовского Заволжья; *1, 1а* — водоносные пласты на Шурузякском массиве; *2, 3* и *4, 5, 6* — то же, соответственно на Пахтааральском, Сардобинском массивах и на Ершовском участке (глубина 39, 48 и 61 м по скважине 1); *1', 2'* и *3'* — песок, выносимый из скважин при пуске насосных установок соответственно на Шурузякском, Пахтааральском и Сардобинском массивах.

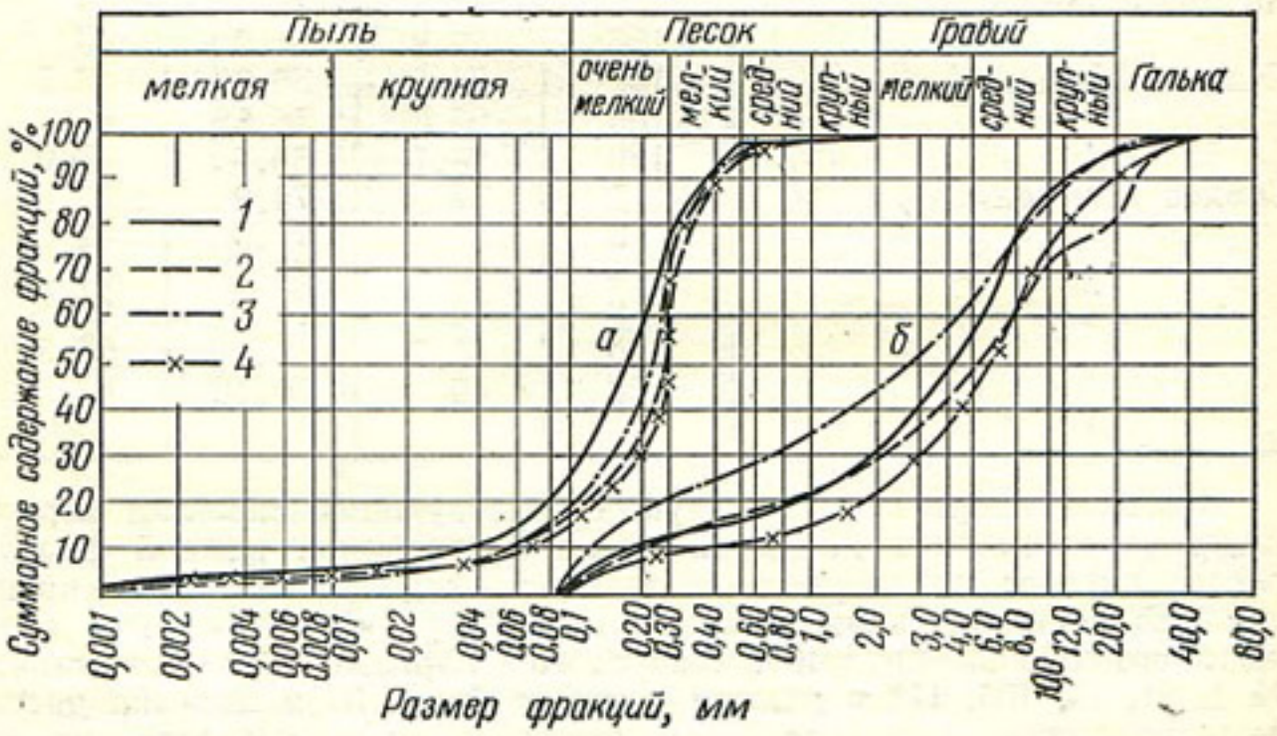


Рис. 48. Гранулометрический состав водовмещающих пород *(а)* и гравийной обсыпки *(б)* (Волгоградское Заволжье, Кисловская оросительная система), 1977 г.:

1, 2, 3 и *4* — скважины соответственно № 16, № 7, № 11 и № 12.

139) при различных длинах фильтра (36,5 и 22,5 м) практически одинаковые, так как из-за плохого подбора гравийной обсыпки скважины пескуют и работают с заниженной водоподачей.

Из рисунков 47 и 48 видно, что на большей части скважин, особенно построенных на Пахтааральском и Сардобинском массивах, состав гравийно-песчаной обсыпки был далек от оптимального. Скважины продолжительно песковали. Чтобы уменьшить пескование, подачу (расход) их занижали, что, естественно, создавало условия для заиления нижней части фильтровой колонны и для дальнейшего снижения расхода. Этому способствовали также частые остановки и пуски скважин, вызывающие особенно сильное пескование в начальный период.

Такие скважины в процессе эксплуатации очищали эрлифтами, после чего практически восстанавливались глубина и первоначальный дебит скважины (табл. 45).

Таблица 45. **Очистка и восстановление дебитов скважин с помощью эрлифтной откачки в старой зоне орошения Голодной степи**

Хозяйство	№ скважины	Глубина скважины, м	Мощность заиления, м	Дебит до заиления, л/с
Колхоз им. XXII партсъезда	37	56	14	50
Колхоз «Ленинский путь»	11	70	11	70
Колхоз «Узбекистан»	46	69	11	70
Колхоз «Октябрь»	78	59	11	50
Совхоз «Первомаец»	19	60	13,5	70

Продолжение

Хозяйство	Параметры скважин перед очисткой			Продолжительность очистки, суток	Параметры скважин после очистки		
	дебит, л/с	понижение, м	продолжительность пескования, мин		дебит, л/с	понижение, м	продолжительность пескования, мин
Колхоз им. XXII партсъезда	24	9,7	15	12	45	10	10
Колхоз «Ленинский путь»	38	9,0	60	12	61	10	40
Колхоз «Узбекистан»	42	5,4	120	9	65	7,5	40
Колхоз «Октябрь»	18	7,2	20	1,5	37	8,1	15
Совхоз «Первомаец»	21	7,6	10	1,5	60	8,0	Нет

Однако все скважины нашего примера, кроме скважины № 19, построенной технологически и конструктивно правильно, продолжали песковать довольно длительное время (до 40 мин). Это свидетельствует о том, что в этих скважинах сформировался крупнопористый фильтр, который при нарушениях режима откачек (остановки, пуски, изменения подачи воды) вызывает длительный вынос водоносного мелкозернистого песка.

Опытные данные убедительно свидетельствуют о важности весьма серьезного подхода к подбору и технологии строительства (гл. 8) обсыпного гравийно-песчаного фильтра. Рисунок 47 показывает, что в процессе строительства системы состав гравийной обсыпки улучшается.

В 1968—1969 гг. САНИИРИ (Х. И. Якубов, А. А. Абиров, С. Х. Ходжаев) на основании натурных исследований работы фильтров более 300 скважин, построенных в различных природно-хозяйственных условиях Средней Азии, и лабораторных опытов по изучению закономерности движения воды в прифильтровой зоне скважин разработал методику подбора гравийной обсыпки и предложил оптимальный состав обсыпок с учетом особенностей грунтов каптируемого водоносного пласта.

Наилучший материал для формирования устойчивого фильтра — разнозернистая окатанная речная гравийно-песчаная смесь (табл. 46).

Таблица 46. **Рекомендуемое содержание фракций гравийных обсыпок, %**

Характеристика грунтов	Диаметр фракций, мм					
	20—10	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1
Тонкозернистый песок	—	13—20	10—15	17—20	15	30—35
Мелко- и среднезернистый песок	27	13—20	13—15	17—20	14—15	16—25
Крупнозернистый и гравелистый пески	27—40	13—15	10—13	17—15	10—14	10—16

Для сохранения устойчивости скважины при толщине обсыпки менее 200—250 мм коэффициент межслойности должен быть:

для тонкозернистых песков . . . . . $D_{50}/d_{50}=15—20$

для мелко- и среднезернистых песков . . . . . $D_{50}/d_{50}=20—25$

для крупнозернистых и гравелистых песков . . . . . $D_{50}/d_{50}=25—35$

Коэффициент неоднородности η подобранной обсыпки должен находиться в пределах 5—10 (для суффозионных грунтов).

Применение окатанной речной песчано-гравийной смеси позволяет снизить сопротивление фильтров, увеличить удельный дебит и уменьшить затраты на эксплуатацию скважин. По данным опытных работ, проведенных в Голодной степи, отмечено, что потери напора в скважинах, где применялась песчано-гравийная смесь оптимального состава, были в 2—3 раза меньше, чем в тех скважинах, где в качестве обсыпки использовалась неокатанная гравийно-песчаная смесь.

На опытных скважинах, построенных в различных гидрогеологических условия Голодной степи, использовали гравийно-песчаную смесь, фракционный состав которой был близок к рекомендуемому САНИИРИ; это позволило резко сократить срок строительных откачек (до 10 суток) и снизить содержание песка в откачиваемой воде. При этом после резкой остановки и последующем пуске насосного оборудования при полном открытии задвижки продолжительность пескования не превышала 5 мин, а содержание песка составляло 0,01—0,05%. Из-за незначительного пескования скважины совершенно не заиляются.

Правильность подбора фракционного состава обсыпки можно проверять также по соотношению коэффициентов фильтрации гравийной обсыпки фильтра и грунта эксплуатируемого пласта:

$$k_{гр}/k_{п} \leqslant 6-8. \qquad (115)$$

При подборе фракционного состава гравийной обсыпки следует учитывать не только состав водоносной породы, но и гидродинамические особенности движения воды к скважине. Поэтому его следует подбирать с учетом допустимых скоростей в прифильтровой зоне скважины. Допустимую скорость можно регулировать двумя путями:

применять для гравийной обсыпки более мелкие фракции, так как чем меньше зерна, тем больше общая пористость и меньше поры, следовательно, больше потери напора при движении воды в скважину;

увеличивать площадь соприкосновения обсыпки с водоносным грунтом, то есть бурить скважины больших диаметров.

Последний путь авторы считают наиболее перспективным.

Наблюдения за скважинами в Голодной степи показали, что внешнюю поверхность водоприемной части гравийного фильтра, соприкасающуюся с водосодержащей породой, можно определять из неравенства:

$$Q/F \leqslant 2500 - 4000 k_ф (d_{50}/D_{50}). \quad (116)$$

Из этого неравенства следует, что при выбранном фракционном составе гравийной обсыпки и известном среднем диаметре породы эксплуатируемого пласта диаметр скважины, при котором исключается ее пескование, рассчитывается по формуле:

$$D_{скв} = \frac{Q}{\lambda k_ф l_ф} \left(\frac{D_{50}}{d_{50}} \right)^2, \quad (117)$$

где $\lambda = 4500 - 15\,000$ — коэффициент, зависящий от длины фильтра. Меньшее значение коэффициента соответствует скважинам с длиной фильтра до 20 м, а большее — свыше 20 м. Для оптимальной длины фильтра (20—25 м) $\lambda = 7000 - 7500$.

Для вычисления оптимального диаметра скважин (толщина гравийной обсыпки, при которой прекращается суффозия грунта каптируемого пласта) можно использовать формулу ГОСТ В-1872—42:

$$Q = 3600 \pi D_{скв} l_ф p v_д, \quad (118)$$

где допустимую входную скорость следует находить по формуле С. К. Абрамова:

$$v_д = 65 - 90 \sqrt[3]{k_ф}. \quad (119)$$

Меньшее значение коэффициента соответствует фильтру длиной больше 20 м.

Удельный дебит и надежность эксплуатации скважин вертикального дренажа увеличивают как правильно подобранная гравийная обсыпка, так и обсыпка из прочного, нейтрального, хорошо окатанного материала. Обычно этим требованиям удовлетворяет речной или морской песок и гравий. Однако до сих пор в практике строительства вертикального дренажа как в старой, так и в новой зонах орошения Голодной степи буровые организации нередко используют в качестве обсыпок для скважин вертикального дренажа материалы из месторождений горных саев, имеющих угловатый и малостойкий материал щебенистого типа (табл. 47), механический состав которого близко подходит к рекомендуемому. Но эти материалы непрочные, остроугольные и при засыпке в забой сильно уплотняются, а также закупоривают отверстия на каркасе.

Исследование работы таких скважин показывает, что удельные дебиты их в 1,5—2 раза ниже, чем на скважинах, где применялся окатанный речной гравийный материал. Примером могут служить скважины, построенные в одинаковых гидрогеолого-ли-

Таблица 47. **Содержание фракций в различных карьерных материалах, применяемых в качестве обсыпок для скважин вертикального дренажа** (по данным САНИИРИ)

Месторождение	Диаметр, мм								
	20—10	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1	η	D_{50}
Бекабадский гравий (окатанный) фракции:									
1—20 мм	47,8	21,7	16,7	10,6	1,5	0,6	1,2	2,7	9,5
1—10 мм	5,7	47,2	36,0	10,2	0,6	0,1	0,17	1,8	7,5
Песок из Илансайского карьера (Джуминский) (угловатый)	3,5	2,3	3,7	5,6	10,8	28,7	44,6	5,2	1,2
Песок из Агалыксайского карьера (угловатый)	0,7	2,48	6,58	8,22	14,06	25,87	42,67	4,8	1,35
Гравийно-песчаный материал из карьера Айри	7,15	8,15	13,2	21,35	15,3	25,8	8,82	3,3	3
Чамское месторождение в Кашкадарьинской области	5,8	6,1	3,0	4,5	6,8	27,2	5,9	4,05	1,05
Гравийный материал из Шерабадского карьера (Сурхандарьинская область)	63,58	12,85	9,51	8,47	2,1	1,0	2,49	3,57	12
Крупнозернистый песок из Шерабадского карьера	6,92	3,62	3,52	8,8	6,8	14,55	55,79	8,3	0,75
Бекабадский речной песок фракции 0,1—5 мм	—	—	2,1	20,3	15,1	15	47,5	13	1,2
Промытый Джуминский песок	—	—	3,6	15,1	37,2	20	24,1	11,8	1,8

тологических условиях на землях колхоза им. В. И. Ленина и совхоза «Джетысай» в северо-западной части Голодной степи. В колхозе им. В. И. Ленина в качестве фильтровой обсыпки использовали смесь Бекабадского окатанного гравия с Джуминским угловатым песком, а в совхозе «Джетысай» — только Бекабадский гравий (табл. 48).

Таблица 48. **Эксплуатационные показатели скважин** (по данным САНИИРИ)

Хозяйство	№ скважины	Характеристика каптируемого пласта	Параметры скважин			Q, л/с	S, м	q, л/с
			диаметр, мм	глубина, м	$l_ф$, м			
Колхоз им. В. И. Ленина	3	Мелко- и среднезернистые пески	1000	59,0	26,0	65	15,5	4,2
	7		1000	60,0	25,9	60	15,4	3,9
	20		1000	70,0	30,0	65	19,2	3,4
	24		1000	72,25	27,0	70	15,2	4,6
	28		1000	68,50	27,0	65	16,3	4,0
Совхоз «Джетысай» (отделение Амангельды)	1	Мелко- и среднезернистые пески	1000	58,0	30,0	50	7,25	6,9
	2		1000	62,0	26,0	70	6,75	10,4
	6		1000	59,5	26,0	65	6,5	10,0
	7		1000	65,5	26,0	60	7,0	8,6
	8		1000	68,0	30,0	60	7,5	8,0
	12		1000	62,0	24,0	65	7,9	8,2
	13		1000	63,5	27,0	70	9,0	7,8
	15		1000	59,5	26,5	64	8,65	7,4
	16		1000	61,0	27,5	64	10,0	6,4
	18		1000	59,0	26,0	65	9,7	6,7

Из таблицы 48 видно, что для получения одинаковых дебитов (65 л/с) уровень воды в скважинах колхоза им. В. И. Ленина надо понизить в среднем на 16 м, а в скважинах совхоза «Джетысай» на 8 м. Следовательно, при одинаковых длинах фильтрового каркаса и прочих равных условиях неокатанная гравийно-песчаная смесь создает дополнительное сопротивление (до 8 м).

Глава 8

СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

ОЧЕРЕДНОСТЬ И ПОРЯДОК СТРОИТЕЛЬСТВА

Очередность и порядок строительства, как правило, определяются проектом.

Строительство вертикального дренажа на крупных орошаемых массивах следует организовывать таким образом, чтобы ввод скважин в эксплуатацию осуществлялся последовательно, по мере их готовности. Сначала готовят все необходимые коммуникации: внешнее энергоснабжение от ЛЭП (обычно 6—10 кВ), КТП (для подключения насосно-силового оборудования), сооружения для приема или отвода воды, линию связи, подъездные пути и др. Кроме того, должна быть подготовлена и спланирована площадка для размещения необходимого оборудования и строительства скважины.

Строительство скважины при хорошей организации работ занимает 3—7 дней, включая строительную откачку для формирования обсыпного гравийно-песчаного фильтра. В готовую скважину сразу же после завершения строительной откачки должен монтироваться соответствующий ее производительности (по снятым характеристикам скважины) насос типа ЭЦВ (гл. 9) с комплектной станцией управления, размещаемой в закрытом помещении при скважине. Там же должна находиться аппаратура для связи, телесигнализации и всех измерений.

После подключения скважины к ЛЭП смонтированное оборудование (рис. 49) проходит проверку в рабочем состоянии при запуске скважины на полную рабочую нагрузку, при этом устраняются все замеченные недостатки, и после этого скважина сдается в эксплуатацию.

Следует отметить некоторые особенности при внедрении мелиоративного (рассоляющего) вертикального дре-

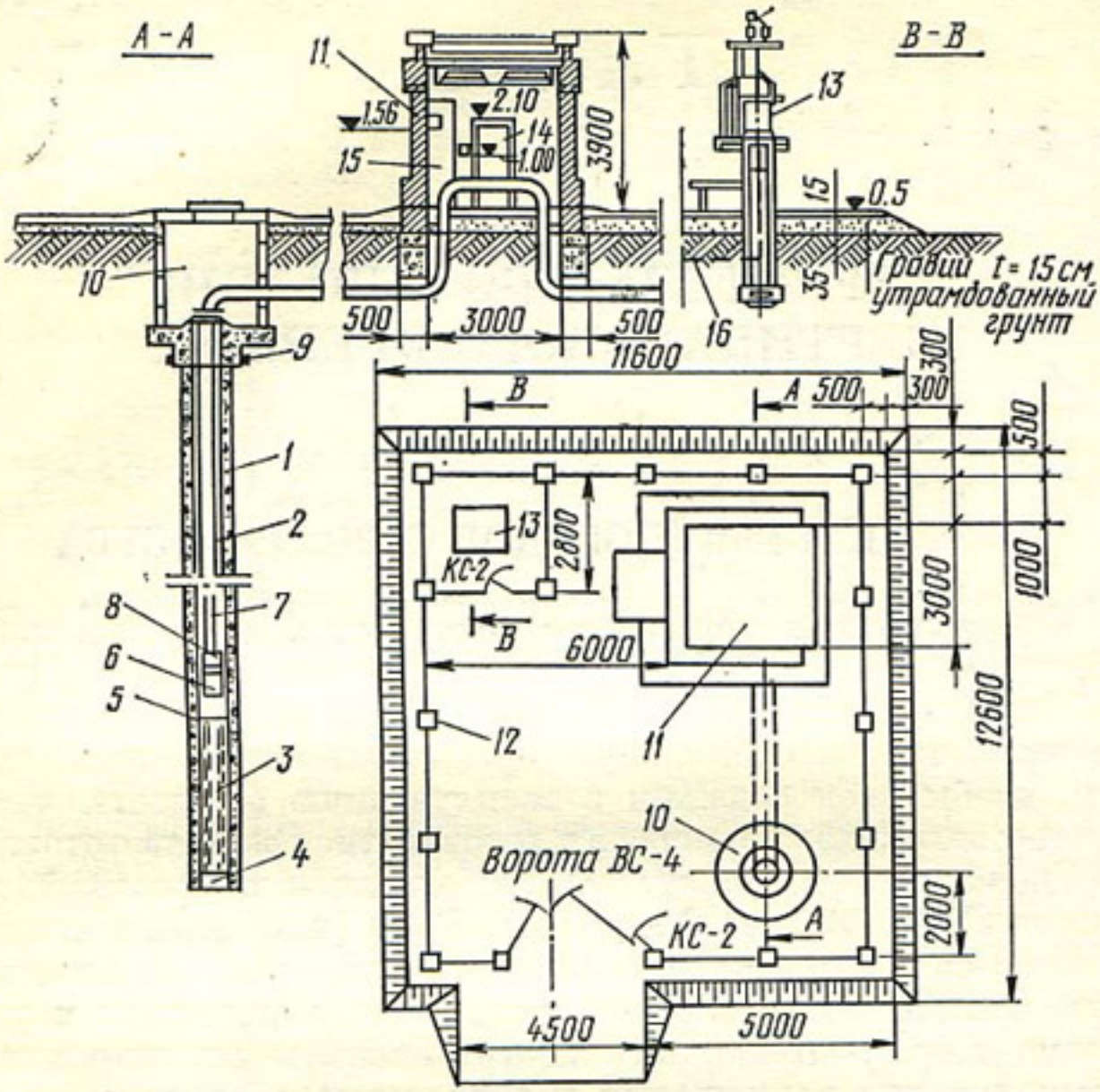


Рис. 49. Схема скважины и план площадки вертикального дренажа (по ВСН-П-8—74):

1 — ствол скважины; *2* — эксплуатационная колонна; *3* — фильтровой каркас; *4* — отстойник; *5* — гравийная обсыпка; *6* — насос; *7* — водоподъемная колонна; *8* — датчик сухого хода; *9* — кондуктор; *10* — камера подземного типа; *11* — здание управления насосно-силовым оборудованием; *12* — ограждение; *13* — трансформаторная подстанция; *14* — станция управления; *15* — аппаратура телемеханики; *16* — электросиловой кабель; размеры в мм, отметки в мм, за отметку 0,00 принята поверхность земли.

нажа на уже действующих оросительных системах в Голодной степи в Узбекистане, а также на Краснознаменском массиве на юге Украины и др. В этом случае вертикальный дренаж должен вписываться в уже сложившееся орошаемое хозяйство, особенность которого — земляная оросительная сеть, большие потери оросительной воды на фильтрацию как из каналов, так и на полях, слабая естественная отточность грунтовых вод, обусловившая быстрый подъем их уровня выше критического и возник-

новение вторичного засоления с сопутствующим падением урожайности культур и выходом части земель из сельскохозяйственного оборота.

Малые уклоны и плывунность покровных грунтов обусловливали слабую отточность по горизонтальной коллекторно-дренажной сети, оплывание и зарастание дрен. Проекты внедрения вертикального дренажа предусматривали равномерное размещение скважин по территории в соответствии с существующей планировкой оросительной и коллекторной сети, полей севооборотов, дорожной сети, ЛЭП, поселков, городов и др. Скважины не должны были мешать производству сельскохозяйственных работ, в том числе и работе сельскохозяйственной авиации.

На староорошаемых землях в Средней Азии для обеспечения работы вертикального дренажа приходилось строить специальные ЛЭП большой протяженностью и понизительные подстанции 35/10 кВ, что увеличивало стоимость каждой скважины (гл. 11). Одновременно строились и все необходимые производственные помещения и базы для службы эксплуатации (гл. 10). Однако срок окупаемости вертикального дренажа оказался ниже проектного и составил 3—5 лет.

На землях нового орошения степной зоны, где сооружаются новые, технически совершенные системы с высоким к. п. д., а полив производится широкозахватной дождевальной техникой (машинами «Фрегат», «Волжанка», «Днепр» и др.), по предложению авторов строится профилактический вертикальный дренаж.

Благодаря высоким к. п. д. оросительных систем на этих землях нагрузка на дренаж значительно меньше, то есть скважины с высокой производительностью могут обслуживать значительно большие площади, чем в зоне старого орошения. Большая регулирующая мощность зоны аэрации и значительные мощности аллювиальных песков на террасовых землях позволяют в оросительный период не опасаться неравномерности залегания уровня грунтовых вод между скважинами. Скважины являются элементом проекта оросительных систем и подключаются к уже готовым сетям ЛЭП, понизительным подстанциям и другим коммуникациям, которые входят в состав новых, технически совершенных систем. Хорошо конструктивно решается компоновка узла, когда мощная насосная установка вертикального дренажа располагается рядом с подкачечной станцией, подающей воду из открытого оросителя

в закрытую напорную сеть. Расположение насосных установок вертикального дренажа вдоль открытых распределителей проектируется, например, в Волгоградском Заволжье. Откачиваемая подземная вода отводится по трубам в открытый канал и в смеси с поверхностной используется на орошение. Возможны технические решения самостоятельного питания дождевальных машин от скважин, как это практикуется в Куйбышевской и Волгоградской областях. Строительство профилактического дренажа и оросительно-дренажных скважин должно вестись в комплексе со всем объектом в целом, а скважины должны быть высокого качества.

Принципиальное размещение скважин вертикального дренажа на массиве дается в проекте. Однако при привязке точек в натурных условиях необходимо соблюдать некоторые правила, связанные как с особенностями производства строительных и монтажных работ на территории конкретного хозяйства в увязке с компоновкой других сооружений (ЛЭП, каналов, границ полей севооборотов и орошаемых участков, характера поливной техники и др.), так и со способом использования откачиваемой воды или отведения ее в коллекторную сеть.

В общем случае скважины рекомендуется располагать на краю оросительных карт (вне зоны влияния дождевальной техники), у обочин полевых дорог и вдоль крупных каналов (на расстоянии 50 м от канала, если он в хорошей противофильтрационной одежде, и не менее 300 м при земляном русле). Для более мелких оросителей указанные расстояния могут сокращаться до 20—50 м в зависимости от литологического разреза и конструкции канала.

При выборе точек в натуре следует учитывать, что смещение скважины на несколько десятков метров, а часто и на сотни метров, особенно в случаях профилактического дренажа, не имеет практически никакого влияния на эффективность всей системы в целом.

Подготовка рабочей площадки производится вслед за выбором точки строительства скважины. Площадка для производства строительных работ и монтажа всего необходимого оборудования должна быть размером не менее 50×100 м и иметь подъездной путь шириной не менее 3 м с гравийным основанием и твердым покрытием. Рабочая площадка должна быть поднята на 0,5 м выше окружающей территории, спланирована, утрамбована, а в дальней-

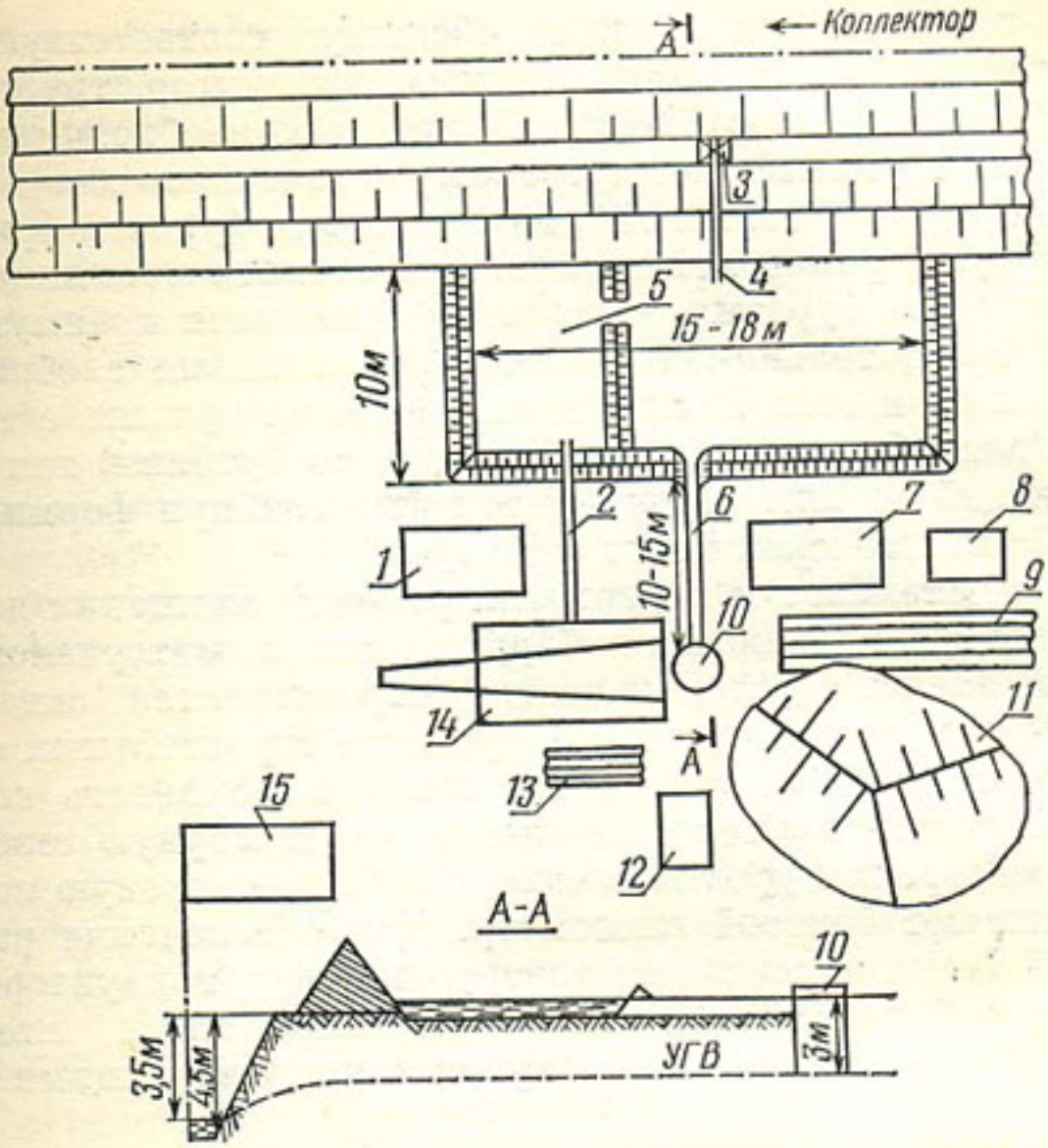


Рис. 50. Схема размещения оборудования и материалов на строительной площадке при бурении скважин вертикального дренажа методом обратной промывки (Голодная степь):

1 — тележка с запасными частями и дополнительным оборудованием; *2* — сливная труба для выноса пульпы; *3* — насос для подачи воды из коллектора в бассейн; *4* — труба для подачи воды из коллектора в бассейн; *5* — отстойник для промывной жидкости (пульпы); *6* — подающий водовод; *7* — передвижная электростанция; *8* — сварочный аппарат; *9* — обсадные трубы и фильтры; *10* — скважина; *11* — песчано-гравийная обсыпка; *12* — компрессор; *13* — бурильные трубы; *14* — буровой станок ФА-12; *15* — вагон для жилья.

шем должна иметь также гравийно-черное (или бетонное) покрытие для производства ремонтно-восстановительных работ в процессе эксплуатации установки вертикального дренажа. Сопряжение рабочей площадки с окружающей территорией должно быть таким, чтобы исключалась возможность затопления ливневыми, талыми или ирригационными водами.

На рабочую площадку завозят и располагают в строгом порядке, наиболее удобном для производства работ, гра-

вийно-песчаную фильтровую обсыпку соответствующего состава (гл. 7), бурильные трубы, кондуктор, трубы для фильтровой колонны, буровой станок и необходимые буровые инструменты, компрессоры (обязательно два — один рабочий, другой запасной), вагончик для буровой бригады (рис. 50). Заранее необходимо подготовить источник чистой воды для бурения, которое производится преимущественно вращательно-всасывающими станками с обратной промывкой, и отстойник для извлекаемой пульпы, а также место для сброса воды как в процессе бурения, так и от следующей за ним строительной откачки при формировании обсыпного гравийного фильтра.

От тщательности подготовки рабочей площадки и правильного расположения оборудования и материалов во многом зависит успех качества строительства скважин.

Для измерения расхода в процессе строительных откачек (для высокодебитных скважин) надо делать специальный лоток-водомер или специальную мерную емкость, а для измерения уровня в скважине в фильтровую колонну впаивают боковой пьезометр. Для обеспечения равномерной засыпки по всему зазору между кондуктором и фильтровой колонной гравийно-песчаной смеси следует изготовить металлический фартук с направляющими трубами.

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОКОДЕБИТНЫХ СКВАЖИН С ГРАВИЙНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

Опытом эксплуатации буровых колодцев в Советском Союзе и за рубежом установлено, что оборудование скважин большого диаметра фильтрами с достаточно мощной гравийно-песчаной обсыпкой позволяет значительно улучшить работу водоприемной части скважины, повысить водозахватную способность, увеличить срок ее работы без ремонта и уменьшить потери напора в прифильтровой зоне.

С увеличением водозахватной способности фильтра резко сокращаются удельные капиталовложения в строительство и эксплуатацию скважин, то есть повышается их технико-экономическая эффективность.

Современная буровая техника располагает тремя основными методами строительства скважин большого диаметра (1000 мм и более):

ударно-канатное бурение, при котором дробление и извлечение породы производят бурильным инструментом с одновременным закреплением стенок скважины обсадными трубами. Это наиболее старый метод бурения скважин на воду; он позволяет фиксировать и каптировать даже самые малодебитные водоносные горизонты. Однако этот метод дорог и требует трудоемких работ по извлечению обсадных труб после опускания фильтровой колонны и обсыпки ее гравийным фильтром;

роторно-вращательное бурение, при котором временное крепление стенок скважины и вынос шлама из забоя производятся с помощью глинистого раствора. Последний подается специальным насосом через бурильные трубы. Этот метод пришел из практики бурения скважин на нефть в начале 50-х годов, он позволил значительно ускорить темпы бурения и удешевить его. Однако глинизация стенок скважины при бурении на воду нередко приводит к уменьшению дебита скважины, а в слабо водонасыщенных породах скважина часто оказывается совершенно безводной;

вращательно-всасывающее бурение с обратной промывкой чистой водой, которая свободно подается через устье скважины в забой, откуда высасывается вместе с выбуренной породой (шламом) через наконечник бурового инструмента и бурильные трубы эрлифтом или специальным насосом; к нему перешли в последнее десятилетие при бурении скважин на воду, и в частности скважин вертикального дренажа.

Этот метод бурения, обеспечивая значительные скорости производства работ, вместе с тем создает хорошие условия каптажа водоносных горизонтов. Поэтому он быстро завоевал преимущественное положение в строительстве высокодебитных скважин на воду и скважин вертикального дренажа.

Институтами ПНИИС и ВНИИВОДГЕО совместно с ММ и ВХ УССР осуществлена модернизация буровых агрегатов ударно-канатного и роторно-вращательного бурения и сконструирована специальная приставка к отечественным станкам, позволяющая бурить с обратной промывкой.

В настоящее время для бурения скважин разработаны и выпускаются специальные отечественные станки 1БА-15К, УВД-400 и другие, а также используются зарубежные буровые агрегаты (табл. 49).

Таблица 49. **Характеристика буровых установок, используемых для бурения с обратной промывкой**

Страна	Тип станка	Глубина бурения, м	Диаметр бурения, мм	Диаметр бурильных труб, мм	Способ очистки забоя	Частота вращения ротора, $мин^{-1}$	Тип подъемника	Высота мачты, м	Нагрузка на кронблок, т	Подача насоса, л/мин	Подача компрессора, $м^3$/мин	Мощность привода, кВт	Масса установки, т
СССР	УКС-22М-ОП	До 150	1200	168	Центробежным насосом или эрлифтом	44	Однобарабанный	12,25	12	300	5	20	7,6
СССР	УКС-30М-ОП	До 150	1500	219	То же	22;45	То же	16	25	600	5	40	12,7
СССР	УРБ-3АМ-ОП	200—300	1000—1500	150	» »	110—314	» »	14,8	8	300	5	74	13,6
СССР	УРБ-2А-ОП	100	1000—1500	150	» »	106—320	Двухбарабанный	9,5	2,5	300	5	54	10,56
СРР	ФА-12	250	444—1270	150	» »	6;11;28;40	Трехбарабанный	12	12	4000	5,2	48	15,8
СССР	1БА-15К	300—500	До 1270	150	» »	65—250	Двухбарабанный	15	30	228—390	10	33	35,9
ГДР	К6/С250	250	750—1500	150	» »	4,5;8,5;15;39;24,5	Гидравлический откидной трубчатый	15	20	8000	10	50	15
ФРГ	SW-200	200	457—1270	147 (внутренний)	» »	42	Трехбарабанный	11,9	24	4000	10	41	11

Ниже рассмотрим опыт строительства вертикального дренажа в Голодной степи. Вертикальный дренаж был заложен здесь еще в проект развития орошения, составленный Г. К. Ризенкампфом в соответствии с декретом В. И. Ленина. В настоящее время в Голодной степи накоплен большой опыт по строительству скважин вертикального дренажа, общее число которых превысило уже 1200. Кроме того, гидрогеологические условия на территории Голодной степи имеют практически всевозможные типы литологического разреза, в которых приходится работать скважинам вертикального дренажа: по мощности (от 5 до 40—60 м) и водопроницаемости (от 0,01 до 1 м/сут) покровных отложений, по проводимости (от 2000—3000 до 50 м^2/сут), напорности, слоистости и гранулометрическому составу водоносных пород, из которых производится откачка. Здесь имеются и гравелисто-галечные породы, в которых создание естественного фильтра вокруг стренера в процессе откачки не представляет трудностей. Однако значительно чаще встречаются разрезы, представленные мелкозернистыми и тонкозернистыми песками. Подбор обсыпки для них и технология строительства высокодебитных скважин требуют точного соблюдения всех правил весьма тонкой технологии производства работ, включая строительные откачки и опробование установленного постоянного насосно-силового оборудования.

Основная часть работ представляет собой скрытые виды, которые могут быть проверены только в процессе их осуществления. Допущенные в процессе строительства небрежности и небольшие отступления от проекта приводят к тяжелым последствиям при дальнейшей эксплуатации скважин (см. гл. 9 и 10).

Первые опыты строительства скважин были начаты еще в 1928 г., когда Н. В. Макридин и М. М. Решеткин заложили скважину глубиной 70 м с диаметром фильтра 10″ (рис. 51) в Шурузякском понижении, недалеко от железнодорожной станции Бахт (Золотая Орда), ныне — это территория ЦОМС (Центральной опытно-мелиоративной станции СоюзНИХИ).

В скважину был опущен перфорированный каркас, обмотанный сеткой. Дебит скважины был равен 11—37 л/с, а удельный— 4,5 л/с. Фильтр формировался за счет естественного гравийного материала, слагающего каптируемый пласт.

В 1949 г. в этом же районе Узбекский гидрогеологический трест (Г. Д. Антонова) построил скважину глубиной 80 м, оборудованную 12-дюймовой перфорированной трубой со скважностью 10%. Фильтровый каркас обматывался проволокой, а затем сеткой. В зазор между каркасом и сеткой засыпался мелкий гравий

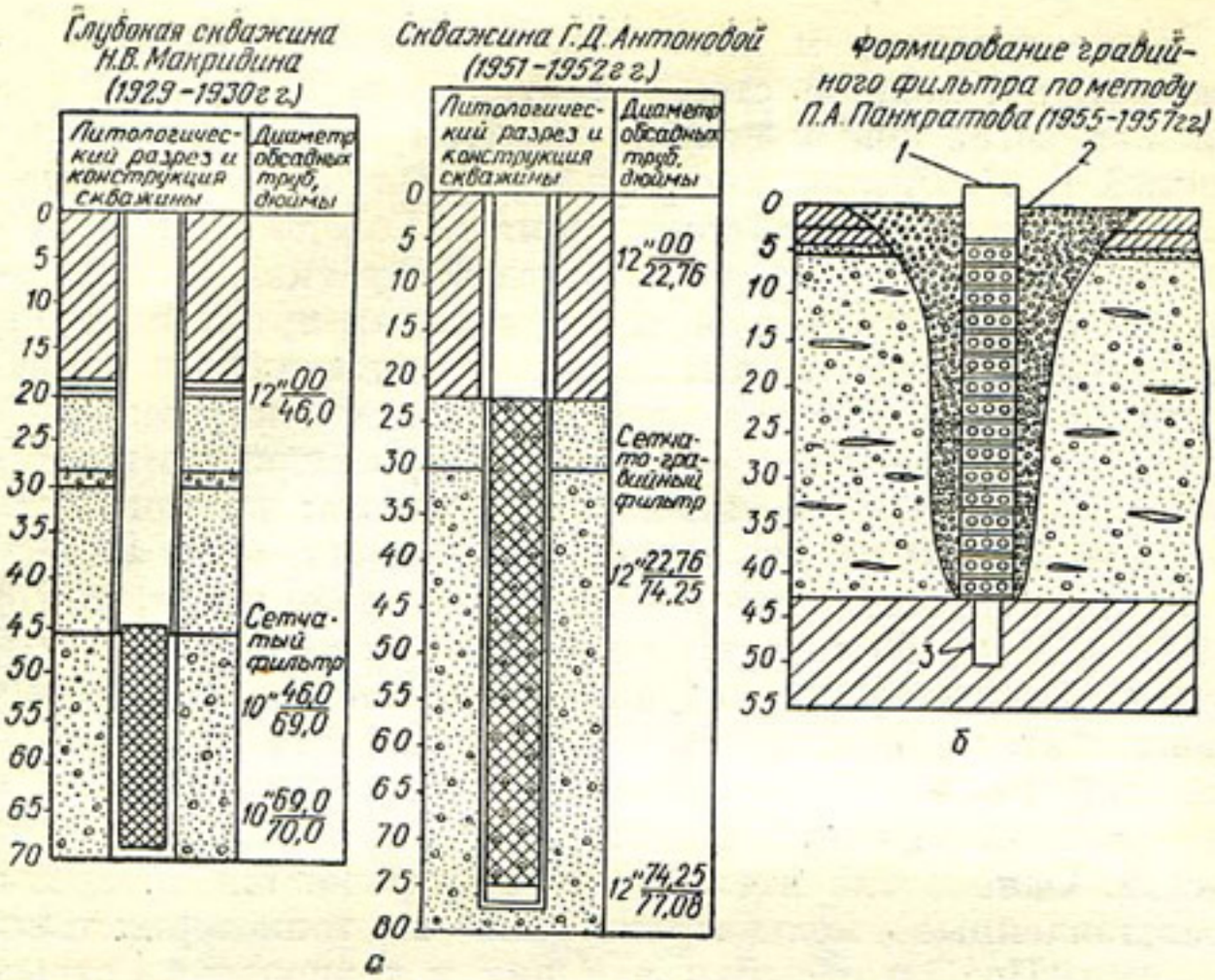


Рис. 51. Литологический разрез и конструкция первых опытных скважин вертикального дренажа в Голодной степи:

а — Золотая Орда (ЦОМС), III терраса, склон Шурузякского понижения; *б* — колхоз им. Карла Маркса, II терраса Сырдарьи; *1* — перфорированная труба $d=14''$ с проволочной обмоткой; *2* — провальная воронка $R=2{,}6$ м с гравийной засыпкой объемом 90 м³; *3* — отстойник длиной 7,5 м.

(толщина слоя 5—7 мм). Сетка через каждые 20—30 см крепилась (перетягивалась) проволокой к каркасу. В результате такой фильтр обладал большим сопротивлением. Поэтому, хотя полученный максимальный дебит и составлял 53—54 л/с, удельный дебит был всего 2 л/с, что в 2 раза меньше, чем в опыте Н. В. Макридина и М. М. Решеткина.

Испытание одиночной скважины в Шурузякском понижении с дебитом до 40—50 л/с не показало явного мелиоративного эффекта, то есть заметного влияния на уровень грунтовых вод в покровных суглинках. Поэтому район третьей террасы Сырдарьи был отнесен к малоперспективным для строительства вертикального дренажа и в 1953 г. Узбекский гидрогеологический трест перенес свои работы на вторую террасу Сырдарьи. Здесь в колхозе им. Карла Маркса, близ железнодорожной станции Великоалексеевская, где мощность покровного мелкозема не более 5 м, были построены три опытные скважины по методу П. А. Панкратова. Сущность метода заключалась в устройстве гравийного фильтра постепенной засыпкой гравия в затрубное пространство (образованное между стенками шурфа и фильтровой колонной) по мере раскачки скважины эрлифтной установкой (рис. 51). В скважину был опущен фильтровый каркас диаметром 14″ с перфорацией

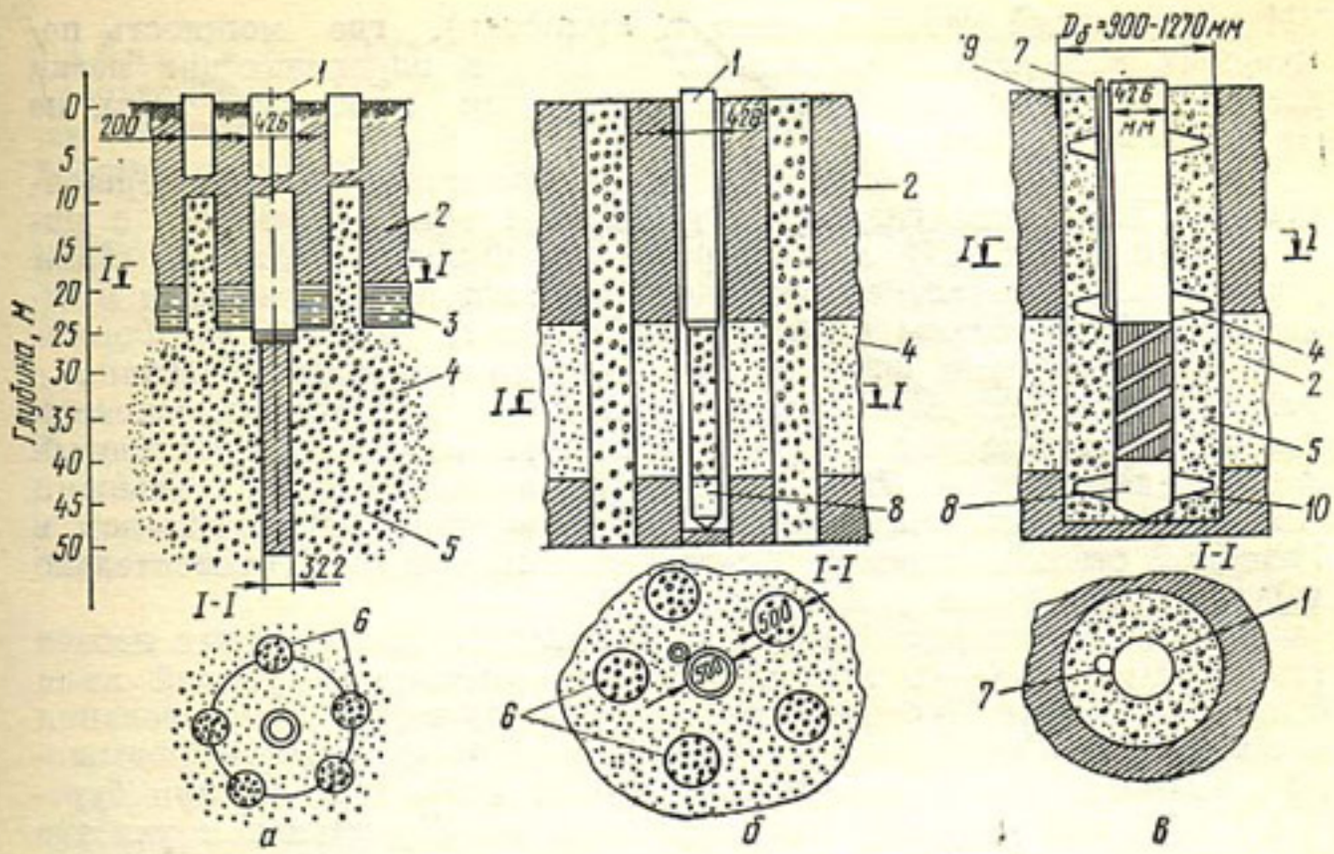


Рис. 52. Конструкция скважин вертикального дренажа (Голодная степь):

а, б и *в* — устройство гравийного фильтра соответственно по Беннисону (1957 г.), путем создания гравийной завесы (1957—1958 гг.), методом бурения большого диаметра (1958—1975 гг.); *1* — обсадная колонна; *2* — суглинки и супеси; *3* — песчаная глина; *4* — водоносные породы каптируемого пласта; *5* — песчано-гравийная обсыпка; *6* — питающие скважины; *7* — затрубный пьезометр; *8* — отстойник; *9* — кондуктор; *10* — направляющие фонари.

14—18 мм и проволочной обмоткой. Максимальный дебит составил 65,2 л/с при удельном 5—6 л/с. Метод П. А. Панкратова в свое время был достижением, но его нельзя было применять во всех условиях. Более высоких дебитов в этом случае так и не получили. Это объяснялось в основном несоответствием гранулометрического состава гравийного фильтра, засыпанного в затрубное пространство, составу каптируемых пластов на контакте с фильтром и относительно малым диаметром фильтровой колонны. Анализ этих исследований подтвердил целесообразность строительства скважин большого диаметра с мощной гравийной обсыпкой соответствующего фракционного состава.

Поэтому при строительстве Мирзачульской опытно-производственной системы в 1957 г. была предпринята попытка строительства скважин методом Беннисона (рис. 52, *а*). В то время максимальный диаметр бурения на воду отечественными станками АВБ-400, УРБ-3АМ, УРБ-2АМ достигал 500 мм. Сущность метода заключается в том, что гравийный материал в забой скважины загружают в период строительных откачек по питающим колодцам, вскрывающим водоносный пласт. Колодцы эти проходят диаметром 200 мм до водоносных песков и обсаживают металлическими трубами. Попытка применения этого метода, заимствованного из практики США, в условиях Голодной степи

(Мирзачульский участок, ныне г. Гулистан), где мощность покровных мелкоземов достигла 30—35 м, а подстилающие пески имели плывунный характер и содержали напорные воды, не увенчалась успехом.

В связи с этим в 1958 г. метод Беннисона был усовершенствован Узбекским гидрогеологическим трестом совместно с институтами САНИИРИ и Узгипроводхоз. Фильтр скважины стали устраивать до начала строительной откачки путем создания мощной гравийной завесы в каптируемом пласте (рис. 52, *б*). Формирование гравийного фильтра происходило в процессе откачки в результате выноса песка, находящегося между стенками основной скважины (диаметром 500 мм), в которую опускался фильтровый каркас (диаметром 426 мм), и пятью-шестью вспомогательными скважинами, пробуренными тем же диаметром. Этим методом в Голодной степи построено 8 скважин, которые дали относительно хорошие показатели (табл. 50).

Однако увеличение дебита скважины из маломощных песков (15—30 м) до 50—60 л/с потребовало огромных усилий из-за большого объема буровых работ, длительности формирования фильтра, больших затрат гравийного материала, которые повышали стоимость строительства скважин. В 1958—1960 гг. при бурении скважин вертикального дренажа на Шурузякском участке Гидроспецстрой применил более быстрый и дешевый свайный метод фильтрационных завес.

Скважины бурили ударно-канатными станками типа УКС-22 и УКС-30 диаметром 700—1200 мм с применением глинистого раствора. Описанным методом (рис. 52, *в*) в Голодной степи построено более 30 скважин, при этом расход гравийного материала и продолжительность откачек сократились (табл. 50). Скорость проходки все же была низка и составляла в супесчано-суглинистых грунтах 0,8—1,2 м/ч, в песчаных и песчано-гравелистых 0,3—0,5 м/ч, что и следует считать одним из основных недостатков этого метода бурения скважин. В 1960—1961 гг. САНИИРИ совместно с Гидроспецстроем разработал наконечник (долото) типа РХ, позволяющий роторно-вращательными станками типа УРБ-2АМ, УРБ-3АМ и АБВ-400 бурить скважины диаметром до 1200 мм. Вслед за этим в 1962—1963 гг. Узбекский республиканский пастбищно-мелиоративностроительный трест с этой же целью модернизировал трехшарошечное долото.

Внедрение этих разработок в бурение скважин роторно-вращательными станками с применением глинистого раствора для закрепления стенок и выноса разработанного в забое скважин шлама позволило в 2—2,5 раза повысить скорость проходки и уменьшить сроки строительства (табл. 50). Общая продолжительность бурения скважин глубиной 65—70 м составила 4—6 суток, а при ударно-канатном бурении — 8—12, скорость проходки достигла 1,5—2 м/ч в суглинках и 0,75—1,1 м/ч в песчаных породах. Высокие показатели были достигнуты и по остальным критериям оценки способов бурения. Кроме того, последний метод проходки скважин улучшил технологию строи-

Таблица 50. Техническая характеристика различных способов производства работ по строительству скважин вертикального дренажа глубиной 65—70 м при соблюдении проектного фракционного состава гравийной обсыпки (Голодная степь, аллювиальная равнина, 1975 г.)

Показатели	Методы устройства гравийного фильтра			
	через вспомогательные скважины (гравийные завесы)	бурение скважин большого диаметра		
		ударно-канатными станками	роторно-вращательными станками	вращательно-всасывающими станками с обратной промывкой чистой водой
	с прямой промывкой глинистым раствором			
Удельные дебиты в песках, л/с:				
тонкозернистых	3—4,5	—	3—4,5	3,5—5
мелко- и среднезернистых	5—6	4,5—6,5	4,5—6,5	4,5—6,5
гравелистых	—	8—15	8—15	10—17
Общее число пробуренных скважин на 1/I 1972 г.	8	32	Более 700	Около 300
Скорость проходки, м/ч:				
в мелкоземах:				
супесь	—	До 1,2	До 2,5	До 5
суглинки от легких до тяжелых разностей	—	0,95—1,24	1,2—2,4	2,8—3,5
в каптируемом пласте:				
тонко-, мелко- и среднезернистые пески	—	0,35—0,45	0,745—1,23	4,75—5,6
гравелистые пески	—	0,3—0,35	0,64—7,5	3—5
Общая продолжительность бурения, суток	10—15	8—12	4—6	2—3
Общие затраты гравия, $м^3$ на скважину	90—100	55—60	55—60	60—65
Объем гравия, затраченного для получения 1 л/с удельного дебита, $м^3$/л·с	18—90	4—13,5	4—13,5	4—10
Продолжительность строительных откачек, суток	20—30	5—10	5—10	5—10
Продолжительность строительных откачек для получения 1 л/с удельного дебита, сут/л·с	0,12—0,2	0,9—1,5	0,9—1,5	0,75—2
Общая продолжительность строительства скважин, суток на скважину	30—65	15—20	10—15	6—15

Таблица 51. **Характеристика скважин, построенных методами прямой и обратной промывки в Голодной степи** (по данным А. А. Абирова)

Место расположения скважин. Характеристика грунтов	Метод бурения	№ скважины	Глубина бурения, м	Диаметр бурения, мм	Время бурения одной скважины, ч	Характерные частицы обсыпки		Длина фильтра, м	Дебит скважины, л/с	Удельный дебит, л/с·м	$\frac{q_{об\cdot пр}}{q_{п\cdot п}}$
						$\frac{D_{50}}{d_{50}}$	η обсыпки				
Шурузякское понижение. Песчано-гравелистые	Прямая промывка станками УРБ-3АМ	119	70	1000	122,5	44	2,7	32	70	14	1,65
		120	74		202,5	44,5	2,64	37,5	125	13	
		71	75		130,0	50	2,3	25	95	12	
		178	72	1000	93,0	38	3,05	32,0	85	11	
	Обратная промывка станками ФА-12	108	78	1016	32,5	60	2,45	38	118	22	
		109	65		48,92	38	2,75	22,5	100	16	
		98	78		36,87	50	2,40	32,0	90	18	
		142	69,5		23,30	52	2,70	39	70	10	
Сардобинское понижение. Тонко- и мелкозернистые пески	Прямая промывка станками УРБ-3АМ	36	45,5	1000	32,22	34,5	12	18,7	45	2,5	1,56
	Обратная промывка станками ФА-12	39	51,6	1270	23,95	32,5	10,8	21	55	3,5	
		15	44,0	1270	22,0	50	1,54	14,15	60	4,4	
		59	52,6	1016	20,20	33	5,0	14,5	60	4,6	
		88	51,65	1270	23,0	26	3,4	17,15	55	3,1	

Колхоз им. В. И. Ленина Джетысайского района Чимкентской области. Мелко- и среднезернистые пески	Прямая промывка станками УРБ-3АМ	3	58	1000	33,09	52	7,1	26	65	4,2	1,55
		7	60		37,84	47,2	5,65	25,6	60	3,9	
		20	70		39,31	34,7	5,71	30	65	3,4	
		24	72,25		39,93	65	1,75	27	70	4,6	
		28	68,50		34,44	50	5,22	27	65	4	
	Обратная промывка станками ФА-12	1	57	1270	24,37	25	5,26	30	85	5,2	
		2	62	1016	25,07	27	2,83	27	75	4,9	
		4	58	1270	24,47	24	5,5	30	80	5,0	
		5	60,3		22,24	25	9,02	30,8	85	6,2	
		6	59,3		22,52	25	5,45	23,6	90	6,8	
		8	60,52	1016	24,76	28	6,77	28,47	75	5,9	
		22	73,31		26,5	27	6,0	28,65	75	5	
		26	74		25,42	31	5,55	26	70	4,8	
		11	70		24,93	34	7,1	26	80	5,1	
		14	72,5		26,38	23	7,5	27	75	4,9	
		17	71		28,23	29	4,0	25	75	5	

16 Заказ № 2415

тельства скважин и сократил все виды затрат, снизив общую стоимость скважины. Поэтому этот метод нашел широкое применение при строительстве скважин вертикального дренажа во всех республиках Средней Азии. Только в Узбекистане (Голодная степь, Бухарская и Ферганская области) этим методом было пробурено более 700 скважин.

Применение глинистого раствора для временного закрепления стенок скважины усложняет процесс формирования гравийного фильтра, особенно в малодебитных мелкозернистых песках. Обязательное условие успешного формирования фильтра — немедленное проведение строительных откачек вслед за окончанием бурения ствола скважины. В противном случае происходит глинизация ее стенок и падение дебита. Так, ряд скважин в новой зоне Голодной степи (совхозы № 4, № 5 и № 6) оказались безводными или маловодными (дебиты 3—5 л/с). С целью усовершенствования технологии строительства скважин в конце 60-х годов начали применяться станки вращательно-всасывающего бурения (румынские ФА-12 и отечественные 1БА-15В), работающие методом обратной промывки. Принципиальное отличие в технологии бурения скважин большого диаметра вращательно-всасывающим методом — закрепление стенок скважины чистой водой за счет гидростатического противодавления (поддержание уровня воды в стволе скважины на 2,5—3 м выше уровня субнапорных вод каптируемого пласта) и создание больших скоростей промывной воды для выноса разработанного в забое шлама. Для успешного бурения скважины таким методом необходимо во время проходки ствола иметь постоянный ток чистой воды расходом до 30 л/с, обеспечивающий скорость в стволе скважины более 1,5—2,5 м/с. В противном случае нарушится гидростатическое противодавление и стенки скважин в рыхлых породах будут обрушаться.

Этот метод обеспечивает лучшие условия для формирования надежного гравийного фильтра и получения максимального удельного дебита, который в 1,6 раза больше, чем при бурении с глинистой промывкой (табл. 51). Скорость бурения при этом увеличивается в 2,5—3 раза, а диаметр бурения может быть доведен до 3000 мм (опыт строительства скважин на воду в США).

Удельный дебит скважин, построенных этим методом в тонко-, мелко- и среднезернистых песчаных водоносных пластах на аллювиальной равнине Голодной степи, изме-

няется от 4,5—7 л/с и до 10—17 л/с в гравелистых песках. Скорость проходки в супесчано-суглинистых грунтах равна 2,8—5 м/ч, а в разнозернистых песках — 4,5—5 м/ч, то есть в 1,6 раза больше, чем при бурении скважин роторно-вращательным способом. Затраты времени на полное строительство скважин (включая строительные откачки для формирования гравийного фильтра) глубиной 65—70 м составляют в зависимости от категорий грунта каптируемого пласта от 6 до 15 суток.

Первые 500 скважин, построенные в Голодной степи методом вращательно-всасывающего бурения, дали отличные результаты. Этот же метод широко используется при строительстве скважин на Краснознаменской системе юга Украины, в Поволжье и в других районах страны.

СТРОИТЕЛЬНАЯ ОТКАЧКА КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО ГРАВИЙНО-ПЕСЧАНОГО ФИЛЬТРА

Практика строительства высокодебитных скважин вертикального дренажа показала, что засыпка правильно подобранной песчано-гравийной смеси вокруг фильтрового каркаса в соответствии с фракционным составом грунта водоносного пласта — это только первый этап образования устойчивого фильтра. Второй этап — строительная откачка, которая окончательно формирует фильтр.

В период строительной откачки из обсыпки и водоносного пласта через поры фильтра и отверстия каркаса выносятся мелкие частицы, а более крупные отлагаются на внешней поверхности его, формируя устойчивый обратный фильтр. Процесс формирования подобного фильтра зависит как от способа бурения скважин и параметров водопроницаемой части, так и от скорости потока в прифильтровой зоне скважины (гл. 7), следовательно, от ее дебита. Поэтому, меняя дебит скважины, можно регулировать и объем выноса песка, улучшая условия формирования обратного гравийного фильтра.

Начальный большой дебит скважины в зоне контакта фильтра с грунтом водоносного пласта повышает скорости воды. Это усиливает вынос песка, в результате чего в мелкозернистом песке может произойти значительная (по глубине и диаметру) просадка устья скважины.

Поэтому при строительных откачках необходимо соблюдать следующие правила:

проводить очистку стенок и забоя скважин от шлама сейчас же после засыпки гравия в забой. Иначе в прифильтровой зоне скважины образуется уплотненный закольматированный слой грунта, который увеличивает продолжительность откачек, уменьшает удельный дебит скважин, а в некоторых случаях делает скважину безводной;

начинать строительную откачку с минимального дебита, если коптируемый пласт представлен мелкозернистыми и среднезернистыми песками;

контролировать увеличение дебита по объему выносимого песка в воде. Переходить к следующей ступени дебита (на большее понижение) можно только после полного прекращения выноса песка и стабилизации расхода, а также понижения воды в скважине. При этом режим строительной откачки, размер начального дебита следует назначать в зависимости от гранулометрического состава грунта водоносного пласта и гравийной обсыпки, а также от способа устройства фильтра;

начинать строительную откачку с максимального дебита, постепенно переходя на меньшее понижение после полного осветления откачиваемой воды, если эксплуатируемый пласт представлен галечником или гравием с песком. Это улучшает проницаемость прифильтровой зоны за счет выноса мелких частиц.

Для правильного назначения эксплуатационного дебита откачку рекомендуется проводить до получения максимального дебита. Эксплуатационные расходы Q скважины назначают на 10—15% меньше максимального дебита.

Характеристику скважин—кривые $Q=f(S_0)$ и $q=f(S_0)$ снимают во время опытно-эксплуатационной откачки, то есть по окончании формирования гравийного фильтра. Для этого после стабилизации понижения и осветления откачиваемой воды максимальный расход постепенно уменьшают, то есть проводят откачку в обратном порядке (от больших расходов к меньшим). Одновременно наблюдают за изменением дебита и понижением уровня воды в скважине.

Если водоприемная часть скважины расположена в водоносном пласте, представленном мелкозернистым и среднезернистым песками, то при строительной откачке нельзя допускать частых и резких остановок, так как усиливается вынос мелкозернистых

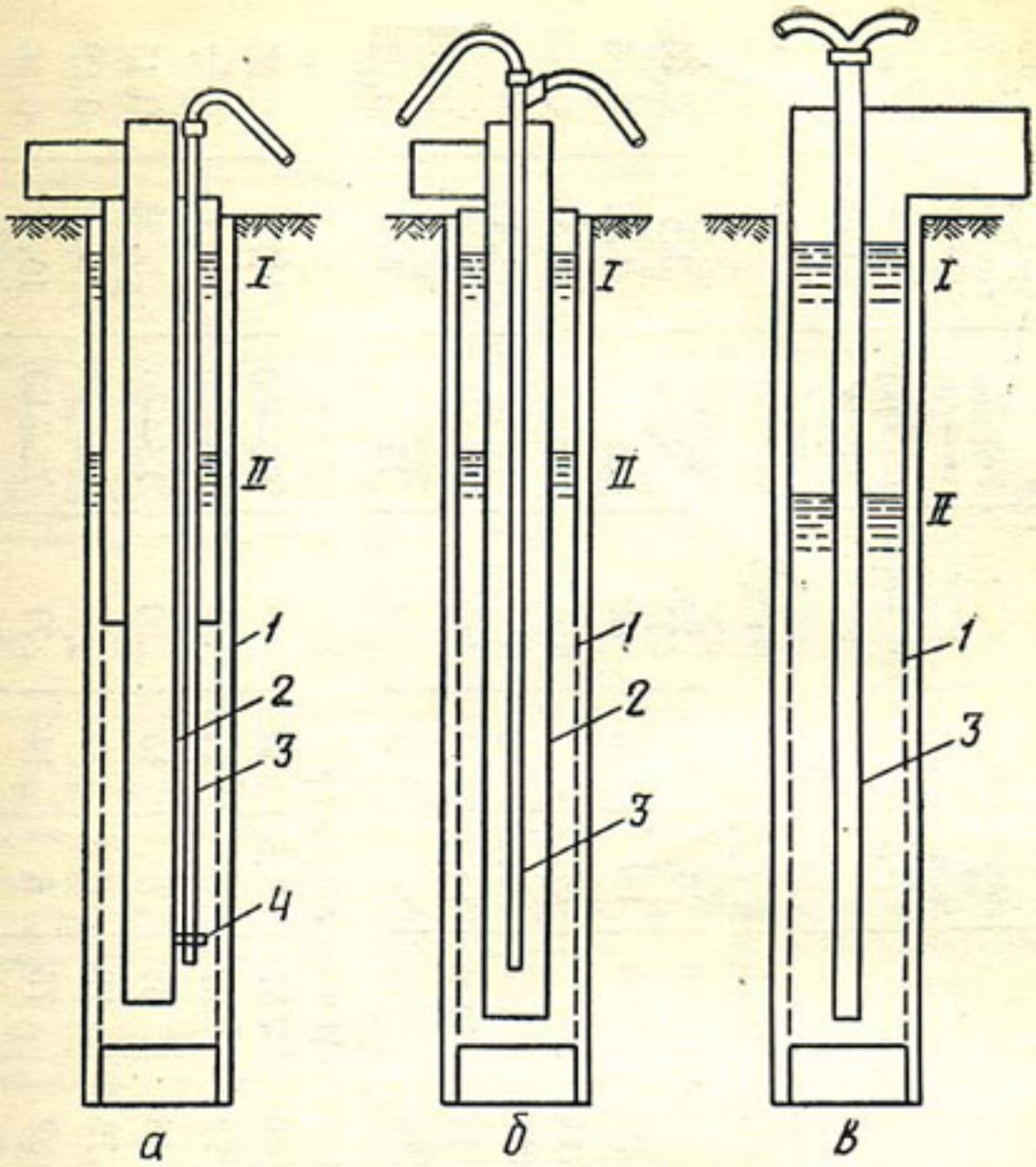


Рис. 53. Схема размещения труб эрлифта:

а — по схеме «рядом»; *б* — по схеме «внутри»; *в* — без специальной водоподъемной трубы; *I* — уровень воды в скважине до откачки; *II* — динамический уровень при откачке; *1* — фильтровой каркас; *2* — водоподъемная труба; *3* — воздуходувная труба; *4* — муфта с левой резьбой.

песков. Это может привести к обрушению устья скважин и искривлению фильтрового каркаса.

После ликвидации причин остановок откачку начинают с минимального дебита, увеличивая его лишь при полном осветлении откачиваемой воды и стабилизации понижения.

Если водоприемная часть расположена в водоносном пласте, представленном гравелистым песком, то целесообразно вести откачку с резкими остановками и пусками оборудования (обычно эрлифтная установка с компрессором). Это создает в водоносном грунте гидравлические толчки, в результате которых усиливается вынос мелких и отложение более крупных частиц в прифильтровой зоне скважины, что, в свою очередь, ускоряет формирование естественного обратного фильтра и улучшает проницаемость прифильтровой зоны.

Учитывая усиленный вынос и большой объем выносимого песка (от 15 до 125 м³) при формировании фильтра, строительную

Таблица 52. **Техническая характеристика и результаты строительных откачек из скважин в Голодной степи**

№ скважины	Глубина скважины, м	Длина фильтра, м	Объем гравия, засыпанного при строительстве, м³	Характерные частицы, мм				Дебит, л/с	Удельный дебит, л/с на 1 м	Продолжительность, суток	Общий объем засыпки гравия, м³	Объем вынесенного песка, м³	Объем гравия, отнесенный на 1 л удельного дебита, м³/л·с	Продолжительность откачек, отнесенная на 1 л дебита, сут/л·с
				D_{10}	D_{50}	D_{60}	$\frac{D_{50}}{d_{50}}$							
Совхоз «Социализм»														
1	75	24,3	17	4,3	7,7	8,4	15,4	130	10	25	22	15	3,5	0,038
2	68	25	40	4,4	7,4	8	20,2	200	14	15	60	25	4,27	0,05
3	83	35,5	50	4,4	8,4	9,6	14,4	135	14,5	5	50	10	3,45	0,037
4	74	35,7	45,6	4,1	6,6	7,2	18,8	160	9,5	6	51,6	15	5,45	0,038
5	76	39,3	21	5,2	10,1	11,9	14,3	200	12,5	10	31	25	2,5	0,025
6	76	37	48	3	8,9	9,4	19,4	110	10	3	48	15	4,8	0,026
Совхоз «Пахтаарал»														
1	50	22	63	1,1	5	7,2	30	57	5,5	30	93	55—60	17	0,53
4	48	24	24	4,6	13,6	15	72	67	6	25	32	50—55	5,35	0,37
5	50	23	32	4,4	10	11	45	65	6	15	32	35—40	5,35	0,15
6	51	25	26	7,4	13	14	72,3	70	6,6	25	65	65—70	10	0,29
7	55	25	34	4,2	10,7	11,2	52	75	6	14	71	55—60	10,1	0,16
9	67	40	42,2	7,2	15,8	16,2	79	72	7,2	30	82,2	80—85	11,3	0,42
10	65	33	33,2	8	13,6	14,9	62	65	7	20	67,2	50—53	9,55	0,31

11	53	27	21	3,7	6,8	7,3	30,3	67	4,7	7,5	36	15—16	7,65	0,11
12	56	28	22	3,1	6,3	7,1	30	68	5,7	5	36	20	6,3	0,07
13	70	40	35,2	7,5	14,2	16	77	68	5,5	45	47	75—80	8,55	0,51
14	62	36	30,5	7	12	13,1	48	75	6,5	15	30,5	30—35	4,7	0,13
15	70	37	34,5	1	15	17	79	65	6	38	55	80—85	9,2	0,58
16	65	35	32,1	9	12	13,5	81	70	6	32	55	95—100	9,2	0,46
17	64	22,8	32	4	10,2	14	51	70	5,5	54	32	30—35	5,8	0,50
19	63	26	32	7,2	12,5	13,5	73,5	65	6,5	29	75	65—70	11,5	0,45
21	63	30	42	6,5	10,3	12	54	60	6,2	65	75	25—30	12,1	0,25
22	67	31	42,5	7,3	15,3	17,2	90	67	5,6	70	97,5	125—150	17,3	0,82
24	57	18	38,0	4,8	8,3	11,3	42,5	66	7	17	38	25—30	5,43	0,18
27	59,4	26,4	40,5	7,1	8,7	12	35,0	66	6	16,5	40,5	20—25	6,75	0,14
31	63	30,5	32,5	4,1	8,7	10,2	46	70	6,7	11	46,5	25—26	6,95	0,16
32	61	29,8	31	4,05	8,5	9,2	37	92,5	8,1	10	40	20—22	4,95	0,11
36	59,8	30,9	40,5	5,5	13,8	15	53,3	71	6	13,5	50	25—30	8,3	0,18
38	60	30,4	46,0	4,05	8,2	10	34,3	87	8,2	7,5	51	15—16	6,25	0,09
39	67	30,3	41,2	3,9	7,9	9,7	30,2	69	6,8	6	55	10—15	8,2	0,09
40	63	32	48,0	5,5	13,3	15	63,5	74	5,3	15	51,2	40—45	9,7	0,20
41	66	29	50,5	3,7	7,5	8,5	31,2	81	8,1	6,3	60	10—12	7,4	0,08
43	67	36	51,2	3,7	7,5	8,5	30	90	9	6,1	51,2	15—16	5,7	0,07
47	62,3	31	48	4,2	8,9	10,2	38,7	75	6,1	8	55	15—18	9,1	0,11
48	62,3	34,7	48	4,6	9,2	10,6	38	75	6,2	6,5	48	20—22	7,75	0,09
51	65	25,4	49,6	4,2	8,9	10,2	47	68	5,5	7,5	39,6	20—25	9	0,11
52	69,7	31,9	53,5	4,2	9,2	10,6	51	68	5,7	8,5	60	20—25	10,5	0,12
55	70,3	25,4	53,7	4,4	9,5	11	43,5	72	6	7	53,7	30—35	8,85	0,10
56	69	21,9	52,8	4,4	9,5	11	37	97	6,3	6	52,8	25—26	8,4	0,06

Продолжение

№ скважины	Глубина скважины, м	Длина фильтра, м	Объем гравия, засыпанного при строительстве, м³	Характерные частицы, мм				Дебит, л/с	Удельный дебит, л/с на 1 м	Продолжительность, суток	Общий объем засыпки гравия, м³	Объем вынесенного песка, м³	Объем гравия, отнесенный на 1 л удельного дебита, м³/л·с	Продолжительность откачек, отнесенная на 1 л дебита, сут/л·с
				D_{10}	D_{50}	D_{60}	$\frac{D_{50}}{d_{50}}$							
57	65,5	20	50	4,4	9,7	11,2	40	67	5,6	7,1	50	15—16	8,9	0,11
58	64,5	28,14	49,5	4,4	9,7	11,2	51	78	6,3	8	60	40—45	9,5	0,10
59	62,7	25,6	48	5,5	13,3	15	70	72	6,6	16	60	45—50	9,1	0,22
Совхоз им. Свердлова														
10	66	36	50,5	4,4	9,3	10,5	49	85	8,1	8	50,5	20—25	6,2	0,09
11	71	33,5	54,2	4,6	9,7	11,2	46	67	5,7	13	54,2	25—30	7,55	0,19
12	63	37,2	48,2	4,2	9,3	11	52	65	4,7	14,6	55	40—35	11,7	0,22
13	61	33,3	46,6	4,7	9,2	9,9	42	67	5,5	13,6	46	30—32	8,35	0,20
14	68	32,2	52	3,7	7,2	8,5	28	70	4,4	5	52	10	11,8	0,07
15	70	38,6	53,5	3,7	5,2	8,5	22	74	6,5	4	53,5	10	6,5	0,05
16	70	32,3	53,5	3,5	6,7	8,2	28	80	6,4	4	59,5	10	6,6	0,05
17	71,5	31,02	54,6	4,2	7,2	8,6	29	82	6,6	6	54	15—16	6,5	0,07
18	69	33,6	52,8	3,9	7,5	9,5	27,8	70	4,8	7	52,8	20—25	11,0	0,10
19	68,2	39,4	52,1	3,3	5,2	7,6	21	90	7,2	5	52,1	10	7,25	0,06
21	68,8	37,9	52,5	8,8	14,8	15,6	82	68	7,2	15,6	90,7	200	12,5	0,23
22	69	34,4	45,8	4,6	8,5	9,7	40	75	6,7	9	45,8	40—45	6,85	0,12

откачку обычно проводят эрлифтом. В некоторых случаях для получения максимального дебита скважины используют специальное насосно-силовое оборудование. Выбирать оборудование следует в зависимости от проектного дебита скважины, высоты подъема воды, содержания песчаных частиц в откачиваемой воде и продолжительности выноса их.

При применении эрлифта водоподъемные и воздуходувные трубы можно располагать по трем схемам:

по схеме «рядом» — воздуходувная труба расположена с внешней стороны водоподъемной (рис. 53, *а*);

по схеме «внутри» — воздуходувная труба расположена внутри водоподъемной (рис. 53, *б*);

вместо водоподъемной трубы используется фильтровый каркас скважины (рис. 53, *в*).

Строительную откачку в Голодной степи проводят по последним двум схемам. Если эрлифт монтируют по третьей схеме, то для наблюдения за динамическим уровнем в отстойник скважины опускают трубу диаметром 2″. Использование фильтрового каркаса вместо водоподъемной трубы облегчает монтаж эрлифта, улучшает маневренность воздуходувной трубы, так как для ее опускания и подъема не требуется специальной подъемной машины. Однако в этом случае есть опасность разрушения обсыпного фильтра. Поэтому в последние годы, после внедрения бурения скважин методом обратной промывки, строительную откачку проводят по схеме «внутри». При этом откачку лучше всего проводить при глубоком расположении труб эрлифта — воздуходувную трубу опускать до отстойника. Затем, после получения максимального дебита, разработку каптируемого пласта и формирование гравийного фильтра следует осуществлять послойно (снизу вверх).

В этом случае расход откачиваемой воды зависит от количества подаваемого воздуха, то есть частоты вращения и мощности компрессоров. Причем, чтобы избежать захвата труб эрлифта песком во время усиленного выноса (в случае внезапной остановки оборудования для откачки), в работе должно быть одновременно не менее двух компрессоров.

При маломощном водоносном горизонте следует учитывать, что для строительной прокачки скважины эрлифтом требуется дополнительная глубина скважины (в 1,5—2 раза больше высоты подъема воды).

В Голодной степи (Шурузякское понижение) при толщине гравийной обсыпки 250—450 мм (зазор между фильтровой колонной и кондуктором 232—422 мм) там, где водоносный пласт представлен гравелистым песком и дебит скважин равен 100—110 л/с, продолжительность строительной откачки составляла 5—10 суток, а из скважин с дебитом 50—75 л/с — в мелкозернистых песках — 7—70 суток (табл. 52).

Такие колебания объясняются неправильным подбором фракционного состава гравийной обсыпки. При правильном ее подборе и соблюдении технологии строительства продолжительность строительной откачки не превышает 5—10 суток, а главное обеспечивает надежность дальнейшей эксплуатации скважин.

Для улучшения формирования устойчивого фильтра строительную откачку следует проводить в соответствии с режимом, показанным в таблице 53.

Таблица 53. **Режим строительных откачек для условий аллювиальной равнины (Голодная степь)**

Грунт каптируемого пласта	I понижение $S=5-7$ м		II понижение $S=7-10$ м		III понижение $S=10-15$ м		Общий срок строительных откачек, сутон
	подача, л/с	продолжительность, суток	подача, л/с	продолжительность, суток	подача, л/с	продолжительность, суток	
Песок:							
тонкозернистый	15—20	До 4	20—30	3—4	30—50	3—4	9—12
мелкозернистый	25—35	3—4	40—60	2—3	60—80	2—3	7—9
серднезернистый	30—40	2—3	50—70	2—3	70—100	2—3	6—8
крупнозернистый	40—50	До 2	50—70	До 2	70—100	До 2	До 6
гравелистый	50—60	До 2	60—90	До 1	>100	До 1	До 4
Гравий и галечник	100	До 1	60—80	До 1	<60	До 1	До 3

Продолжительность формирования устойчивого фильтра при зазоре между фильтровой колонной и кондуктором 232—422 мм и правильном подборе фракционного ее состава можно определить по формуле, полученной на основании анализа опытных данных (Голодная степь):

$$T=\alpha\frac{D_{50}}{d_{50}}\ k\lg\sqrt{Q}, \qquad (120)$$

где α — коэффициент, учитывающий метод бурения скважин (при роторно-вращательном методе $\alpha=0{,}75$, а при вращательно-всасывающем $\alpha=0{,}5$); Q — дебит скважины, л/с; D_{50} — средний диаметр частиц гравийной обсыпки, мм; d_{50} — средний диаметр частиц грунта водоносного пласта, мм; T — продолжительность строительных откачек; сут.; k — коэффициент, учитывающий толщину гравийной обсыпки.

$$k=\frac{0{,}58-r}{0{,}59}, \qquad (121)$$

где r — толщина гравийной обсыпки, м.

Объем гравия V, необходимый для формирования фильтра, можно рассчитать с учетом его уплотнения и растекания, а также дополнительного погружения материала обсыпки по формуле:

$$V=0{,}785k_{\text{у}}\left(D^2_{\text{скв}}-d^2_{\text{ф.к}}\right)H, \qquad (122)$$

где $D_{\text{скв}}$ — диаметр скважины, м; $d_{\text{ф.к}}$ — диаметр фильтрового каркаса, м; H — глубина скважины, м; $k_{\text{у}}$ — коэффициент, учиты-

вающий уплотнение и растекание обсыпки, а также дополнительного погружения гравия при строительной откачке.

$$k_у = e^{0,009 D_{50}/d_{50}}. \quad (123)$$

При подборе гравийной обсыпки в соответствии с гранулометрическим составом грунта водоносного пласта этот коэффициент может быть принят 1,2—1,3, в противном случае он увеличивается до 2 и более.

Переход на метод вращательно-всасывающего бурения с обратной промывкой чистой водой значительно облегчил создание обсыпного фильтра, заключительным этапом которого является строительная откачка. Ее продолжительность и успешность проведения зависят от того, насколько тщательно подобран состав фильтровой обсыпки (гл. 7) и, что не менее важно, правильно ли выполнены и выдержаны технологический процесс бурения скважины и засыпка рыхлого фильтрового материала в зазор между кондуктором и фильтровой колонной скважины. Важно, чтобы обсыпка равномерно заполнила этот зазор, образуя фильтровую защиту стренера одинаковой толщины и состава. В противном случае может быть искривление колонны или прорыв плывунных водоносных песков и длительное пескование скважины.

С вводом метода обратной промывки чистой водой в практику строительства скважин вертикального дренажа отпала очень трудоемкая и тонкая операция разглинизации скважины, необходимая для получения полноценного дебита соответствующего гидрогеологическим возможностям разреза и водозахватной способности скважины. При работе с глинистым раствором малейшая задержка в организации строительной откачки снижала паспортные характеристики скважин, а в малодебитных разрезах могла полностью вывести из строя скважину.

Засыпка песчано-гравийной смеси в чистую воду, несомненно, улучшает качество первоначальной укладки рыхлой обсыпки по стволу фильтровой колонны, определяя более равномерный состав обсыпки, чем это было при засыпке в глинистый (даже несколько облегченный) раствор. В последнем происходила значительная дифференциация по удельному весу фракционного состава обсыпки, вследствие чего внизу оказывались более крупные частицы и формировался крупнопористый фильтр. Поэтому строительная откачка была продолжительной, а вынос песчаного материала водоносного пласта определялся часто значительными объемами.

Глава 9

НАСОСНО-СИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ НА СКВАЖИНАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА *

УСЛОВИЯ И НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ НАСОСНО-СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СКВАЖИНАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Работа насосных установок вертикального дренажа должна обеспечить в комплексе с орошением, агротехническими и агрохимическими мероприятиями проектный мелиоративный режим орошаемой территории. Поэтому весьма важно гарантировать достаточную надежность работы насосных установок и их экономичность.

К началу широкого опытно-производственного внедрения вертикального дренажа, которое в первую очередь осуществлялась на землях старого орошения, сильно страдающих от вторичного засоления, отечественная промышленность не выпускала еще нужного ассортимента типоразмеров скважинных насосных установок. В связи с этим одновременно с развитием строительства вертикального дренажа на староорошаемых землях шла разработка скважинных насосов.

Насосно-силовое оборудование — неотъемлемая часть подземного водозаборного сооружения каждой установки вертикального дренажа. Оно работает непосредственно в контакте с водоприемником (фильтровая колонна) и гравийно-песчаной обсыпкой. Как известно, создание обратного фильтра вокруг фильтровой колонны происходит при строительной откачке. Качество последнего непосредственно влияет на надежность и долговременность работы насосно-силового агрегата. Наиболее опасно для работы насосов — пескование скважин, особенно длительное, связанное с наличием в скважине крупнопористого фильтра,

* Глава написана А. Я. Белоусовым и Н. М. Решеткиной.

сквозь поры которого происходит суффозионный вынос тонкозернистых и мелкозернистых фракций водоносного пласта.

При качественном выполнении обсыпного фильтра пескование скважин в момент смены режима работы (остановка, пуск, изменение расхода) происходит, но кратковременно (несколько минут), а содержание песка в откачиваемой воде составляет не более 0,05%.

При некачественном же строительстве обсыпных гравийно-песчаных фильтров скважины много и долго пескуют при каждой смене режима работы. Это часто выводит

Таблица 54. **Средние эксплуатационные параметры скважин вертикального дренажа в Голодной степи** (1973 г.)

Массив	Валовая площадь, тыс. га	Число действующих скважин, шт.	Дебит скважин, л/с	Понижение, м
Шурузякский:				
южный район	20,0	60	80—110	8—9
центральный и западный районы	96,9	153	60—80	6—8
Сардобинский и Баяутский	85,4	137	30—50	10—15
Пахтааральский и Джетысайский	101,1	386	50—80	10—15
Кировский	70,5	41	30—50	10—15
Центральный	21,5	253	17—52	10—20

Продолжение

Массив	Удельный дебит, л/с на 1 м	Глубина, м	Площадь, обслуживаемая одной скважиной, га	Динамический уровень в скважине от поверхности земли, м
Шурузякский:				
южный район	10—12	70	330	11—13
центральный и западный районы	9—10	65—71	100—300	8—10
Сардобинский и Баяутский	3—5	42—75	300—500	13—18
Пахтааральский и Джетысайский	5—8	55—75	125—450	13—17
Кировский	3—5	40—70	100—300	13—18
Центральный	2—3	60—100	40—80	15—25

из строя не только насосно-силовое оборудование, но и скважины (просадка и провал устья скважин и др.).

Основные испытания надежности работы насосно-силового оборудования, разработка и испытание новых конструкций проводились на объектах Голодной степи (табл. 54).

При строительстве скважин применялась в основном одноколонная стальная труба диаметром 426 мм. В интервале каптируемого пласта обсадная колонна имеет перфорацию в виде прямоугольных щелей или круглых отверстий общей скважностью 10—22%. Затрубное пространство заполнено гравийно-песчаным обсыпным фильтром на всю глубину бурения. По мере оседания гравийно-песчаной смеси ее подсыпают через зазор между кондуктором и фильтровой колонной.

Гранулометрический состав каптируемых водоносных пластов и обсыпки фильтра скважин вертикального дренажа, построенных до 1970 г. на Шурузякском, Пахтааральском и Сардобинском массивах, показаны на рисунке 47. Эти массивы хорошо характеризуют особенности литологического строения водоносных комплексов Голодной степи. В водоносных пластах Шурузякского массива преобладают крупные фракции (40—50% общего состава), а Пахтааральского и Сардобинского массивов — очень мелкие (0,05—0,5 мм) фракции (40—50%).

Средние значения коэффициента межслойности для скважин, построенных в Голодной степи в течение 1958—1970 гг., приведены в таблице 55.

Таблица 55. **Коэффициент межслойности для скважин, построенных в Голодной степи в 1958—1970 гг.**

Массив	Годы строительства скважин	Число скважин	Коэффициент межслойности D_{50}/d_{50}
Шурузякский	1958—1964	11	13
	1965—1970	147	10
Пахтааральский	1962—1964	33	45,5
	1965—1967	35	40
	1968—1970	94	33,6
Сардобинский	1967—1970	49	49,3

Незначительный вынос песка и устойчивость устья скважины сохраняются при условии (гл. 7):

$D_{50}/d_{50}=15—25$ для тонко- и мелкозернистых песков;

$D_{50}/d_{50}=25—35$ для средне- и крупнозернистых песков.

Следовательно, скважины, построенные на Пахтааральском и Сардобинском массивах, склонны к пескованию.

В первые годы освоения вертикального дренажа использовались насосы артезианского типа с трансмиссионным валом (в

основном типа ВП и АТН). Средний срок службы этих насосов был крайне низкий и составлял около 2000 ч. Кроме того, артезианские насосы с трансмиссионным валом сложны в эксплуатации и трудоемки в ремонте, обладают пониженным к. п. д. вследствие значительных гидравлических потерь в водоподъемной колонне.

С начала 60-х годов на скважинах вертикального дренажа стали внедрять погружные насосы, в которых отсутствует трансмиссионный вал, а насос и электродвигатель непосредственно соединены в единый блок. Эти насосы проще и удобнее в эксплуатации, а в целом насосная установка имеет более высокий к. п. д.

Были разработаны и поставлены на опытную проверку в производственные условия скважинные насосы с погружными электродвигателями: ЭЦВ12-255-30, ЭЦВ12-375-30 и ЭЦВ10-160-35. Они имеют более высокие технико-экономические показатели при подачах от 30 до 110 л/с и напорах от 28 до 40 м.

Срок службы этих насосов в Голодной степи составлял также только 2500—3000 ч, что почти в 2 раза меньше проектной величины. Поэтому примерно 50% эксплуатационных затрат приходилось на ремонт насосных установок, а общее время простоев скважин достигало 40—70% календарного времени. Низкий коэффициент полезной работы (к. п. р.) скважин не позволял создать нормальный мелиоративный режим и снижал эффективность вертикального дренажа.

Наиболее недолговечными элементами в насосной части были подшипниковые узлы и рабочее колесо, а в электродвигателе — упорный подшипник и обмотка статора.

Основная причина быстрого выхода из строя подшипниковых узлов и рабочего колеса — гидроабразивный износ, а обмотки статора — неравномерный нагрев в полости электродвигателя и наличие накальных участков перегрева проводов обмотки статора (более 50°С).

Конструкция скважин вертикального дренажа, оборудуемых обсыпным гравийно-песчаным фильтром, обусловливает пескование в послепусковой период от нескольких минут (при правильном подборе состава гравийно-песчаной обсыпки) до 1—3 ч (при неправильном подборе). Содержание механических примесей в откачиваемой воде в первые минуты при крупнопористых фильтрах доходит до 3—4% по массе. Суммарное количество вынесенного песка в послепусковой период работы скважины колеблется от 70 до 500 кг (в зависимости от качества фильтра и характера запуска в работу скважин). Число остановок и пусков насосной установки за год достигает 50—90, а иногда и более. Процесс абразивного износа деталей усугубляется

коррозионным действием откачиваемой воды, минерализация которой колеблется от 3 до 7, а в редких случаях до 25 г/л. Воды слабощелочного типа.

На основании изучения механизма изнашивания трущихся пар при наличии в зоне контакта абразивных частиц и гидроабразивного изнашивания деталей, омываемых потоком, были разработаны и осуществлены следующие мероприятия по повышению износостойкости деталей скважинных насосов:

детали проточной части насосов стали изготавливаться из нержавеющей стали с содержанием хрома 12—14% и твердостью НВ около 700;

подшипниковые узлы надежно защитили от попадания механических примесей;

трущиеся пары уплотнений и упорного подшипника стали изготавливаться из твердых минералокерамических материалов.

После модернизации скважинные насосы были испытаны с целью определения количественных показателей надежности их работы на тех же массивах Голодной степи. Концентрация песка в откачиваемой воде при пуске скважин на Шурузякском массиве достигала 0,6% по массе, Пахтааральском — 2% и Сардобинском — 3—4%. Суммарное количество вынесенного песка за время пескования скважины при одном пуске на Шурузякском массиве составляло в среднем 50 кг, Пахтааральском — 400 и Сардобинском — 700 кг. Частицы песка, выносимые из скважин всех участков, имели угловатую форму.

Интерес представляют результаты испытаний модернизированного электронасоса ЭЦВ12-255-30М, как наиболее распространенного в Голодной степи (рис. 54). На Шурузякском массиве было испытано 97 насосов, на Пахтааральском—255, на Сардобинском—92 насоса (САНИИРИ, А. Я. Белоусов).

При расчете показателей надежности были приняты те отказы насосов, которые произошли не по вине обслуживающего персонала. Число их составило 58—74% от общего числа отказов.

Средняя наработка до отказа электронасосов оказалась на Шурузякском массиве 4467—5011 ч, на Пахтааральском и Сардобинском массивах — 3381—3634 ч, а вероятность безотказной работы при наработке 6300 ч (параметр ГОСТ 10428—71) составляет соответственно $P(6300) = 0{,}125—0{,}25$ и $P(6300) = 0{,}092—0{,}165$.

В соответствии с ГОСТ 10428—71 вероятность безотказной работы этих электронасосов при наработке 6300 ч составляет $P(6300) = 0{,}9$.

Полученные данные свидетельствуют о низкой надежности электронасосов в специфических условиях работы

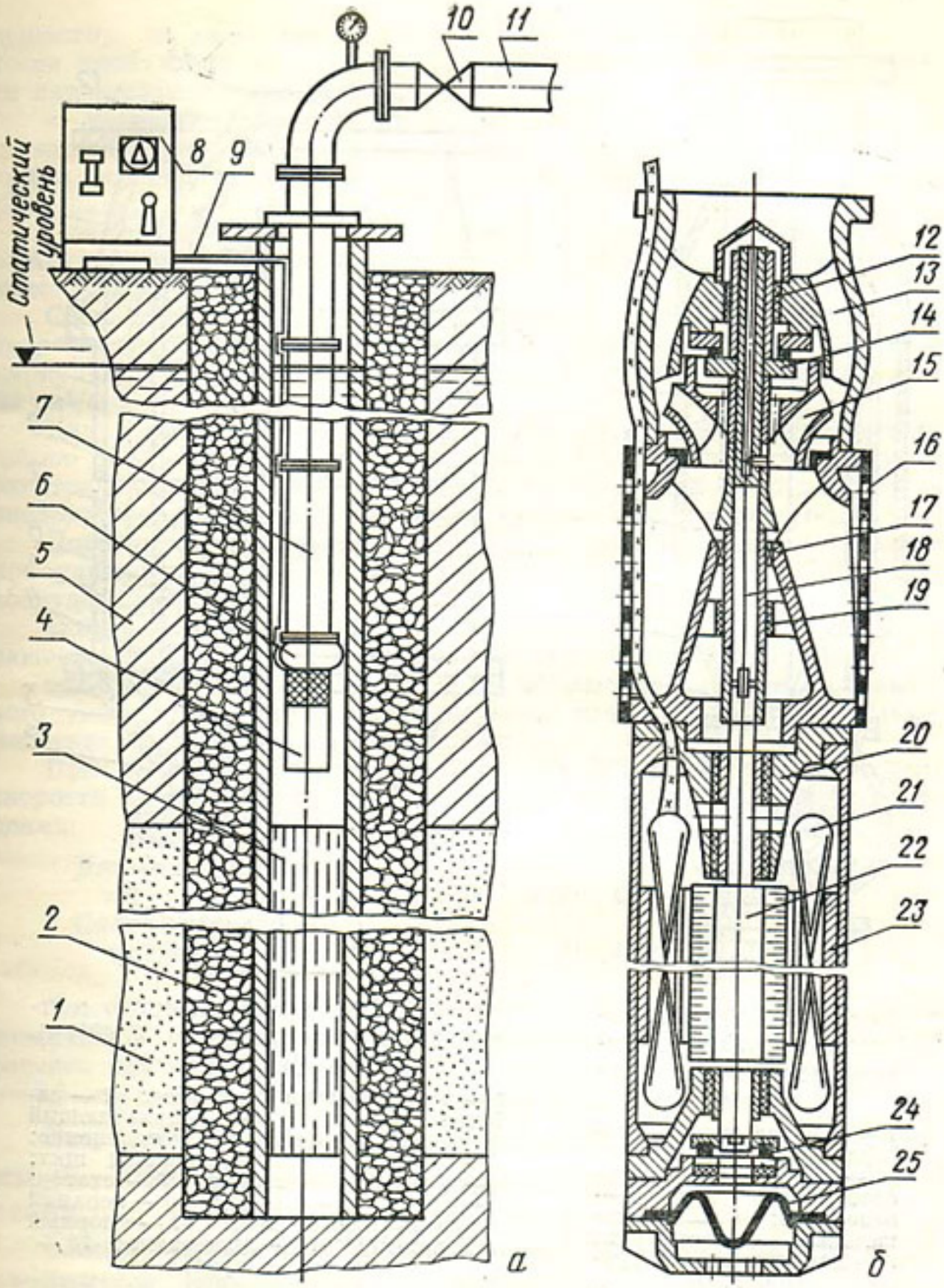


Рис. 54. Схема установки вертикального дренажа орошаемых земель *(а)* и схема электронасоса *(б)*:

1 — водоносный пласт; *2* — гравийная обсыпка; *3* — фильтровая часть; *4* — глухая часть; *5* — покровная толща; *6* — скважинный электронасос; *7* — водоподъемная колонна; *8* — станция управления; *9* — кабель токоподводящий; *10* — задвижка; *11* — наземный трубопровод; *12* — верхний подшипник насоса; *13* — выправляющий аппарат; *14* — упорный подшипник; *15* — рабочее колесо; *16* — основание насоса; *17* — каркасный сальник; *18* — вал насоса; *19* — нижний подшипник насоса; *20* — верхний подшипниковый щит; *21* — обмотка статора; *22* — ротор электродвигателя; *23* — статор; *24* — упорный подшипник; *25* — диафрагма.

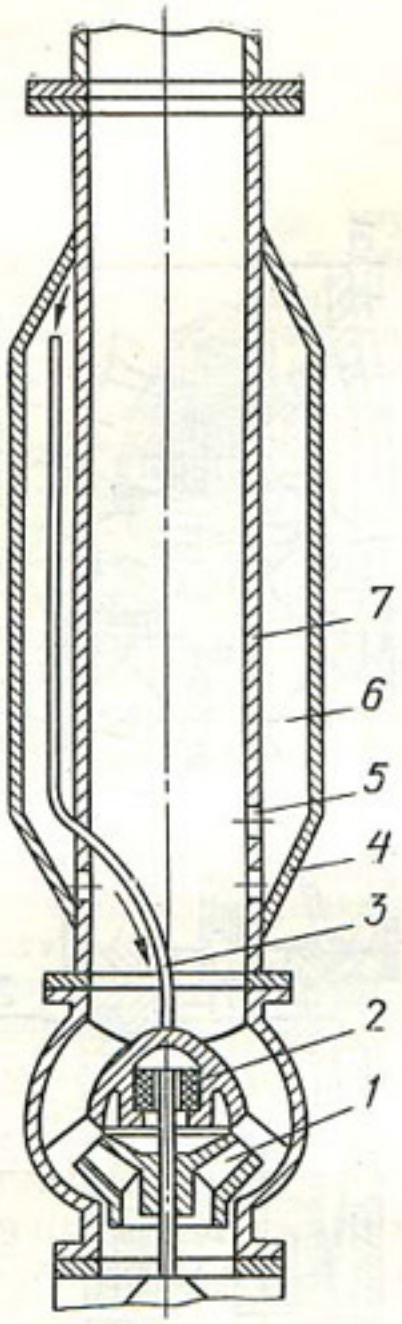


Рис. 55. Схема скважинного насоса с вертикальным отстойником:

1 — рабочее колесо; *2* — верхний подшипник; *3* — трубка; *4* — конусообразное дно; *5* — отверстие; *6* — вертикальный отстойник; *7* — напорный патрубок.

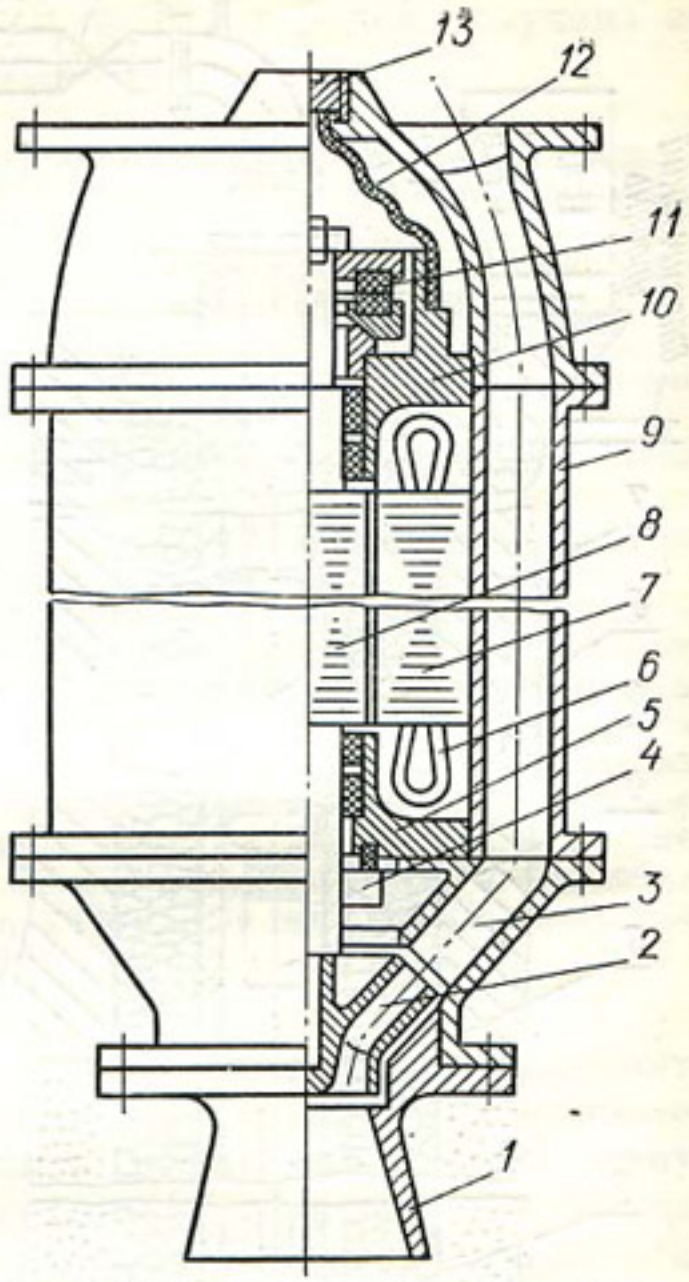


Рис. 56. Схема скважинного капсульного электропасоса СКЭН16-315-30:

1 — всасывающий патрубок; *2* — рабочее колесо; *3* — выправляющий аппарат; *4* — торцовое уплотнение; *5* — нижний подшипниковый щит; *6* — обмотка статора; *7* — статор; *8* — ротор; *9* — кожух; *10* — верхний подшипниковый щит; *11* — упорный подшипник; *12* — диафрагма; *13* — заливная пробка.

(откачка воды с механическими примесями и высокой минерализацией).

Наиболее слабыми узлами в модернизированных конструкциях скважинных насосов оказались верхний подшипник насоса и обмотка статора электродвигателя.

Шариковый обратный клапан, предназначенный для предотвращения попадания песка в полость верхнего подшипника, по

существу, не выполняет своих функций. Более 50% отказов насосов происходит из-за интенсивного абразивного износа трущихся пар верхнего подшипника.

В погружном электродвигателе часто ($^1/_3$ всех отказов) из строя выходит обмотка статора. Одна из причин — пробой изоляции вследствие старения обмотки статора из-за повышенных температур.

Для предотвращения попадания абразивных частиц песка в полость верхнего подшипника насоса САНИИРИ разработал две конструкции защиты подшипника.

Срок службы обмотки статора можно увеличить, обеспечив в полости электродвигателя нормальный тепловой режим, то есть циркуляция в электродвигателе должна быть не менее 25—30 см^3/с.

Как показали исследования САНИИРИ, необходимую циркуляцию обеспечивает пята с подпятником упорного подшипника в электродвигателе. Кроме того, для этих же целей можно нарезать винтовую канавку на поверхности ротора электродвигателя.

Погружные электродвигатели с вышеописанными схемами принудительной циркуляции, изготовленные в САНИИРИ, были оборудованы:

скважинным вертикальным отстойником (рис. 55), обеспечивающим очистку воды и подачу ее для смазки подшипника;

защитным устройством в виде обратного клапана поплавкового типа, предотвращающего переток воды, содержащей механические примеси, через подшипник.

При разработке вертикального отстойника были определены скорости осаждения частиц песка при стесненных условиях падения:

Диаметр частиц, мм	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Скорость витания частиц, мм/с	0,59	1,72	5,31	0,22	11,16	14,05

Исходя из того, что частиц песка диаметром менее 0,05 мм содержится в откачиваемой воде не более 1%, принимаем для расчета вертикального отстойника восходящую скорость, равную $v=0{,}5$ мм/с.

Эти конструкции защиты подшипников были испытаны на скважинах вертикального дренажа в Голодной степи.

Скважинный насос, оборудованный вертикальным отстойником, проработал до отказа 6900 ч при песковании скважины около 0,6% по массе. Наработка же до отказа у 3-х серийных электронасосов, установленных на этой же скважине, не превышала 3500 ч. Оборудование насосов обратными клапанами поплавкового типа увеличило срок их службы более чем в 2 раза. Насосы прошли испытания на скважинах вертикального дренажа в Голодной степи и показали увеличение долговечности обмотки статора электродвигателя более чем в 1,5—2 раза.

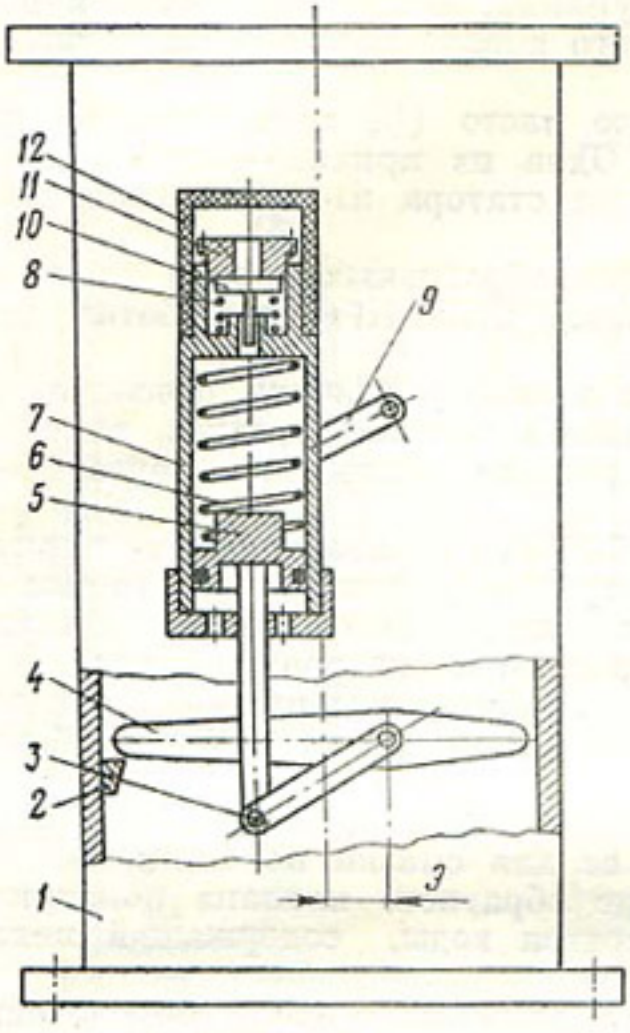


Рис. 57. Схема дроссельного устройства:

1 — патрубок; *2* — ограничитель; *3* — кривошип; *4* — клапан; *5* — поршень; *6* — основная пружина; *7* — цилиндр; *8* — пружина; *9* — рычаг; *10* — клапан обратный; *11* — крышка; *12* — фильтр.

В результате исследований в САНИИРИ разработан и изготовлен скважинный электронасос капсульного типа СКЭН16-315-30 (рис. 56) для скважин вертикального дренажа с повышенным пескованием.

Вода из скважин забирается насосом и, пройдя через его проточную часть и межтрубное пространство, ограниченное корпусом электродвигателя и наружной трубой, поступает в водоподъемную колонну. Осевая нагрузка электронасоса воспринимается упорным подшипником.

К основным преимуществам капсульного электронасоса по сравнению с серийными образцами относятся:

улучшенные гидравлические качества проточной части насоса;

отсутствие подшипниковых узлов в насосной части;

обеспеченность принудительной циркуляции воды в полости электродвигателя;

высокая степень унификации деталей и узлов с серийными электронасосами.

Вышеперечисленные качества обеспечивают капсульному электронасосу высокую надежность при работе в интенсивно пескующих скважинах вертикального дренажа (при пусках после остановок их).

Для обеспечения плавного нарастания подачи насоса от нуля до эксплуатационной величины и предотвращения обратного тока воды при остановке насоса из водоподъемной колонны в скважину в САНИИРИ разработано автоматическое дроссельное устройство (рис. 57). Скорость нарастания подачи или время полного открытия задвижки программируется в зависимости от эксплуатационной характеристики скважины.

Исследования показали, что дроссельное устройство исключает гидравлический удар при пуске насоса и уменьшает пескование скважины более чем в 2 раза. Наработка до отказа электронасосов ЭЦВ12-255-30М, обо-

рудованных дроссельными устройствами, повышается в 1,5—2 раза. По заказу Минводхоза УзССР завод ЦБЭСРПП (п. Бектемир) изготовил первую опытно-промышленную партию автоматических дроссельных устройств, которые установлены на скважинах в Голодной степи.

К. П. Д. НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Из насосного оборудования, выпускаемого в настоящее время отечественной промышленностью для скважин вертикального дренажа, можно рекомендовать 16 типоразмеров скважинных насосов (табл. 56).

На скважинах вертикального дренажа наиболее целесообразно применять 8 типоразмеров: ЭЦВ10-63-40Г, ЭЦВ10-120-40Г, ЭЦВ10-160-15, ЭЦВ10-160-35М, ЭЦВ12-

Таблица 56. **Технические данные скважинных насосов, рекомендуемых для скважин вертикального дренажа**

Марка насоса	Рекомендуемая рабочая область		Подпор, м	Номинальная мощность электрического двигателя, кВт	Минимальный внутренний диаметр обсадной колонны, мм
	подача, м³/ч	напор, м			
ЭЦВ8-40-65	26—57	43—80	1	11	200
ЭЦВ10-63-40Г *	40—80	30—48	1	11	250
I ЭЦВ10-63-65	50—75	56—72	1	22	250
ЭЦВ10-120-40Г *	85—150	31—46	1	22	250
I ЭЦВ10-120-60	90—150	50—69	1	32	250
ЭЦВ10-160-15**	120—175	14—18	1	11	250
ЭЦВ10-160-35М*	120—175	28—40	1	22	250
ЭЦВ10-160-65	120—200	53—75	1	45	250
ЭЦВ12-210-25 *	140—250	21—37	2	22	301
ЭЦВ12-210-55	160—250	44—66	2	45	301
ЭЦВ12-255-30М	230—330	22—33	6	32	301
2 ЭЦВ12-255-30Г *	220—285	27—34	6	32	301
ЭЦВ12-375-30	320—410	28—34	6	45	301
ЭЦВ16-500-45**	270—500	50—62	7	90	400
20А-18×1	375—675	24—34	2	75	500
24А-18×1	750—1500	35—53	2	250	600

* Конструкция насосов и материалы, в наибольшей степени соответствующие условиям работы на скважинах вертикального дренажа.

** Насосы разработаны, прошли хозяйственную проверку и рекомендованы к серийному производству.

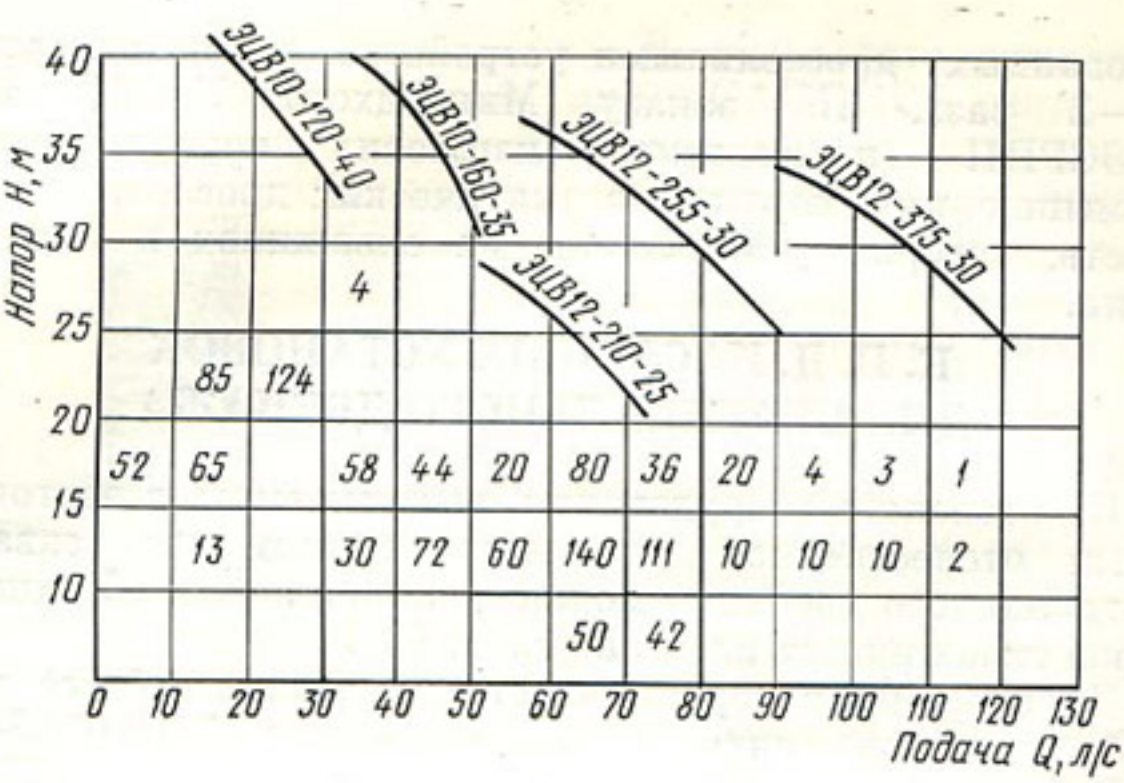


Рис. 58. Режимы работы скважин и характеристики скважинных насосов для вертикального дренажа (Голодная степь, 1975 г.).

210-25, ЭЦВ12-255-30Г, ЭЦВ12-375-30 и ЭЦВ16-500-45. Диапазон их работы составляет по подаче 15—138 л/с, а по напору 14—62 м.

Опыт эксплуатации скважин вертикального дренажа в Узбекской ССР показал, что подавляющая часть насосных установок вынуждена работать при прикрытой задвижке, то есть к.п.д. насосных установок искусственно занижается пропорционально отношению действительного напора насоса к требуемому при данном динамическом понижении. Так, в Голодной степи среднеэксплуатационный к.п.д. насосных установок не превышает 40%, что на 20% с лишним меньше среднего проектного уровня насоса. Это объясняется тем, что выпускаемые типоразмеры скважинных насосов не могут охватить всего разнообразия гидрогеологических характеристик скважин (рис. 58).

Конструкция применяемых скважинных электронасосов позволяет регулировать подачу двумя наиболее доступными методами: дросселированием или подрезкой рабочих колес насоса. Дросселирование не требует дополнительных капитальных затрат, наиболее надежно, позволяет оперативно регулировать на всем диапазоне подач в течение всего периода эксплуатации насосов, причем процесс регулирования легко автоматизируется. Недостаток этого способа — значительное снижение к. п. д. установки.

Подрезка рабочих колес позволяет увеличить площадь $Q—H$, перекрываемую одним типоразмером насоса при заданном минимальном к.п.д., и эксплуатировать насосы при более высоких к.п.д. по сравнению с дросселированием. Кроме того, при подрезке сохраняется возможность регулирования дросселированием. Однако при этом снижается к.п.д. электродвигателя.

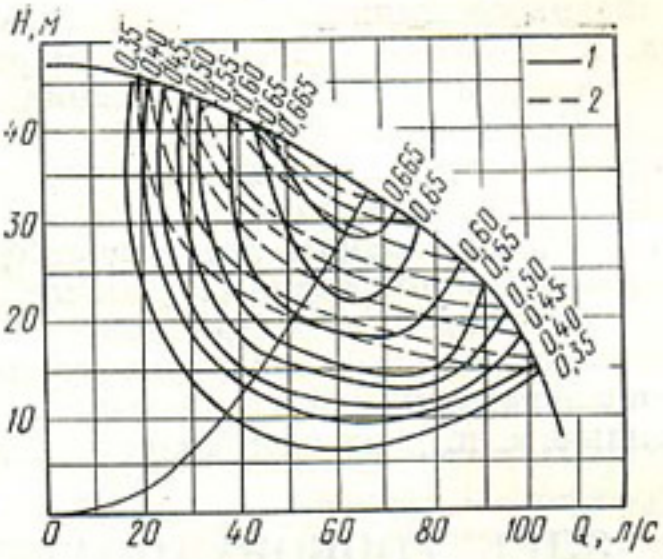


Рис. 59. Универсальная характеристика электронасоса ЭЦВ12-255-30М:

1 — линии равных к. п. д. при подрезке рабочего колеса; 2 — линии равных к. п. д. при дросселировании.

Исследования по подрезке рабочего колеса насоса ЭЦВ12-255-30М, как наиболее распространенного на скважинах вертикального дренажа в Узбекской ССР (более 60% общего числа насосов), выполнены в САНИИРИ на специально спроектированном испытательном стенде с мотор-весами. На рисунке 59 приведена универсальная характеристика насоса ЭЦВ12-255-30М, снятая мотор-весами, из которой видно, что при сохранении одного и того же к. п. д. область регулирования насоса при подрезке рабочего колеса более чем в 2 раза превышает дросселирование.

Применение подрезки рабочего колеса позволит использовать выпускаемые типоразмеры скважинных насосов при сохранении

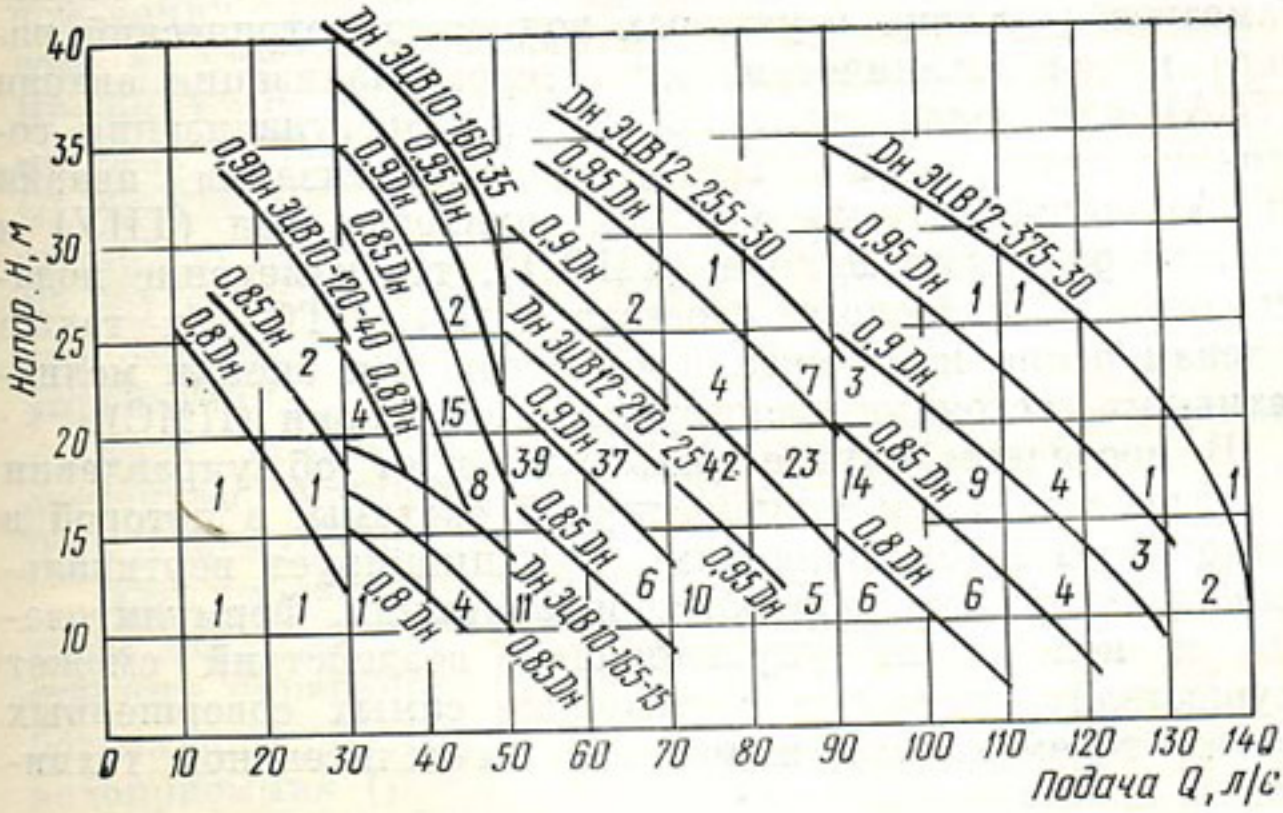


Рис. 60. Распределение скважин и характеристики насосов с подрезанными рабочими колесами.

заданного минимально допустимого или среднеэксплуатационного к. п. д. Увеличение типоразмеров насосов для вертикального дренажа приведет к повышению к. п. д. насосных установок.

По данным САНИИРИ, оптимальное число типоразмеров электропогружных насосов для вертикального дренажа должно быть увеличено до 29.

На переходном этапе целесообразно в случае необходимости применять подрезанные рабочие колеса при обеспечении заданного уровня к. п. д. (рис. 60).

Оптимальное число типоразмеров насосов на скважинах вертикального дренажа поднимет существующий среднеэксплуатационный к. п. д насосов более чем на 10%.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА *

Установки вертикального дренажа представляют собой энергетические объекты. Они включают в себя электрифицированный насосный агрегат, аппаратуру управления и защиты, а также аппаратуру для измерения параметров, устанавливающих состояние установок и режим их работы. Совершенство этого комплекса позволит иметь высокие энергетические показатели и добиться снижения эксплуатационных затрат.

Поскольку системы вертикального дренажа по своему назначению различны, то и управление ими осуществляется по-разному — автоматически в зависимости от параметров (уровень грунтовых вод, пьезометрический напор) и телемеханически: одна телесигнализация аварии (ТСА) или телеуправление (ТУ), телесигнализация состояния установки (ТСС), телесигнализация аварии (ТСА), телеизмерение уровней грунтовых вод (ТИУ) и пьезометрического напора (ТИПН), телеизмерение подачи (стока) насосного агрегата (ТП), (ТС), а также телеизмерение комплекса параметров для оценки мелиоративного состояния дренируемой территории (ПМС).

В последнем случае речь уже идет об управлении объектами в целом мелиоративной системы, в которой в числе других составляющих функционирует вертикальный дренаж. Сбор, обработка информации, формулирование и исполнение управляющих воздействий сможет осуществляться только с помощью самых совершенных систем телемеханики и мощной вычислительной техники.

---

* Раздел написан Л. М. Ярошецким.

Такая постановка вопроса, отличная от ранее существовавшей, становится возможной в настоящее время в связи с техническим прогрессом в народном хозяйстве, и в частности в мелиорации. Вертикальный дренаж — один из первоочередных объектов автоматизации.

Электрооборудование, управление и защита установки вертикального дренажа должны быть совершенными и надежными. Тогда возможна будет реализация автоматизации.

Насосные агрегаты марки ЭЦВ комплектуются с погружными асинхронными электродвигателями типа ПЭДВ, в которых обмотка статора омывается водой. Конструктивно статор представляет собой стальную трубу с запрессованным пакетом из отдельных листов электротехнической стали, в пазы которого уложена обмотка с тремя выводами для подсоединения токоподводящего кабеля.

Ротор электродвигателя — короткозамкнутый. Он состоит из вала с напрессованным на него пакетом, также набранным из отдельных листов электротехнической стали. Обмотка ротора электродвигателя выполнена литьем под давлением из алюминия.

Двигатель заливается водой для охлаждения обмотки статора и смазки резинометаллических подшипников скольжения.

Скважины, как правило, подключаются к высоковольтной линии электропередачи 10 (реже 6) кВ, для чего рядом с ними сооружаются понизительные подстанции 10—6/0,4 кВ. Эти подстанции принимаются комплектными типа КТП с трансформаторами полной мощностью 25, 40, 63 или 100 кВ·А в зависимости от мощности, потребляемой установкой. Комплектные подстанции на стороне 10 (6) кВ подключаются к высоковольтной линии электропередачи, а на стороне 0,4 кВ — кабелем к станции управления.

Учет потребляемой электроэнергии осуществляется счетчиком активной энергии, находящимся на щите 0,4 кВ подстанции.

Для управления насосами ЭЦВ комплектно поставляются станции управления. До 1972 г. изготавливались станции управления типа ПЭТ. Эта станция была разработана для работы насосов ЭЦВ в целях вододобычи на водоприемник (резервуар, бак). В процессе эксплуатации выяснилось, что схема станции и примененная в ней аппаратура несовершенны.

Основными недостатками станций управления типа ПЭТ были:

ненадежная защита от перегрузки, вызванной технологическими перегрузками и обрывом одной фазы;

отсутствие селективного самозапуска электродвигателя насосного агрегата после отключения и восстановления напряжения питающей сети с регулированием выдержки времени;

отсутствие блокировки, включения аварийного электродвигателя;

отсутствие в схеме контроля струи в напорном трубопроводе.

Поэтому станции управления типа ПЭТ дополнялись специально разработанными блоками автоматики, изготовлявшимися на местах по чертежам ряда проектных институтов (Гипроводхоз, Средазгипрорис и др.).

С 1972 г. начали изготавливаться новые станции управления типа ШЭТ. Бесконтактная станция управления типа ШЭТ 5802 вместе с датчиками уровней воды в баке водонапорной башни (резервуаре) и «сухого хода» (в скважине) представляет собой систему серии САУНА-1 (система автоматического управления насосным агрегатом) для управления скважинным электронасосом водоподъема, а бесконтактная станция управления типа ШЭТ 5804 совместно с датчиками уровней воды в скважине и «сухого хода» — систему серии САУНА-2 для управления скважинным электронасосом вертикального дренажа.

Эти системы обеспечивают автоматическое телемеханическое и местное управление, автоматический селективный самозапуск и автоматическую защиту электродвигателя от аварийных режимов работы, а также визуальный контроль нагрузки электродвигателя и срабатывания защит.

Автоматическое управление электронасосом происходит в зависимости от уровня воды в баке водонапорной башни (резервуаре) для систем водоподъема или в скважине (удаленной до 3 км) для систем вертикального дренажа. Телемеханическое управление обеспечивается с помощью реле исполнения включения РИВ и реле исполнения отключения РИО контролируемого пункта устройства телемеханики. Местное управление осуществляется с помощью тумблера со станции управления.

Система управления осуществляет защиту электрона-

соса воздушным автоматом при коротких замыканиях в электродвигателе или питающем кабеле и блоком логики при технологических перегрузках, при работе на двух фазах и при уходе воды из скважины («сухом ходе»).

Станция ШЭТ предназначена для работы от сети переменного тока 380/220 В частоты 50 Гц в сухих помещениях при следующих условиях:

температура окружающей среды от —40° С (без выпадения росы и инея) до +40° С;

относительная влажность окружающего воздуха 80% при температуре +20° С, но не более 50% при +40° С;

высота над уровнем моря не более 1000 м;

рабочее положение — вертикальное.

Станция управления выполнена в виде шкафа с запирающейся на замок дверью и может навешиваться на стену или устанавливаться на фундаменте. На двери шкафа установлены амперметр для измерения тока нагрузки, тумблеры выключения питания, выбора режима работы и управления, сигнальная лампа аварии и кнопки квитирования.

Логическая часть станции представляет собой блок логики, внутри которого находятся бесконтактные логические транзисторные элементы типа «Логика-Т», блок питания этих элементов и согласующие трансформаторы, подключенные ко вторичным обмоткам трансформаторов тока. Со вторичных обмоток согласующих трансформаторов снимается напряжение, пропорциональное току главной цепи, которое подается на вход логических элементов, осуществляющих защиту электродвигателя.

Система САУНА-1 отличается от системы САУНА-2 лишь соединением проводов в разъемах станции управления ШЭТ.

Номенклатура изготовляемых систем управления серии САУНА, применимость их для скважин вертикального дренажа и вододобычи, а также защитные характеристики станций управления типа ШЭТ приведены в таблице 57.

В результате проведенных САНИИРИ производственных испытаний и исследований работы системы в процессе ее эксплуатации было установлено, что, несмотря на более надежную защиту, станции управления типа ШЭТ еще обладают следующими основными недостатками:

отсутствие шкафа наружной установки;

возможен пуск аварийного насосного агрегата после исчезновения и восстановления напряжения в питающей сети;

Таблица 57. **Номенклатура систем управления серии САУНА**

Насос	Электродвигатель	Установленная мощность, кВт	Потребляемый ток, А	Система управления	Станция управления	Ток нагрузки (А), при котором срабатывает защита в течение времени (с)			
						10—35	5—25	1—35	без выдержки времени
ЭЦВ8-40-65	ПЭДВ-11-180	11	25	САУНА-11-2	ШЭТ5804-03А2А	30	50	159,5	170—320
ЭЦВ8-25-150	ПЭДВ-16-180	16	36	САУНА-16-1	ШЭТ5802-13А2А	43	72	225	280—520
ЭЦВ10-63-65									
ЭЦВ10-160-35М				САУНА-22-1	ШЭТ5802-13Б2Б	59	98	418	560—1050
ЭЦВ12-210-25	ПЭДВ-22-230	22	49	САУНА-22-2	ШЭТ5804-13Б2Б				
ЭЦВ8-25—300									
ЭЦВ8-40-165									
ЭЦВ10-63-110				САУНА-32-1	ШЭТ5802-23А2А				
ЭЦВ12-255-30М	ПЭДВ-32-230	32	70	САУНА-32-2	ШЭТ5804-23В2В	84	140	534,6	560—1050
ЭЦВ12-160-65				САУНА-45-1	ШЭТ5802-23Б2В				
ЭЦВ12-305-30	ПЭДВ-45-230	45	92	САУНА-45-2	ШЭТ5804-23Г2Г	110	184	880	900—1200
ЭЦВ10-63-110	ПЭДВ-65-230								
ЭЦВ12-160-100									
ЭЦВ12-210-85	ПЭДВ-65-270	65	130	САУНА-65-1	ШЭТ5802-23А2Б	156	260	1150	1150—1600

отсутствие вольтметра и счетчика моточасов;

не предусмотрен контроль струи (давления) в напорном трубопроводе;

время самозапуска меньше времени обратного вращения насоса после отключения электродвигателя;

блоки питания нестабильны (отклонения напряжения на выходе отличаются от заданных ТУ);

не предусмотрен самозапуск в режимах местного и телемеханического управления;

отсутствие шкалы выдержек времени на потенциометре регулирования времени самозапуска.

Выполненная в САНИИРИ доработка станций управления ШЭТ позволила повысить надежность системы и сократила аварийность и простои скважин.

В связи с тем, что загрузка электродвигателя повсеместно меньше номинальной, защита от перегрузки должна регулироваться на месте.

Отсутствие гарантийного централизованного ремонта блоков логики выдвинуло необходимость организации ремонтов на местах. Для их испытания и наладки САНИИРИ разработал специальный стенд, с помощью которого можно также осуществлять эти работы у станции ШЭТ.

До последнего времени было трудно измерять расход воды, откачиваемой насосным агрегатом (подачу). Дифференциальные манометры типа ДП не нашли применения из-за быстрого выхода из строя соединительных трубок в результате выноса песка из скважины. По этой же причине не работали водопроводные счетчики расхода (стока).

Позже подачу насоса стали измерять индукционными уровнемерами типа ИР-51. Эти расходомеры устанавливаются на напорном трубопроводе и состоят из преобразователя расхода и измерительного блока.

Преобразователь расхода представляет собой немагнитную трубу с расположенным вокруг нее электромагнитом и двумя электродами. Электромагнит создает внутри трубы, покрытой изоляционным материалом, магнитное поле. Э. д. с., образующаяся в жидкости, пересекающей магнитное поле, снимается двумя электродами, введенными диаметрально противоположно в трубу.

Принцип действия расходомера основан на явлении электромагнитной индукции. Э. д. с. пропорциональна средней скорости потока или объемному расходу жидкости.

Сигнал от преобразователя расхода подается на измерительный блок. Он имеет выход по постоянному току 0—5 мА, обеспечивающий использование блоков аналоговой ветви постоянного тока ГСП, стандартных самопишущих миллиамперметров, потенциометров постоянного тока и устройств телеизмерения систем телемеханики.

Суммарное сопротивление нагрузки не должно превышать 2,5 кОм.

В измерительный блок расходомера встроен показывающий прибор со 100-процентной шкалой.

Расстояние от преобразователя расхода до измерительного блока должно быть не более 100 м при электропроводности среды до $5—10^{-2}$ Ом/м и 10 м при электропроводности среды до 10^{-3} Ом/м.

Пределы измерения в зависимости от диаметра условного прохода от 0,32 до 2500 м³/ч.

Основная погрешность расходомера не превышает 1% верхнего предела измерений при соблюдении технических условий. Дополнительная погрешность расходомера от изменения температуры окружающего измерительный блок воздуха в пределах от +5 до +50°С не более 0,3% основной погрешности на каждые 10°С измеренной температуры от 20°С.

Расходомер стыкуется со счетными приставками типа С-1М для рабочих температур 10—30°С при относительной влажности от 30 до 80% и типа С-1АМ для температур 5—50°С. Счетная приставка служит для определения суммарного количества измеряемой среды (стока) и стыкуется с измерительным блоком расходомера, имеющим стандартный токовый выход 0—5 мА.

Организация централизованного управления системой скважин вертикального дренажа — одна из актуальных задач, так как скважины рассредоточены на значительной площади.

В процессе эксплуатации необходимо знать состояние скважин («работают», «не работают») и получать сигналы при авариях на них. Для этой цели до последнего времени в эксплуатационном штате имеется должность моториста-обходчика, в задачу которого входит ежедневный обход или объезд скважин. На одного моториста приходится 5—8 скважин.

Применение на ряде систем устройств телемеханики, в функции которых входило получение этой информации, позволило сократить частоту посещений скважин и численность мотористов, получая при этом объективную информацию с объектов.

В Узбекской ССР работы по телемеханизации скважин на опытно-производственных системах вертикального дренажа впервые начали в совхозе «Каган» Бухарской области, где были установлены устройства типа ПКС-IV и ТСВД.

В устройстве ПКС-IV был использован комбинационно-полярный признак кодообразования и применена простая элементная база (электромагнитные реле, диоды).

Кодоимпульсное устройство ТСВД позволяло выполнять телеуправление 24 скважинами, получать информацию о состоянии, осуществлять телеизмерение параметров (подача, уровень грунтовых вод). Кроме того, оно обеспечивало телефонную связь диспетчера с объектами по двухпроводной воздушной линии связи

В совхозе «Пахтаарал» (Голодная степь) для управления 33 скважинами было установлено телемеханическое устройство типа ТЧР-61. Оно работало по кабельной линии связи и выполняло функции телеуправления (ТУ) и телесигнализации состояния (ТСС). Телеизмерения (ТИ) не было. В устройстве ТЧР-61 применен частотный метод избирания на базе двухчастотного последовательного кода. Для вызова объекта использовались 8 частот в диапазоне 280—1180 Гц. Состояние объектов контролируется посылкой из пункта управления частоты 660 Гц. Управление объектом («включить», «отключить») осуществлялось посылкой импульсов различной полярности. Это устройство позволяло телемеханизировать 56 объектов в объеме ТУ, ТСС, ТИ и обеспечивало телефонную связь объектов с диспетчером (Ганкин, 1965).

Это же устройство было применено для телемеханизации опытно-производственной системы вертикального дренажа в совхозе «Дальверзин № 1», где к устройству было подключено 20 скважин.

После того как сняли с производства устройство ТЧР-61, начали изготовление нового устройства телемеханики типа ТМ-201.

Это устройство предназначено для телемеханизации рассредоточенных объектов водного хозяйства, в том числе и для вертикального дренажа.

На предприятиях Узглавводстроя Минводхоза УзССР разработаны и изготовляются устройства телемеханики типа ТИМ-72 и «Темир», также позволяющие телемеханизировать скважины вертикального дренажа (табл. 58).

Проведенные в САНИИРИ исследования работы устройств телемеханики на опытно-производственных системах вертикального дренажа позволили сделать ряд выводов, которые учитываются при разработке новых устройств телемеханики и используются при составлении проектов телемеханизации систем вертикального дренажа.

В частности, установлено, что воздушные линии связи, которые мешают работе наземных механизмов и сельскохозяйственной авиации, имеют низкую эксплуатационную надежность. Применение кабелей связи ограничивается из-за их дефицитности, кроме того, они имеют относительно низкую надежность из-за множественных обрывов в процессе эксплуатации.

Эти обстоятельства поставили задачу поиска новых способов передачи информации. В САНИИРИ разработана система радиотелемеханики СРТМ-САНИИРИ (Ярошецкий, Анохин, 1975), с помощью которой можно осуществлять:

выбор скважины с подтверждением правильности выполнения этой операции;

телеуправление скважиной («включить», «отключить»), также с подтверждением исполнения;

Таблица 58. **Технические характеристики промышленных устройств телемеханики**

Телемеханическое устройство	Максимальное число операций на КП					Число направлений	Число КП на одном направлении (два провода)	Максимальное удаление КП, км	Питание КП	Элементная база	Стоимость, тыс. руб.	
	ТУ	ТСС	ТСА	ТИ	ТФ						ПУ	КП
ТМ-201	1	1	1	2	1	2	50	60	Дистанционное	Комплекс «Спектр»	17 (без мнемощита)	1
ТИМ-72	2	—	5	1	1	8	32	80	Дистанционное	Реле, нестандартные субблоки	12 (без мнемощита)	1
«Темир»	1	1	1	1	1	До 10	До 54	80	Дистанционное	Реле, нестандартные субблоки	27	1

Примечание. Дальность действия при кабельных линиях сокращается до 25 км.

телесигнализацию состояния скважины;

активную аварийную телесигнализацию с указанием номера аварийного объекта;

радиотелефонную связь между пунктом управления и скважинами.

В системе применен частотный метод избирания с последовательным двухчастотным кодом в тональном диапазоне частот. Для защиты от помех при выборе объекта и производства операций управления в код введена временная селекция. Система разработана на 72 скважины, но может быть расширена до 210 объектов, установлена и эксплуатируется в Ташлакском районе Ферганской области.

Техническая характеристика системы СРТМ-САНИИРИ

Тип радиостанций	«Гранит» (26 РТС-А2-ЧМ)
Рабочая частота, мГц	33—46
Дальность действия, км . . .	25—30
Диапазон модулирующих частот, Гц	300—3020
Объем информации	ТУ, ТСС, ТСА, ТРФ
Ориентировочная стоимость полукомплекта (вместе с радиостанцией), тыс. руб.:	
ПК	1,5—2
ПУ	2,5—3,5

Исследования новой системы радиотелемеханики показали высокую эффективность использования радиоканала вместо проводных линий, что дает основание считать перспективным разработку универсальных систем радиотелемеханики. В качестве радиостанций могут быть использованы как серийные УКВ радиостанции типа «Гранит» с радиусом действия 25—30 км, так и специальные радиостанции, разрабатываемые для телемеханизации.

Радиоканал для передачи информации телеизмерения уровней грунтовых вод и пьезометрического напора применен в совхозе «Пахтаарал». Для измерения уровней грунтовых вод и пьезометрического напора был использован разработанный во ВНИИКАМС акустический уровнемер ДУА (рис. 61).

Этот уровнемер позволяет измерять уровень в наблюдательной и пьезометрической скважинах с высокой точностью и в большом диапазоне. Принцип работы этого уровнемера построен на излучении звука генератором, находящимся в оголовке скважины (пьезометра), отражении звукового импульса от поверхности воды и приеме отра-

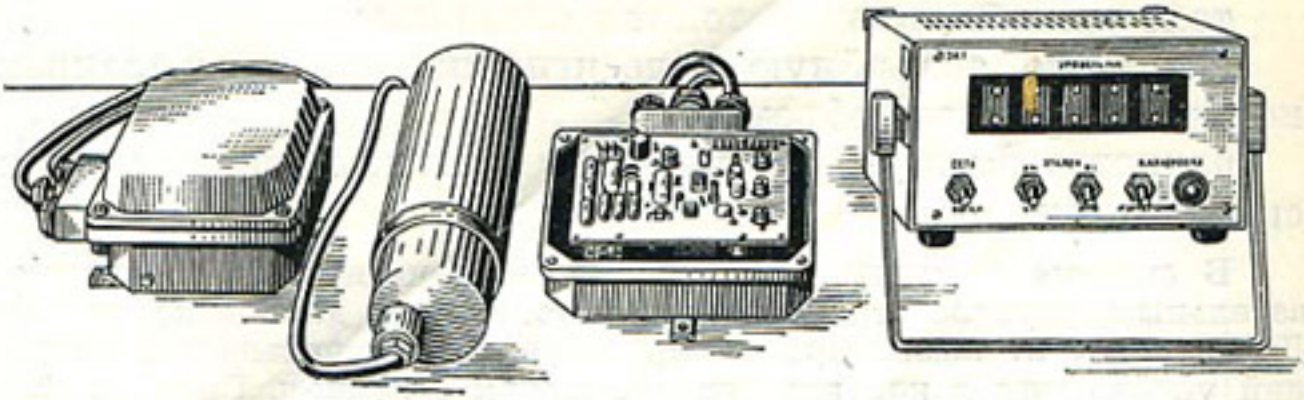


Рис. 61. Уровнемер акустический ДУА-1.

женного сигнала звукоприемником. Из выходного сигнала звукоприемника формируется одновременно и импульс, служащий сигналом для излучения следующего звукового импульса.

В пункт приема информации последовательно передаются серии электрических импульсов, период следования которых прямо пропорционален расстоянию от излучателя до поверхности воды.

Техническая характеристика акустических уровнемеров

	ДУА-I	ДУА-II
Диапазон измерения, м	1—8	2—64
Основная погрешность измерения, мм . .	±10	±10
Питание датчиков:		
род тока	Постоянный	Постоянный
напряжение, В . .	15 (от +10 до —15%)	48 (от +10 до —15%)
Потребление, мА . .	40	60
Габаритные размеры датчика, мм	92×450	92×473

В совхозе «Пахтаарал» действует система радиотелеизмерения уровней грунтовых вод и пьезометрического напора, в которой акустические уровнемеры передают информацию по радиоканалу с помощью радиостанции типа «Кактус» на расстояние порядка 10 км.

В пункте управления на пульте имеется цифровая индикация принимаемой информации, а также предусмотрена возможность ее автоматической записи на электрифицированной пишущей машинке.

Информация передается по программе с любой заданной частотой. Работы по созданию и изготовлению системы радиотелеизмерения были выполнены в порядке эксперимента ОКБ НПО «Союзводавтоматика». Опыт ее эксплуатации позволит выяснить положительные стороны и недостатки для возможности разработки комплексных систем радиотелемеханики в объеме ТУ, ТСС, ТСА и ТИ.

В последние годы ведутся работы по использованию проводов высоковольтной линии электропередачи 6—10 кВ в качестве каналов связи, чтобы избежать сооружения проводных линий связи.

В отличие от применяющихся на высоковольтной линии (35—110—220 кВ) высокочастотных методов обработки для передачи информации используется канал нулевой последовательности. Этот принцип разработан в Научно-исследовательском проектно-конструкторском технологическом институте электромашиностроения (НИПТИЭМ), г. Владимир. Кроме того, здесь же разработано и устройство вызывной телесигнализации УВТС-3, с помощью которого с объекта на ПУ передаются сигналы о его состоянии и аварийный сигнал. Устройство УВТС-3 было установлено на скважинах вертикального дренажа Фархадского массива в Голодной степи.

Положительные результаты работы устройства УВТС-3 дали основание для разработки системы телемеханики в объеме ТУ, ТСС, ТСА и телефонной связи (ТФ) для применения на линейном ряду скважин вертикального дренажа, электроснабжающихся по одной ВЛ, питающейся от одной понижающей подстанции.

Глава 10

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЕЕ ЗАДАЧИ

На первых же этапах строительства и испытания опытно-производственных систем вертикального дренажа, в начале 60-х годов, появилась необходимость в организации специализированной службы эксплуатации скважин.

Хорошая организация службы эксплуатации вертикального дренажа обеспечивает надежность и долговечность работы системы и, следовательно, одно из важнейших условий получения мелиоративного эффекта на орошаемой территории.

Специфика систем вертикального дренажа потребовала подбора соответствующих кадров электриков, механиков, организации специализированных ремонтных бригад и ПМК, оснащенных автокранами, буровыми станками и другим необходимым оборудованием, создания специальных заводов для ремонта электромоторов и насосов, а также баз для хранения запасных частей и оборудования.

Дренажная система на крупных массивах разбивается на отдельные эксплуатационные участки, охватывающие 70—100 скважин на площади 15—25 тыс. га. Эксплуатационный участок контролирует работу установок вертикального дренажа, выполняет мелкий профилактический ремонт и замену деталей, осуществляет текущие профилактические ремонты по техническому обслуживанию систем вертикального дренажа орошаемых земель с помощью специализированного ПМК, с которым он работает на хоздоговорных началах.

Эксплуатация вертикального дренажа как элемента общего мелиоративного комплекса на орошаемых землях

организуется в тесной связи с работой всего комплекса и разрабатывается в проектах в соответствии с задачами, которые поставлены перед вертикальным дренажем.

Основные задачи службы эксплуатации систем вертикального дренажа:

приемка в эксплуатацию построенных в соответствии с проектом и подключенных ко всем внешним коммуникациям новых установок вертикального дренажа;

поддержание в рабочем состоянии всех сооружений системы;

обеспечение проектного режима работы скважин;

контроль за мелиоративным действием вертикального дренажа и на основании данных наблюдений корректировка (если потребуется) режима работы системы;

осуществление связи с хозяйствами и обеспечение с их помощью полного гидромелиоративного и агротехнического комплекса, необходимого для достижения проектного мелиоративного режима;

составление документов режима работы системы и отчетов об эффективности систем вертикального дренажа в связи с продуктивностью орошаемого земледелия.

Прием скважин в эксплуатацию осуществляют после строительства скважин вертикального дренажа по специальным актам, составленным в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению документации сооружений с производством скрытых работ (аналогично приемке скважин, пробуренных для эксплуатации подземных вод). По мере выполнения работ составляют:

акт на окончание бурения скважины;

акт на спуск фильтрового каркаса и засыпку гравия в затрубное пространство;

акт на проведение строительной откачки и опытной откачки с получением зависимости $Q=f(S)$ и $q=f(S)$.

Кроме того, специальными актами оформляется:

строительство контрольных пьезометров по проекту;

установка и опробование насосно-силового оборудования;

установка и оборудование системы автоматики, телемеханики и связи;

строительство водоприемных и водоотводящих сооружений.

В завершение оформляют акт на пусконаладочную опытную эксплуатацию (сроком 1—2 месяца), которую проводит обычно строительная организация с тем, чтобы

действующую и проверенную установку вертикального дренажа передать органам эксплуатации. Акты подписывают представители заказчика и подрядчика, представители службы эксплуатации и проектного института.

По мере готовности скважины включают в работу. Для пуска скважины в эксплуатацию необходимо закончить полностью строительную откачку, которую проводят с расходом, на 15—20% превышающим максимальную проектную подачу скважины. Законченность процесса формирования гравийного фильтра проверяют пробной остановкой и повторным пуском скважины. Вынос песка при этом должен продолжаться не более 5—10 мин (с концентрацией песка не выше 0,01%).

Глубину скважины и ее вертикальность проверяют перед монтажом насосно-силовой установки и отмечают в соответствующем акте. Тщательно должна быть выполнена и наземная часть установки вертикального дренажа.

Устье скважины и площадка, отведенная под электрическое хозяйство и командную аппаратуру, должны быть приподняты над окружающей территорией на 0,5 м, чтобы избежать затопления случайными оросительными и ливневыми водами.

В случаях несовершенных скважин наземную часть обсадной трубы фильтрового каркаса подвешивают к опорной раме. Это чрезвычайно важно в мелкозернистом и плывунном песках во избежание оседания устья несовершенной скважины. Металлическую раму, на которой крепят насос и водоотводящую трубу, в средней части плотно утрамбовывают гравием, а по контуру бетонируют.

На прискважинной площадке должен быть запас кондиционной гравийно-песчаной обсыпки в объеме не менее 2—3 м^3. Его хранят или в специальном закрытом ящике, установленном на площадке, или в специальной емкости, которую делают над кондуктором скважины при оформлении ее устья и окончательном устройстве прискважинной площадки так, чтобы по мере приседания обсыпной фильтр пополнялся из запасной емкости автоматически.

РЕЖИМ РАБОТЫ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Режим работы скважин разрабатывается в проектах эксплуатации таким образом, чтобы обеспечить на массиве оптимальный мелиоративный режим и соответствую-

щий ему водно-солевой режим почв (гл. 3). Хорошая организация службы эксплуатации систем вертикального дренажа — одно из главных условий успеха получения ожидаемого мелиоративного фона. Вместе с тем изложенное в предыдущих главах (7, 8, 9) показывает, что надежная и долговременная работа каждой установки вертикального дренажа, а значит, и всей системы в целом зависит от следующего:

насколько удачно подобраны конструкция скважины (прежде всего ее водоприемная часть — фильтр) и гравийно-песчаная обсыпка;

как точно выполнена вся технология строительства скважины, включая строительную откачку и формирование обсыпного фильтра;

насколько точно сняты паспортные данные скважины — зависимости расхода и удельного дебита от понижения воды в скважине при откачке;

насколько соответственно полученным характеристикам скважины подобрано насосно-силовое оборудование типа ЭЦВ, модернизированное для скважин вертикального дренажа.

Любое отступление от указанных требований приводит к тяжелым последствиям в процессе эксплуатации скважин и снижению мелиоративной эффективности вертикального дренажа.

Практикой была установлена целесообразность массированных темпов ввода в эксплуатацию скважин мелиоративного дренажа и максимальное использование имеющейся их мощности в начальный период работы. Всякие внеплановые перерывы в откачках подземных вод, особенно на староорошаемых землях, где в связи со сложившимся ведением орошаемого хозяйства (земляные каналы, промывные поливы, большие потери на фильтрацию) вертикальный дренаж вписывается в гидроморфный режим, лишь частично сдвигая его в сторону переходного (увеличивая глубину залегания грунтовых вод с 0,5—1,5 до 2—4 м), приводят к нарушению проектного режима и к потерям урожая.

Медленные темпы строительства мелиоративного вертикального дренажа и низкий коэффициент работы скважин на Сардобинском массиве послужили причиной все еще тяжелого мелиоративного состояния орошаемых земель и соответственно низкой урожайности хлопчатника, выросшей с 10,5 ц/га в 1968 г. (начало внедрения верти-

кального дренажа) до 17,7 ц/га в 1974 г., тогда как за этот же период на Шурузякском массиве, где проект был осуществлен полностью, урожайность поднялась до 30 ц/га. При этом по сравнению с Шурузякским массивом в этой зоне недополучено около 34 тыс. т хлопка-сырца, что в денежном выражении составляет 3,5—4 млн. руб.

По результатам обследования работы вертикального дренажа, проведенного САНИИРИ (табл. 59), установле-

Таблица 59. **Простои установок вертикального дренажа, %**

Год	Коэффициент работы скважин	Из-за отсутствия электрической энергии	По просьбе хозяйства	Ремонт насосного оборудования	Ремонт станции управления	Ремонт скважины	Прочие
1965	0,38	6,1	12,0	30,0	1,6	2,0	10,3
1966	0,45	5,0	11,0	24,0	1,7	2,2	11,1
1967	0,40	5,3	12,7	26,2	1,7	2,5	11,6
1968	0,55	5,5	10,4	17,7	1,8	2,5	7,1
1969	0,61	5,2	10,9	17,3	1,2	2,1	2,3

но, что значительную часть времени скважины простаивают вследствие выхода из строя насосно-силового оборудования. В некоторых хозяйствах скважины простаивали из-за отсутствия к ним подъездов с твердым покрытием.

Минводхоз УзССР, строительные организации, проектные и научно-исследовательские институты, а также совхозы вели систематическую работу по улучшению строительства и эксплуатации систем вертикального дренажа. В результате было налажено строительство подъездных дорог с твердым покрытием (для работы на скважине в любую погоду), решены вопросы поставки оборудования, запасных частей и материалов. Службу эксплуатации укомплектовали необходимым штатом, механизмами и транспортом. Это повысило коэффициент работы скважин. Однако в 1969 г. он еще был ниже проектного (0,85) главным образом из-за поломок насосно-силового оборудования (гл. 9).

Затраты на эксплуатацию вертикального дренажа растут по мере включения в эксплуатацию новых скважин (табл. 60). Однако удельные показатели (средняя стоимость эксплуатации скважины и затраты в расчете на 1 га) улучшились.

Таблица 60. **Эксплуатационные показатели установок вертикального дренажа по староорошаемой зоне Голодной степи** (по данным Управления мелиоративных систем ММ и ВХ УзССР)

Показатели	1966 г.	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.
Общая стоимость эксплуатации вертикального дренажа, тыс. руб.	303,3	366	737,8	927,4	1589,4	965,5	1130,8	998,4	1101	1144
В том числе за оплату электрической энергии, тыс. руб.	112,3	146,5	224,3	338,1	485,9	362,4	510,5	539,1	598,8	576
Приобретение и ремонт насосно-силового оборудования, тыс. руб.	91,6	139,5	199,6	142,3	227,4	476,4	485,9	236,8	264,6	452,6
Содержание штата, транспорта и др., тыс. руб.	99,4	80	313,9	447	876,1	126,7	134,4	222,4	226	254
Средняя стоимость эксплуатации: одной скважины, руб.	3410	3490	3976	3910	4901	4576	4300	3200	3146	2612
одного гектара, руб.	22,9	12,7	17,15	17,10	20,02	17,52	15,88	11,68	11,66	11,23
Число скважин, находящихся в эксплуатации на конец года, шт.	89	137	228	283	365	211	263	312	350	438
Стоимость 1 м³ откачиваемой воды, коп.	0,39	0,33	0,35	0,33	0,36	0,32	0,28	0,23	0,23	0,22

Конструктивные особенности скважин вертикального дренажа (наличие обсыпного гравийно-песчаного фильтра) обязательно вызывают, даже при самых идеальных условиях подбора и строительства фильтра, нарушение его при пусках и остановках. Любая смена работы режима скважины заставляет ее песковать тем больше, чем хуже построена скважина и подобран фильтр. Между тем число отключений и включений для отдельной скважины по разным причинам нередко достигает 300—600 в год.

Явление пескования скважин приводит к множеству неприятных последствий:

заиление самой скважины и необходимость ее периодических очисток эрлифтными установками, так как при этом уменьшается захватная способность скважины и снижаются ее паспортные характеристики;

износ и выход из строя насосно-силового оборудования, которое при некачественном строительстве скважин и частых изменениях режима их работы, а также при большом числе пусков-остановок нарабатывает до ремонта в 2—3 раза меньше часов, чем по паспортным данным;

большой вынос песка из водоносного горизонта, который может вызвать проседание устья скважины, а иногда и всей прискважинной площадки. Такие аварии могут происходить даже через несколько лет относительно нормальной эксплуатации скважины, особенно в тех случаях, когда в скважину добавляется резервная засыпка некондиционного состава.

Учитывая изложенное, служба эксплуатации по возможности должна обеспечить непрерывный установившийся режим работы насосной установки вертикального дренажа с остановками только на профилактику, ремонт и в других исключительных случаях. Так, скважины профилактического дренажа, так же как и оросительно-дренажные скважины степной зоны, должны включаться в работу в начале вегетационного периода и выключаться с его окончанием. Консервация насосно-силового оборудования производится в рабочем положении. В невегетационный период должны быть по возможности выполнены все необходимые ремонтные работы.

Перед очередным запуском скважин надо проверить их глубину (при необходимости провести чистку эрлифтом), а при работе следить за поддержанием паспортных данных скважин и за соответствием им установленного насосно-силового оборудования.

Ежегодный профилактический ремонт и поддержание технической эстетики всего наземного комплекса сооружений также одна из важных задач службы эксплуатации.

При составлении технического проекта разрабатывается режим работы вертикального дренажа в соответствии с той задачей, которая перед ним ставится. Для мелиоративного дренажа выделяются два этапа работы и два режима работы. В первый — мелиоративный период — система скважин работает практически круглогодично с к. п. р. = 0,85, то есть за исключением времени на профилактические ремонты. Во второй период — эксплуатационный — система переводится в заданный проектом оптимальный режим с соответствующим снижением к. п. р.

Например, в совхозе «Пахтаарал», после 3—5 лет работы системы в мелиоративном режиме, полностью было ликвидировано вторичное (пятнистое) засоление земель и САНИИРИ рекомендовал эксплуатационный режим работы системы (табл. 61).

В эксплуатационный период вся система из 74 скважин должна работать 175 дней в году для того, чтобы обеспечить оптимальный водно-солевой режим корнеобитаемого слоя и зоны аэрации в полугидроморфных условиях (средняя глубина залегания уровня грунтовых вод 2,75 м). Уменьшение объемов откачки с 6500 до 4230 м^3/га в год связано с общим сокращением водоподачи за счет промывных поливов, на которые расходовали раньше 2500—3500 м^3/га в год.

В эксплуатационный период промывной режим орошения вместе с влагозарядкой (в сухие годы) обеспечивают стабильный водно-солевой баланс. Прерывистый режим откачек сохраняет необходимую равномерность залегания уровня грунтовых вод, которые частично участвуют своей капиллярной каймой в межполивные периоды в водоснабжении растений.

Режим работы профилактического дренажа определяется в техническом проекте в зависимости от конкретных условий объекта, отвода или использования откачиваемой воды. Особенность работы системы профилактического дренажа — требование сохранения автоморфного режима и, следовательно, значительных (более 8—10 м) глубин залегания уровня грунтовых вод.

При проектировании систем профилактического дренажа возможны следующие типы режимов работы:

Таблица 61. **Эксплуатационный режим работы вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал»** (по данным САНИИРИ, 1975 г.)

Показатели	Месяц					
	I	II	III	IV	V	VI
Расчетный уровень грунтовых вод, м	2,15	2,2	2,2	2,0	2,3	2,5
Объем воды, подлежащий откачке, м³/га	220	215	350	—	300	300
Период работы скважины (с — по)	1—10	1—11	1—14	—	20—31	19—30
Коэффициент полезной работы скважин	0,3	0,3	0,4	—	0,35	0,35
Продолжительность работы 74 скважин, дней	10	11	14	—	12	12

Продолжение

Показатели	Месяц						За год
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Расчетный уровень грунтовых вод, м	2,75	3,0	3,5	3,8	4,0	2,5	2,75
Объем воды, подлежащий откачке, м³/га	450	500	460	250	660	525	4230
Период работы скважины (с — по)	12—31	12—31	13—30	21—30	5—30	1—22	175
Коэффициент полезной работы скважин	0,6	0,6	0,6	0,3	0,85	0,7	0,45
Продолжительность работы 74 скважин, дней	20	20	18	10	26	22	175

система проектируется на круглогодичную работу (общий дренажный сток распределяется равномерно на весь год с учетом к. п. р. = 0,85);

система работает только в теплый период года, что может определяться погодными условиями отвода дренаж-

ных вод. За этот период должен быть откачан общий дренажный сток системы;

система работает на орошение и режим работы скважины соответствует графику орошения.

Оросительно-дренажные скважины могут иметь те же три типа режимов работы; первые два в том случае, если скважины работают на регулирующую емкость (водохранилище, пруд, канал).

В случае применения мелиоративного дренажа на староорошаемых землях, где исторически сложился гидроморфный или полугидроморфный режим, важно поддерживать относительно равномерное положение уровня грунтовых вод на всей мелиорируемой территории, иначе участие грунтовых вод в питании сельскохозяйственных растений будет различное и потребуется дифференциация оросительных норм и агротехнических приемов. Однако осуществить это нелегко, поэтому урожай на участках будет неодинаковым.

Особенно трудно обеспечивать равномерность осушения при легких почвах на хорошо проницаемых маломощных суглинках. Такие условия, например, имеются на некоторых участках Краснознаменской системы юга Украины. Здесь неравномерность осушения прослеживается по мере приближения к дренажной скважине, вблизи которой наблюдаются значительные глубины залегания грунтовых вод, часто возникает перепромытость почвенного профиля и даже отмечается образование свободной соды.

Равномерность осушения, а вместе с тем и регулирование водно-солевого баланса легче обеспечиваются откачками в условиях более тяжелых покровных разрезов, когда создается достаточно большой разрыв (1—3 м) между пьезометрическим уровнем в подстилающих песках (из которых ведется откачка) и уровнем грунтовых вод. Такие условия характерны для большей части Голодной степи (покровные суглинки мощностью 25—30 м с коэффициентом вертикальной фильтрации 0,05—0,1 м/сут).

Но и в том и в другом случае при близких грунтовых водах размещение скважин и режим их эксплуатации проектируют, исходя из возможно более равномерного положения уровня грунтовых вод на мелиорируемом массиве. Это увеличивает число скважин, снижает дебит отдельной скважины и к. п. р., то есть приводит к удорожанию проекта. Кроме того, близкое залегание грунтовых вод уменьшает зону аэрации, которая является регулирующей

емкостью. Поэтому выход из строя любой скважины легко может ухудшить мелиоративное состояние земель в зоне ее действия. Из этих соображений система проектируется с некоторым резервом, с учетом возможности сработки соседними скважинами грунтовых вод зоны аварийного колодца.

В условиях автоморфного мелиоративного режима уровень грунтовых вод залегает глубоко, поэтому конфигурация зеркала не имеет значения. Система профилактического дренажа служит для отбора расчетного дренажного стока. Скважины ее располагают соответственно источникам питания (равномерно по площади при инфильтрационном питании, защитными рядами для перехвата боковых притоков и другими способами). Режим работы скважин не связан с задачей поддержания равномерного уровня грунтовых вод. Усиленная откачка в вегетационный период может создать глубокие депрессии уровня грунтовых вод, которые выравниваются в невегетационный период, когда откачки прекращаются. Наблюдения за водно-солевым режимом в этом случае также необходимы.

Основное требование при контроле эксплуатации систем вертикального дренажа в автоморфных условиях — среднегодовая стабилизация уровня грунтовых вод на проектных отметках. Одновременно следует наблюдать за качеством откачиваемой воды, нормами и режимом орошения и общей водоподачей. По данным этих наблюдений корректируют режим эксплуатации всей гидромелиоративной системы, в том числе профилактического вертикального дренажа, или оросительно-дренажных скважин, обеспечивающий проектный водно-солевой режим объекта в целом.

Глава 11

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕЛИОРАТИВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Вертикальный дренаж построен и работает на крупных массивах, прежде всего на землях старого орошения, давно страдавших от вторичного засоления, в таких регионах, как старая зона орошения Голодной степи, в Бухарском оазисе, Ферганской долине и др. Там, где в течение многих десятилетий применение открытого горизонтального дренажа вместе с ежегодными промывками не давало желаемого эффекта и не могло избавить земли от вторичного засоления.

Только в Голодной степи работает более 1200 скважин на общей площади, превышающей 570 тыс. га (рис. 25). Этот объект имеет наиболее полный материал для анализа эффективности мелиоративного вертикального дренажа, ликвидировавшего вторичное засоление за 3—5 лет. За этот срок полностью окупились капиталовложения в строительство вертикального дренажа в хлопковой зоне.

Широко строится вертикальный дренаж и на землях нового орошения как в хлопковой зоне страны, так и в степной зоне, где в последнее десятилетие создается база для получения высоких и устойчивых урожаев зерна.

Наиболее богатый научно-производственный материал по эффективности вертикального дренажа накоплен в аллювиальной зоне Голодной степи, где отдельные системы вертикального дренажа эксплуатируются более десяти лет и на сотнях тысяч гектаров получен мелиоративный эффект, позволивший хозяйствам увеличить урожайность хлопка-сырца с 12—16 до 25—40 ц/га.

Для более точной оценки экономической эффективности вертикального дренажа рассмотрим подробнее этапы

его внедрения на массивах северо-западной части Голодной степи Казахской ССР, где был использован опыт работ на Шурузякском и других массивах Узбекской ССР.

Экономическая эффективность капиталовложений в строительство вертикального дренажа, а также годовой экономический эффект рассчитаны в соответствии с методикой, утвержденной Государственным комитетом Совета Министров СССР от 19 сентября 1973 г. и Инструкцией (временной) по определению экономической эффективности внедрения новой техники и НИР в мелиорацию и водное хозяйство, утвержденной ММ и ВХ СССР от 31 мая 1976 г.

Рассматриваемая территория (валовая площадь 74,9 тыс. га) расположена в пределах левобережных равнинных террас (III и частично II) Сырдарьи, где орошение получило широкое развитие лишь с 50-х годов. До орошения это была типичная полупустыня с незасоленными маломощными автоморфными почвами, представленными светлыми сероземами; грунтовые воды залегали на глубине более 10 м.

Развитие орошения в бездренажных условиях быстро привело к подъему соленых грунтовых вод, мобилизации и подтягиванию в корнеобитаемую зону первичных запасов солей, рассеянных в покровных суглинках, и повсеместному проявлению вторичного засоления орошаемых массивов и окружающих их земель. Уже в 1965 г. площадь незасоленных и слабозасоленных земель составляла всего 35—37% общей площади территории, а остальная часть рассматриваемого массива была представлена средне- и сильнозасоленными почвами.

Литологическое строение региона типично для Голодностепской аллювиальной равнины: с поверхности до глубины от 8—15 до 35—40 м залегают легкие суглинки и супеси, а ниже — до 120—150 м — аллювиальные переслаивающиеся тонко-, мелко- и среднезернистые пески, содержащие линзообразные прослои суглинков и глин.

В пределах массива выделяются три почвенно-гидрогеолого-мелиоративных района, характеризующихся общими тяжелыми мелиоративными условиями (табл. 62).

Попытка решить проблему рассоления с помощью открытой коллекторно-дренажной сети, а также строительства опытно-производственных участков закрытого горизонтального дренажа (в совхозе «Славянск» и им. Свердлова) не дала мелиоративного эффекта. Плывунность

Таблица 62. **Характеристика почвенно-гидрогеолого-мелиоративных районов**

Показатели	Гидрогеологические районы		
	I	II	III
Валовая площадь, га	36 400	29 200	2850
Мощность, м:			
покровного мелкозема	30—40	25—30	8—15
первого хорошо проницаемого пласта	20—35	40—80	15—100
второго хорошо проницаемого пласта	15—35	Не вскрыта	30—50
Коэффициент фильтрации, м/сут:			
покровного мелкозема	0,07—0,1	0,1—0,12	0,15—0,2
хорошо проницаемого пласта	16—20	25—30	30—35
Коэффициент водопроводимости, м²/сут	350—1000	1000—1800	1000—2500
Минерализация, г/л:			
грунтовых вод	8—10	6—8	3—4
первого хорошо проницаемого пласта	6—8	4—6	1—3

грунтов, напорность подземных вод, ничтожные уклоны поверхности определили весьма высокие капиталовложения на гектар мелиорируемой площади (до 1250 руб/га для горизонтального закрытого дренажа) и значительные эксплуатационные затраты, так как из закрытого дренажа воду приходилось откачивать в коллекторы, а открытая сеть требовала для своей очистки ежегодного выполнения большого объема земляных работ.

Крупные каналы в земляных руслах занимают командное положение и вместе с мелкой оросительной сетью (также земляной) и орошаемыми землями обеспечивают постоянное питание аллювиального бассейна, образуя единую гидравлическую систему. Прогноз показал, что в таких условиях скважины вертикального дренажа в процессе откачек снижают пьезометрические напоры песчаного пласта и создают оптимальные условия для образования рассоляющих нисходящих фильтрационных токов грунтовых вод в толще покровных мелкоземов под влиянием орошения и промывок (Решеткина, 1960).

Опытно-производственная система мелиоративного вертикального дренажа, построенная в совхозе «Пахтаарал»,

оправдала себя и открыла путь решения проблемы мелиорации вторично засоленных земель всего северо-западного массива Голодной степи в пределах Казахской ССР. Такая система была запроектирована и построена. Эффективность ее работы сказывалась по мере ввода скважины в работу.

Срок окупаемости и экономическая эффективность капиталовложений зависят в основном от сельскохозяйственного производства на мелиорируемой территории.

Урожайность сельскохозяйственных культур, по которой определяют стоимость валовой продукции, чистый доход и себестоимость, отражает агротехнические, агрохимические, гидромелиоративные и организационно-хозяйственные мероприятия. Поэтому установить, какой процент увеличения урожайности и себестоимости приходится на долю гидромелиоративных мероприятий, бывает трудно. Однако, когда во многих хозяйствах, несмотря на улучшение всех звеньев комплекса (кроме дренажа), урожайность остается на одном и том же уровне или падает, то это можно объяснить только ухудшением качества (засоление) земель, что подтверждается солевыми съемками. После строительства дренажа качество таких земель улучшается за счет рассоления. В результате повышается урожайность возделываемых культур.

Для объективной оценки все технико-экономические показатели следует подразделить на две группы: по видам затрат и по мелиоративному эффекту.

В первую группу входят удельные капиталовложения на строительство и эксплуатацию, отнесенные на 1 м дрены и на 1 га мелиорируемой площади, коэффициент эффективности и срок окупаемости дополнительных затрат, рассчитанных по эксплуатационным расходам для различных вариантов.

Ко второй группе относятся дренажный модуль, скорость снижения уровня грунтовых вод и пьезометрического уровня подземных вод, градиент напора, создаваемый под влиянием дренажа, темпы рассоления почв и грунтовых вод, урожайность сельскохозяйственных культур, а также возможность регулирования уровня грунтовых вод в связи с выбранным оптимальным проектным мелиоративным режимом.

Капиталовложения на строительство вертикального дренажа (на примере колхоза «Красная Заря», валовая площадь 2765 га), состоящего из 14 высокодебитных сква-

жин, равны 1572 тыс. руб. Удельные затраты на строительство одной скважины составляют 112,5 тыс. руб., а на 1 га — 570 руб.

По другим хозяйствам удельные затраты на строительство изменяются (в зависимости от размера обслуживаемой площади, природно-хозяйственных условий, технологии строительства, конструкции наземных сооружений и др.) от 60 тыс. до 120 тыс. руб. на одну скважину и от 350 до 600 руб. на 1 га.

Затраты на эксплуатацию одной скважины вертикального дренажа при современной их автоматизации и обслуживании, по данным Управления эксплуатации вертикального дренажа Главриссовхозстроя, колеблются в пределах 4,5—5,5 тыс. руб., или 20—22 руб/га без учета амортизационных отчислений и 32 руб/га с их учетом.

Несомненно, имеются пути удешевления эксплуатационных затрат за счет дальнейшего улучшения работы самой скважины (усовершенствование конструкции водоприемной части, технологии бурения и др.) и насосно-силового оборудования, автоматизации и телеуправления системами, получения электроэнергии по сниженным тарифам, корректировки проектных решений по результатам исследований в процессе ввода системы в эксплуатацию.

Мелиоративная эффективность любого вида дренажа определяется его влиянием на режим грунтовых и напорных подземных вод и их минерализацию, на солевой режим почвогрунтов, на дренированность территории и на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для оценки мелиоративной эффективности САНИИРИ провел исследования на опытно-производственных системах вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал» ($\omega = 12{,}5$ тыс. га) и в колхозе им. В. И. Ленина ($\omega = 5{,}35$ тыс. га). Реализация проектов начата в совхозе «Пахтаарал» с 1963 г., а в колхозе им. В. И. Ленина с 1969 г. Ввод вертикального дренажа в эксплуатацию осуществлялся по мере готовности скважин.

Вертикальный дренаж в совхозе «Пахтаарал» — первая в Советском Союзе крупная опытно-производственная система, состоящая из 74 высокодебитных скважин, которая полностью была введена в эксплуатацию в конце 1967 г. (гл. 4), а в колхозе им. В. И. Ленина — вторая, где 7 скважин расположены параллельно Кировскому магистральному каналу (КМК), 2 скважины — вдоль его крупной ветки К-22, 9 остальных — равномерно по пло-

Таблица 63. **Показатели эффективности вертикального дренажа**

Показатели	Совхоз „Пахтаарал"	Колхоз им. В. И. Ленина
Валовая площадь, га	12500	5350
Дренированность, м³/га в год:		
проектная	7121	7548
фактическая	1800—5290	2717—6500
Рассоляющий расход, м³/га в год:		
проектный	1430	2452
фактический	1500—2500	1500—3500
Дренажный модуль, л/с·га:		
проектный	0,316	0,310
фактический	0,12—0,42	0,18—0,3
Диапазон регулирования вод, м:		
грунтовых	1,8—4,5	2—5,5
подземных	2—6,3	3,2—7,5
Разность между уровнем грунтовых и подземных вод, м	0,3—0,5	0,3—1,5
Темпы рассоления, т/га в год:		
зоны аэрации:		
проектный	42,7	45,2
фактический (по данным солевых съемок)	70—75	58—60
покровного мелкозема:		
проектный	20,2	24,0
фактический	15—37	10—35
Продолжительность мелиоративного периода, лет:		
проектная	7—9	7—8
фактическая	3—5	3—4
Суммарный дебит системы, м³/с:		
проектный	4,9*	2,02*
фактический	3,2—4,5	1,02—1,29
Число скважин, шт.:		
проектное	74	28
фактическое	74	18
Дебит скважин, л/с:		
проектный	50—80	70—80
фактический	60—70	65—70

* Проектный суммарный дебит системы учитывал приток с окружающих земель, фактически же на соседних землях был построен вертикальный дренаж.

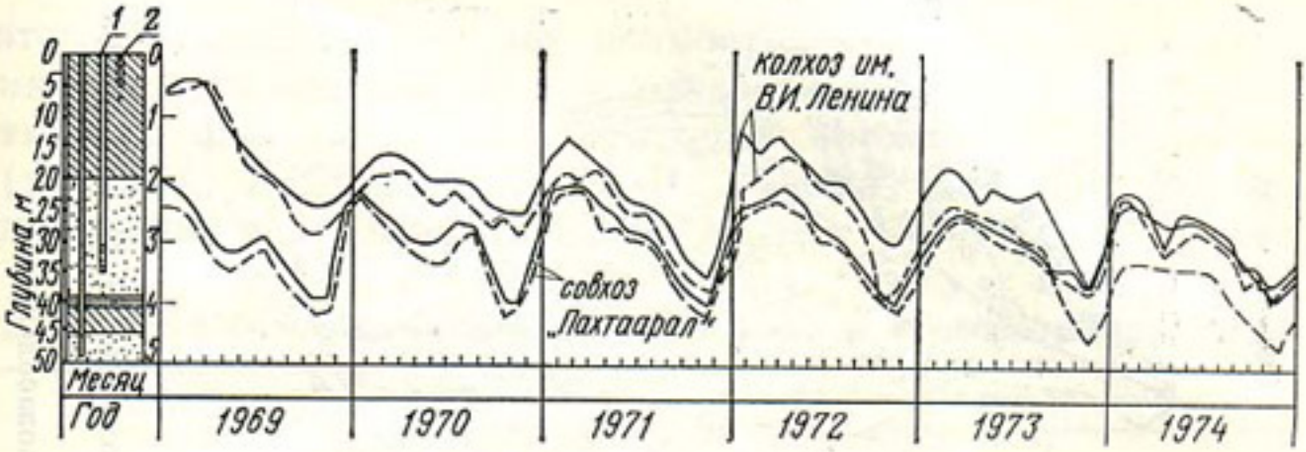


Рис. 62. Влияние откачек на пьезометрический уровень *(1)* и на уровень грунтовых вод *(2)*.

щади. Ввод этих скважин в эксплуатацию закончен в середине 1971 г.

Исследования САНИИРИ показали высокую мелиоративную эффективность вертикального дренажа (табл. 63).

Эксплуатация системы вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал» и в колхозе им. В. И. Ленина в течение 3—5 лет позволила:

регулировать уровень грунтовых вод (от 1,8 до 4,5 м в совхозе «Пахтаарал» и от 2 до 5,5 м в колхозе им. В. И. Ленина) и пьезометрические напоры в подстилающих песках (рис. 62);

создать отрицательный водно-солевой баланс зоны аэрации и покровного мелкозема. Вынос солей из покровного мелкозема в совхозе «Пахтаарал» составил в среднем 21,5 т/га, а в колхозе им. В. И. Ленина — 18,4 т/га;

создать свободную емкость почвогрунтов за счет резкого снижения уровня грунтовых вод до 4—4,5 м перед осенне-зимними промывками и быструю сработку запасов влаги в зоне аэрации после их проведения до 1,5—1,8 м. Это позволило осуществлять осенне-зимние эксплуатационные промывки нормами: для слабо- и среднезасоленных земель 2500—3600 м³/га; для средне- и сильнозасоленных земель 3500—6500 м³/га, что в короткие сроки (2—3 года) почти полностью ликвидировало вторичное засоление в хозяйствах;

формировать солевой режим по типу рассоления почвогрунтов и верхнего слоя грунтовых вод и всей толщи покровного мелкозема;

осуществлять промывные режимы орошения с водоподачей на 15—20% выше эвапотранспирации. В результате

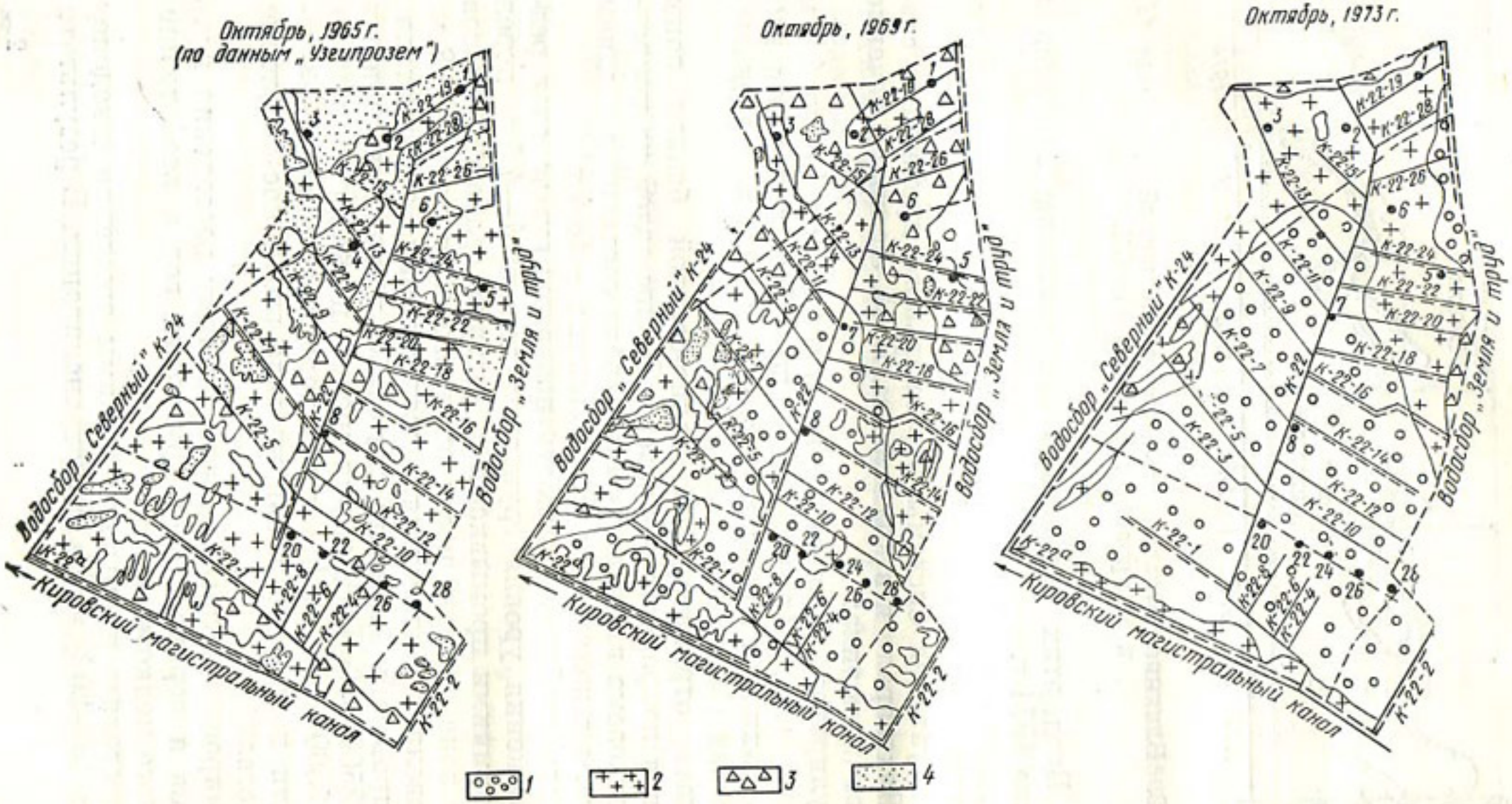


Рис. 63. Схематическая карта рассоления земель опытно-производственного участка в колхозе им. В. И. Ленина Джетысайского района:

1 — незасоленные почвы; *2* — слабозасоленные; *3* — среднезасоленные; *4* — сильнозасоленные.

этого в течение 3—5 лет полностью ликвидировано пятнистое засоление земель и создан однородный мелиоративный фон по всей территории совхоза «Пахтаарал» (табл. 64) и колхоза им. В. И. Ленина (рис. 63), что не замедлило сказаться на урожаях.

Таблица 64. **Динамика рассоления почв в совхозе «Пахтаарал»**

Почвы	Площадь, га/%	
	1959—1965 гг.	1972 г.
Незасоленные	7938 / 66,5	12760 / 93,75
Слабозасоленные	1396 / 11,7	290,2 / 2,13
Среднезасоленные	860 / 7,2	558 / 4,12
Сильнозасоленные	1747 / 14,6	—

Аналогичная картина наблюдалась на землях всего Пахтааральского района, где вертикальный дренаж почти полностью введен в эксплуатацию в 1974 г. (табл. 65).

Один из основных показателей, характеризующих улучшение орошаемых земель, — повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Основная сельскохозяйственная культура, выращиваемая на землях Пахтааральского, Джетысайского и Кировского районов Чимкентской области — хлопчатник. Поэтому анализ урожайности сельскохозяйственных культур дается по нему (табл. 66).

Неуклонный рост урожайности соответственно количеству работающих скважин уже демонстрировался выше для Шурузякского массива (рис. 28). В таблице 66 прослеживается та же закономерность.

Ввод в эксплуатацию вертикального дренажа позволил выровнять урожайность по отделениям совхоза «Пахтаарал» и довести ее до единого высокого уровня (37—42 ц/га).

Таблица 65. **Результаты обследования засоленных земель Пахтааральского района**

Показатели	Площадь, га/%	
	1965 г. (по данным Узгипрозема)	1974 г. (по данным САНИИРИ)
Обследуемая площадь	72 500 / 100	66 490 / 100
Незасоленные и слабозасоленные	27405 / 37,8	50890 / 76,8
Средне- и сильнозасоленные	34510 / 47,6	15600 / 23,2
Солончаки	3625 / 5,0	—
Прочие	6960 / 9,6	—

Для хозяйств Пахтааральского района мелиоративный период работы дренажа закончен. За короткий срок (3—5 лет) здесь достигнуто опреснение не только зоны аэрации и верхнего слоя грунтовых вод, но и всего покровного мелкозема, что свидетельствует о высокой мелиоративной эффективности вертикального дренажа.

Экономическая эффективность от внедрения вертикального дренажа обеспечивается:

приростом урожая сельскохозяйственных культур, который достигается в результате улучшения качества земель, то есть рассоления почвогрунтов и грунтовых вод;

увеличением коэффициента использования земель за счет ликвидации открытого горизонтального дренажа;

использованием откачиваемых вод на орошение и промывку земель, которое освобождает часть оросительной воды для освоения дополнительных земель;

использованием новых и усовершенствованием существующих технологических процессов, механизмов, оборудования и приборов;

улучшением режима работы системы скважин и их обслуживания.

Таблица 66. **Урожайность хлопчатника в зависимости от ввода скважин в эксплуатацию**

Район	До ввода скважин		
	1966 г.	1967 г.	1968 г.
Пахтааральский	23,1 / —	26,4 / —	16,1 / —
Джетысайский	22,4 / —	24,0 / —	16,3 / —

Продолжение

Район	После ввода скважин					
	1969 г.	1970 г.	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.
Пахтааральский	21,5 / 3,5	24,4 / 5,8	31,1 / 64	31,4 / 69,5	33,5 / 77,5	36,1 / 94
Джетысайский	19,2 / 5	21,8 / 10	25,3 / 15,3	25,1 / 27	25,6 / 35	28,1 / 48

Примечание. В числителе — урожайность, ц/га, в знаменателе — ввод скважин, %.

Экономический эффект от получения дополнительного прироста урожайности хлопка-сырца и других сельскохозяйственных культур за счет улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель определяется по формуле:

$$Э_{х.п} = \Delta СВП - (\Delta И_{сх} + \Delta И_{с.п}) =$$
$$= \Delta В \omega_х [(Ц_х + Ц_г) - \Delta И_{сх}] + 0{,}3 Д_х \omega_п, \qquad (124)$$

где $Э_{х.п}$ — годовой экономический эффект от прироста урожайности хлопка-сырца и прочих культур; $\Delta СВП$ — стоимость дополнительной валовой продукции хлопчатника и прочих культур; $\Delta И_{сх}$ — дополнительные издержки сельскохозяйственного производства на уборку и транспортировку 1 ц дополнительной валовой продукции (хлопка-сырца), приняты равными 13 руб. (по данным САНИИРИ, колеблются от 10 до 15 руб/ц); $\Delta И_{с.п}$ — дополнительные издержки сельскохозяйственного производства на уборку и транспортировку дополнительной валовой продукции (прочих культур), приняты равными 30% $И_{сх}$; $\Delta В$ — прирост урожайности хлопка-сырца от внедрения вертикального дренажа;

ω_x — площадь хлопчатника, на которой внедряется вертикальный дренаж (37404 га); $Ц_x$ — закупочная цена 1 ц хлопка-сырца по первой зоне — средневзвешенная по сортам (42 руб.); $Ц_г$ — налог с оборота, отнесенный к эффекту сельскохозяйственного производства (41 руб. на 1 ц хлопка-сырца советских средневолокнистых сортов); $Д_x$ — совокупный доход от 1 га посева хлопчатника;

$$Д_x = \Delta В\,[(Ц_x + Ц_г) - \Delta И_{сх}]; \qquad (125)$$

для прочих культур чистый доход берется в размере $0{,}3Д_x$; $\omega_п$ — площадь, занятая прочими культурами; в данном случае она равна 17 360 тыс. га.

Прирост урожайности хлопчатника по исследованным объектам колеблется по отдельным хозяйствам от 3,9—9,6 ц/га (совхоз «Пахтаарал» и колхоз им. В. И. Ленина) до 8—16 ц/га (совхоз им. Свердлова, колхоз «Алгабас»), а по району составляет 8 ц/га.

В расчете экономического эффекта прирост урожайности хлопчатника принимаем равным 4 ц/га, считая, что вторые 4 ц/га получены за счет улучшения агротехники и организационно-хозяйственных работ. Тогда $Э_{х.п} = 4 \cdot 37\,404[(42+41)-13] + 03Д_x \times \times 17\,360 = 10\,473\,120 + 1\,458\,240 = 11\,931\,360$ руб., где, согласно формуле (125), $Д_x = 4 \cdot [(42+41)-13] = 280$ руб.

Таким образом, годовой экономический эффект от внедрения вертикального дренажа за счет прироста урожая по Пахтааральскому району составляет 11 931 360 руб., или 218 руб/га.

Экономический эффект, получаемый в результате ликвидации существующего открытого горизонтального дренажа, определяется следующим:

использованием высвобождаемой площади под хлопчатник и другие сельскохозяйственные культуры;

снижением или снятием полностью ежегодных затрат на поддерживание в технически удовлетворительном состоянии внутрихозяйственной сети горизонтального дренажа;

снижением ежегодных затрат на отвод поверхностных вод всякого происхождения.

При этом должны учитываться капитальные затраты на ликвидацию внутрихозяйственной сети, на устройство новых водоотводящих трактов меньшего сечения по этой же трассе, ежегодные затраты на их содержание и затраты сельского хозяйства на производство дополнительной продукции.

Расчеты САНИИРИ по указанной методике показали, что только по одному Джетысайскому району годовой экономический эффект от ликвидации 1 км дрены составляет 223 руб. по чистому доходу хозяйства и 1693 руб. с уче-

том централизованного дохода от хлопководства, относимого на сельское хозяйство. В Джетысайском районе же имеется 700 км открытого дренажа, подлежащего ликвидации в связи с вводом в эксплуатацию вертикального дренажа, поэтому общий эффект составит 1 341 200 руб. На высвобожденной площади (2100 га) государство будет получать дополнительно 4500—5500 т хлопка-сырца ежегодно.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА НА НЕЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВАХ АВТОМОРФНОГО РЯДА

Экономическую эффективность профилактического вертикального дренажа покажем на примере Волгоградского Заволжья, где институтом «Волгогипроводхоз» и Главволговодстроем с 1972 г. в проектах систем: Заволжской, Николаевской, Приморской и других (рис. 64) реализуются предложения ВНИИГиМ (Л. Г. Балаев, Н. М. Ре-

№ системы	Оросительная система	Проектная мощность, тыс. га	Введено на 1/I 1977 г, тыс. га
1	Иловатская	17,5	—
2	Старополтавская	49,0	—
3	Гмелинская	135,0	—
4	Николаевская	75,0	—
5	Заволжская	24,9	1,5
6	Палласовская	172,8	10,5
7	Кисловская	25,6	25,6
8	Б. Волгоградская	116,7	6,3
9	Приморская	88,8	—
10	Тажинская	8,0	8,0
11	Среднеахтубинская	72,7	8,5

Рис. 64. Схема расположения оросительных систем в Волгоградском Заволжье:

1 — границы систем; *2* — действующие каналы; *3* — проектируемые каналы; *4* — насосные станции.

шеткина и В. И. Бобченко) и результаты исследований (исполнители: А. А. Герасименко, А. А. Клосс, В. М. Иванов и др.).

Рассматриваемая территория располагается по левобережью Волги, включая Приволжскую песчаную гряду и частично морскую аккумулятивную равнину Северного Прикаспия (см. рис. 39 и 40).

Геологическое строение территории определяется ее положением на северо-западном крыле Прикаспийской впадины. Подземные воды верхнего яруса заключены в отложениях хвалынского и хазарского ярусов. Они гидравлически связаны; региональным водоупором для них служат апшеронские глины, залегающие на глубине 50—70 м.

Хвалыно-Хазарский водоносный горизонт имеет двухслойное строение — верхняя часть представлена покровными суглинками мощностью 12—20 м, нижняя — толщей песка в 30—40 м. Коэффициент водопроводимости 100—500 м²/сут. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 3—4 м на суглинистой равнине до 18 м в пределах песчаной гряды. В природных условиях рассматриваемая равнина находится в начальной стадии рассоления. Покровные суглинки в интервале 1—8 м содержат солевые аккумуляции, количество которых увеличивается в сторону Хвалынской морской равнины, в этом же направлении увеличивается и минерализация грунтовых вод от 3 до 10 г/л. Песчаные горизонты содержат пресные гидрокарбонатно-натриевые и сульфатно-кальциево-магниевые воды (0,5—3 г/л).

До развития орошения подземные воды питались атмосферными осадками. Расходовались они на внутригрунтовое испарение и сток в Волгу и в Прикаспийскую впадину. Волгоградское водохранилище создало подпор подземному стоку, обусловив повышение уровня грунтовых вод от 1 до 13 м в полосе шириной 10—20 км и сокращение модуля подземного стока в водохранилище примерно на одну треть.

В пределах песчаной гряды почвенный покров представлен преимущественно однородными массивами каштановых почв легкого механического состава. Они хорошо проницаемы и промыты от солей. В восточном и юго-восточном направлении отмечается увеличение от 10 до 50% комплексности почвенного покрова за счет включения солонцов и лугово-каштановых почв.

Учитывая геохимические особенности этой зоны, в целях сохранения природного плодородия почв и рассолительного процесса на рассматриваемых землях, а также для создания достаточно мощной регулирующей емкости в зоне аэрации, обеспечивающей надежность работы новых технически совершенных мелиоративных систем Н. М. Решеткиной, Э. И. Гольденбергом и А. А. Герасименко обосновано применение профилактического вертикального дренажа.

Профилактический дренаж строится одновременно с оросительной системой и не допускает значительного подъема грунтовых вод в толще суглинков зоны аэрации, тем самым задерживая быстрое растворение солей, перевод их в грунтовые воды и вместе с ними перемещение к корнеобитаемой зоне. Таким образом, профилактический вертикальный дренаж обеспечивает некоторую гарантийную регулирующую мощность зоны аэрации между уровнем грунтовых вод и так называемым его критическим положением (по данным В. В. Егорова [1973] — 8 м, авторов — 15—8 м). При критическом режиме земли находятся на грани вторичного засоления и осолонцевания, к которым приводят малейшие отступления в режиме орошения, выход из строя дрены, особые погодные условия и др. При этом угрозу вторичного засоления и осолонцевания создают также любые неровности рельефа, пестрота литологического строения и другие не учитываемые в расчетах факторы. Поэтому густота дренажа и его мобильность при поддержании грунтовых вод ниже критического уровня без указанной гарантийной регулирующей мощности на междренье должна быть выше, что сказывается на стоимости строительства и эксплуатации.

Сохранение глубокого уровня грунтовых вод открывает возможности совершенствования техники полива в целях экономии оросительной воды.

Конструкция вертикальных дрен принята в соответствии с современными техническими требованиями по созданию высокодебитных скважин (см. гл. 7, 8, 9). Скважины диаметром 1000—1200 мм бурят станками с обратной промывкой чистой водой. Фильтр — каркасно-стержневой с гравийной обсыпкой. Длина рабочей части фильтра 15—20 м. Расчетные расходы скважин меняются от 25 до 50 л/с. Насосы — погружные типа ЭЦВ (см. гл. 9).

Эксплуатация опытно-производственных систем в совхозах «Новый быт», «Мелиоратор», «Путь к коммунизму»

Таблица 67. **Технико-экономические показатели профилактического и мелиоративного вертикальных дренажей**

Показатели	Николаевская оросительная система		Заголжская оросительная система	
	профилактический дренаж	мелиоративный дренаж	профилактический дренаж	мелиоративный дренаж
Дренируемая площадь, тыс. га	23	12,5	21,9	15,6
Число скважин, шт.	65	138	164	241
Протяженность отводящей сети, км	82,3	174	159	234
Стоимость строительства скважин, тыс. руб.	1194	2540	2664	4270
Стоимость отводящей сети, тыс. руб.	736	1560	940	1382
Всего капиталовложений с учетом непредвиденных 5%, тыс. руб.	2026	4305	3800	5900
Эксплуатационные затраты в год окончания строительства всего комплекса, тыс. руб. в год	140	305	262	417
Приведенные капиталовложения, тыс. руб.	1170	1340	2829	2900
Приведенные эксплуатационные затраты, тыс. руб.	2800	4570	1722	1637
Всего приведенных затрат, тыс. руб.	3970	5910	4551	4537

и «Степной» показала надежность принятых конструкций, соответствие дебитов и других параметров расчетным. Строительство и эксплуатацию систем ведет Минводхоз УзССР.

В таблице 67 приведены сравнительные технико-экономические показатели мелиоративного (выполняемого по мере подъема уровня грунтовых вод к критическим величинам) и профилактического (вводимого одновременно с оросительной системой) вертикальных дренажей двух строящихся оросительных систем.

Следует отметить, что вертикальный профилактический дренаж данных объектов имеет экономические преимущества. Кроме того, он позволяет использовать откачиваемые воды в смеси с поверхностной для орошения (до 90 млн. м^3 за сезон).

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНО-ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН КАК ЭЛЕМЕНТА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИ СОВЕРШЕННЫХ СИСТЕМ

Экономическую эффективность применения оросительно-дренажных скважин покажем на примере опыта строительства новых оросительных систем на террасовых землях Заволжья, где эти скважины стали широко внедряться в практику с 1969 г. по предложению ВНИИГиМ, Союзводпроекта и Средволгогипроводхоза.

Общие природные условия Поволжья и некоторые данные по строительству там новых технически совершенных оросительных систем, так же как и общая постановка проблемы использования подземных вод на террасовых землях в комплексе с поверхностной водой, рассмотрены выше (гл. 6).

Ниже приведены фактические данные по стоимостным показателям оросительно-дренажных скважин.

Одна из первых оросительных систем, где были построены дренажные скважины, — I очередь Тольяттинской системы в Куйбышевской области (Средволгогипроводхоз). В связи с подтоплением Куйбышевским водохранилищем земли ее на первых же порах орошения нуждались в искусственном дренаже. Из общей площади I очереди системы (6480 га) на 2000 га были сооружены 14 скважин вертикального дренажа с дебитом 20 л/с каждая. Скважины в основном имели дренажное назначение. Вода использовалась на орошение. Стоимость орошения составила 4399 руб/га, в том числе вертикального дренажа — 225 руб/га.

Остальная площадь, нуждающаяся в дренаже, дренировалась с помощью горизонтального дренажа при удельных затратах (общих) 5398 руб/га, то есть на тысячу рублей дороже.

В 1976 г. закончили строительство I очереди (5030 га) Старо-Майнинской системы в Ульяновской области (Средволгогипроводхоз). Здесь на 2500 га требовался дренаж к моменту строительства. Он был выполнен в виде 25 скважин с дебитом 25 л/с каждая. Стоимость строительства системы, включая вертикальный дренаж, равна 3280 руб/га. На указанной площади 850 га орошается подземными водами, откачиваемыми из оросительно-дре-

нажных скважин в напорный трубопровод, к которому подключены дождевальные установки. Суммарная работа скважин составляет 1,5—2 месяца в году. Строительство оросительно-дренажных скважин стоило 755 тыс. руб.

К системам орошения подземными водами из оросительно-дренажных скважин относится и Ольгинская в Куйбышевской области (Средволгогипроводхоз), где из 10 600 га общей площади уже к моменту строительства системы требовался дренаж на 7600 га. В пределах указанной площади запроектированы скважины с дебитами 25 л/с. Удельная стоимость строительства системы (включая скважины) 3584,8 руб/га. Общая стоимость оросительно-дренажных скважин составила 1125,46 тыс. руб. На базе откачиваемых из скважин подземных вод организовано орошение на площади 2300 га (при удельных капитальных вложениях 3252 руб/га).

Вода из скважин подается в напорный трубопровод, питающий дождевальные машины («Фрегат» и «Волжанка»). Скважины на орошение работают в сумме 1,5—2 месяца в году.

На I очереди Спасской оросительной системы в Куйбышевской области (Средволгогипроводхоз) из общей площади 22 500 га сразу же нуждались в дренажных мероприятиях 6000 га. Они были выполнены в виде 12 скважин с дебитом 30 л/с каждая. Стоимость строительства скважин составила 700 тыс. руб., или 112 руб/га при общих удельных капиталовложениях в строительство системы (включая дренаж) 4200 руб/га. Дренажные воды отводятся в коллектор и используются в смеси с поверхностной на орошение.

Следует отметить, что названные в вышеперечисленных проектах сравнительно небольшие дебиты оросительно-дренажных скважин (20—30 л/с) не исчерпывают гидрогеологических возможностей аллювиальных водоносных песков, что подтверждает эксплуатация скважин, питающих водопровод г. Тольятти, подача которых достигает 100 л/с. Это дает основание говорить об имеющихся резервах в улучшении технико-экономических показателей оросительно-дренажных скважин на террасовых землях. Напомним, что в Волгоградском Заволжье скважины профилактического вертикального дренажа дают до 50 л/с каждая.

Сравнительная стоимость орошения поверхностными и подземными водами, подтверждающая тезис о том, что

Таблица 68. Сравнительные стоимостные показатели по некоторым проектам водохозяйственного строительства Волгоградского Заволжья (по данным Волгогипроводхоза)

Оросительная система	Главный инженер проекта	Год составления проекта	Площадь системы (нетто), тыс. га	Стоимость строительства, руб/га	Стоимость подачи 1 м³ воды, руб.
Кисловская (водозабор из Волги)	Э. И. Гольденберг, В. М. Иванов	1971	24,91	2760	1,91
Быковская (водозабор из Волги)	А. В. Чугалинский	1971	20,146	2731	0,61
Заволжская (водозабор из Волги)	К. Ф. Дробкова	1972	24,9	3045	0,95
Орошаемый участок в совхозе «Степной» (водозабор из скважин)	А. В. Чугалинский	1972	0,551	2176*	—

* Строительная стоимость 11 скважин по проекту 204,91 тыс. руб. Ежегодные эксплуатационные затраты составляют 326 руб/га.

орошение подземными водами по стоимостным показателям соразмерно и даже несколько ниже, чем орошение поверхностными водами, приведена в таблице 68.

Фактическая производительность скважин в совхозе «Степной» на опытно-производственном участке орошения подземными водами выше проектной: проектная 32 л/с, фактическая 35—40 л/с при меньших понижениях уровня воды в скважине. Откачиваемая вода используется для орошения 550 га подключением машин «Фрегат» и «Волжанка» к скважинам с помощью объединительных напорных трубопроводов (по две скважины).

Изложенные фактические данные по стоимостным показателям для разных районов террасовых земель Заволжья позволяют сделать некоторые обобщения и прогнозы применения оросительно-дренажных скважин для оросительных систем на террасовых землях и на Приволжской песчаной гряде. Таких земель насчитывается около 1800 тыс. га, из них не менее 1500 тыс. га при массированном развитии орошения будет нуждаться в искусственном дренаже.

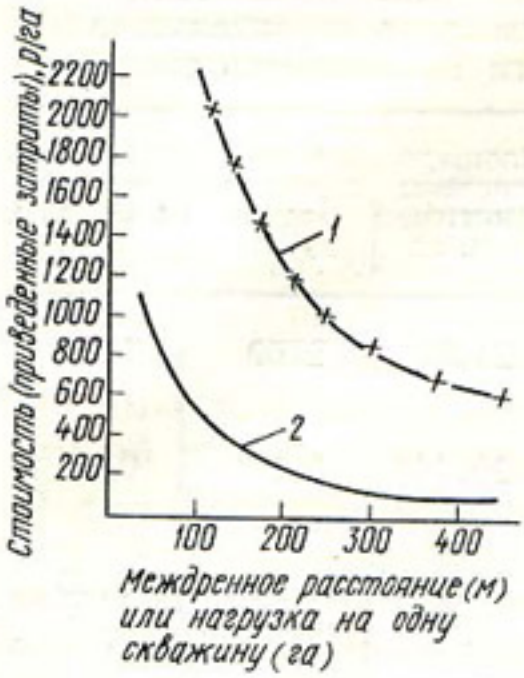


Рис. 65. Стоимость вертикального и горизонтального дренажа:
1 — горизонтальный дренаж; 2 — вертикальный дренаж.

Оросительно-дренажные скважины, включенные в комплекс технически совершенных оросительных систем, как показано выше, не увеличивают стоимость их строительства. Вместе с тем они обеспечивают благоприятное развитие почвообразующих процессов за счет автоморфного режима увлажнения при глубоком залегании уровня грунтовых вод. Это создаст условия для дальнейшего повышения плодородия почв при орошении и увеличит надежность работы оросительных систем. К сожалению, подсчитать экономическую эффективность этого главного преимущества применения оросительно-дренажных скважин трудно. Однако можно утверждать, что нарушение указанного режима принесет неисчислимые убытки в виде порчи ценных пахотных земель.

Добавка 15—20% подземной воды к поверхностной, забираемой из реки (для всей территории террасовых земель это составит 150 м^3/с в вегетационный период), обеспечивается возобновляемыми в году ресурсами подземных вод, формирование которых связано с гидротехническим строительством и развитием орошения. За счет этой воды могут быть увеличены орошаемые площади в пределах террасовых земель. При общем весьма напряженном водном балансе всех наших южных рек, в том числе и Волги, такая добавка к поверхностной воде существенна.

Наконец, строительство оросительно-дренажных скважин как элемента новых технически совершенных систем снимет полностью вопрос о строительстве в дальнейшем искусственного дренажа на террасовых землях по мере развития орошения и увеличения фильтрационных нагрузок (учитывая также и орошение в Сыртовом Заволжье).

Естественно, стоимость дренажа определяется в каждом конкретном случае особенностями гидрогеологических условий, нагрузкой на дренаж и другими факторами. Представление о сравнительной стоимости вертикального

и горизонтального дренажа может дать рисунок 65 (по А. А. Герасименко) для Волгоградского Заволжья.

Если минимальную стоимость дренажа принять равной 200 руб/га, то экономия в капиталовложениях от оросительно-дренажных скважин для всех орошаемых террасовых земель Поволжья площадью 1500 тыс. га составит 300 млн. руб.

Таким образом, всесторонний анализ природных условий и системный подход к мелиоративному прогнозу одного из крупнейших регионов развивающегося орошаемого земледелия — Поволжья, позволяют по-новому поставить проблему комплексного использования поверхностных и подземных вод, подойти к решению вопросов сохранения и умножения плодородия ценнейших почв страны и вместе с тем показать резервы в снижении капитальных затрат на строительство оросительных систем при повышении надежности их работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вертикальный дренаж — элемент новых технически совершенных оросительных систем. Однако прежде всего он был применен на староорошаемых площадях как противоаварийное мероприятие для ликвидации вторичного засоления орошаемых земель (Голодная степь, Бухарская область и Ферганская долина) и неожиданно быстрого их подтопления (земли, прилегающие к Каховскому водохранилищу, Северо-Крымскому и Краснознаменскому каналам, а также земли Краснознаменской системы и совхоза «Карадамак» Ашхабадской области).

В названных районах гидрогеологические условия чрезвычайно разнообразны: литологические разрезы характеризуются широкой гаммой (от слоистых галечниково-суглинистых разрезов с самоизливающимися водами предгорной равнины Чуйской впадины и Южной Ферганы до тонко- и мелкозернистых песков центральной и северо-западной части Голодной степи). В широких пределах изменяются мощность покровной толщи (от одного десятка метров в Бухарской области до 30—40 м в центральной части Голодной степи) и ее проницаемость — коэффициент фильтрации (от метров до их тысячных долей в сутки).

Однако во всех случаях вертикальный дренаж оказался наиболее быстрым, надежным и экономичным приемом исправления создавшейся неблагоприятной мелиоративной обстановки на орошаемых землях. Практика показала, что сфера его применения значительно шире общепринятой классической гидрогеологической схемы.

Наконец, получен необходимый эффект вертикального дренажа на Карадамакском участке, где разрезы представлены слоистой толщей суглинков, глин и супесей (пески

отсутствуют), насыщенных напорными подземными водами Прикопетдагской предгорной равнины.

Общее для всех районов старого орошения — большие нагрузки на дренаж в связи с низким к. п. д. систем, наличие пресных или опресненных длительным орошением грунтовых вод, возможность повторного использования откачиваемых вод на поливы, напорность грунтовых вод, имеющих гидравлическую связь с командными магистральными каналами. В предгорных районах Средней Азии и Закавказья напорность усиливается за счет перетока из глубинных горизонтов.

Применение вертикального дренажа в староорошаемых районах позволило в рекордно короткие сроки (3—5 лет) ликвидировать вторичное засоление земель, поднять урожайность сельскохозяйственных культур (урожайность хлопчатника самая высокая в мире), окупить в процессе строительства систем капитальные затраты и повторно использовать для орошения большую часть фильтрационных потерь (в маловодные 1974 и 1975 гг. это имело решающее значение для ряда районов Ферганской области, Голодной степи и Бухарской области). Вместе с тем в староорошаемых районах системы вертикального дренажа создали основу для дальнейшего технического прогресса — коренной перестройки старых земляных оросительных систем, замены их на новые технически совершенные, обладающие высоким к. п. д. и позволяющие применять современные системы автоматического управления (АСУ-ТП) всей технологией регулирования процессов водно-солевого, воздушного и питательного режима корнеобитаемого слоя, чтобы получать программированные урожаи сельскохозяйственных культур.

На землях нового орошения, прежде всего на огромных степных просторах с ценными зональными почвами автоморфного ряда (черноземы, темно-каштановые, каштановые), вертикальный дренаж в комплексе с новой техникой орошения создает условия для сохранения и умножения природного плодородия почв и, как профилактическое мероприятие, снимает угрозу возникновения вторичного засоления земель. В этих условиях, как правило, нагрузки на дренаж в связи с высоким к. п. д. систем и совершенной техникой полива ничтожно малы (сотые доли литра в секунду с одного гектара). Поэтому даже малодебитная скважина может обслуживать значительные площади. Работа дренажа только в вегетационный период

при большой регулирующей емкости зоны аэрации сможет повысить надежность всей оросительной системы в целом.

На обширных пространствах аллювиальных террас крупных рек степной зоны (Днепр, Дон, Волга), где в связи со строительством каскада ГЭС и водохранилищ образовался подпор естественного стока подземных вод, оросительно-дренажные скважины могут дать к общему водозабору 15—20% подземных вод на орошение из аллювиальных отложений. Такие скважины с дебитами от 30 до 100 л/с и более хорошо вписываются в компоновку новых оросительных систем с напорными трубопроводами и широкозахватной поливной техникой. Одна скважина сможет обслуживать 300—800 га в зависимости от ее производительности и гидрогеологических условий.

В задачу этих скважин входит возвращение той части подземного стока, которая формируется в аллювии террас в связи с гидротехническим строительством и развитием орошения. Естественное пополнение и сток подземных вод сохраняются на прежнем уровне, что обеспечивает регулирование общего солевого баланса орошаемых массивов.

Дальнейший технический прогресс в гидромелиоративном строительстве позволит сделать вертикальный дренаж еще более эффективным элементом мелиоративных систем.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Абиров Г. А. Производственные исследования конструкции фильтров и технологии строительства вертикального дренажа в Голодной степи.—«Труды САНИИРИ», 1971, вып. 132.

Аверьянов С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. АН СССР, 1959.

Аверьянов С. Ф. О расчете осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания.—«Труды МИИВХ им. В. Р. Вильямса», 1960, т. 23.

Аверьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в европейской части СССР.— В сб.: Орошаемое земледелие европейской части СССР. М., «Колос», 1965.

Аверьянов С. Ф., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. Расчет водного режима мелиорируемых земель.— «Гидротехника и мелиорация», 1974, № 3.

Айдаров И. П., Каримов Э. К. Некоторые вопросы обоснования мелиоративных режимов орошаемых земель при проектировании оросительных систем.—«Водные ресурсы», 1974, № 2.

Алексеевский Е. Е. Десять лет — по пути майского Пленума ЦК КПСС.— В кн.: Планы партии по мелиорации воплощаются в жизнь. М., «Колос», 1976.

Ананян А. К. Дренаж при освоении содовых солончаков. М., «Колос», 1971.

Антипов-Каратаев И. Н., Филиппова В. Н. Влияние длительного орошения на процессы почвообразования и плодородие почв степной полосы европейской части СССР (черноземы и каштановые почвы). М., АН СССР, 1955.

Антипов-Каратаев И. Н., Кадер Г. М. К мелиоративной оценке поливной воды, имеющей щелочную реакцию. — «Почвоведение», 1961, № 3.

Аскоченский А. Н. Орошение и обводнение в СССР. М., «Колос», 1967.

Аскоченский А. Н. Рациональные пути решения проблемы орошения в Поволжье.— В кн.: Вопросы подъема производительных сил сельского хозяйства и развития орошаемого земледелия в Поволжье. М., «Колос», 1972.

Аткарская Т. Н. Влияние орошаемого земледелия на водные ресурсы и водный баланс бассейна Сырдарьи.—«Водные ресурсы», 1973, № 6.

Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Засоленные почвы европейской части СССР и Закавказья.—«Труды почвенного института им. В. В. Докучаева». М., «Наука», 1973.

Балаев Л. Г. Некоторые особенности режима влажности грунтов зоны аэрации в аридных областях.—Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1972, вып. II.

Батыршин М. М., Дубинская Н. П., Милькис М. Р. Применение вертикального дренажа на предгорной равнине Копет-Дага.—«Материалы зонального гидрогеологического совещания». Алма-Ата, «Наука», 1972.

Башкатов Д. Н., Роговой В. Л. Бурение скважин на воду. М., «Колос», 1976.

Бейлин В. В., Слепцов Г. И. Опыт разработки мероприятий по предупреждению засоления орошаемых земель на Ольгинской оросительной системе.— В сб.: Мелиоративный прогноз и мероприятия по предупреждению засоления орошаемых земель в Поволжье. М., ВНИИГиМ, 1974.

Белоусов А. Я. Особенности эксплуатации насосных установок вертикального дренажа.— В сб.: «Труды САНИИРИ», Ташкент, 1974, вып. 142, ч. I.

Беляков В. М., Попков В. А., Краснощеков Г. М. Учебная книга мастера по бурению скважин на воду. М., «Колос», 1976.

Беседнов Н. А. Мелиорация засоленных почв. М., Сельхозгиз, 1958.

Бехбудов А. К. Вертикальный дренаж в условиях мощных аллювиальных отложений. АзНИИГиМ, Бюллетень научно-технической информации, 1956, № 1.

Бирюкова А. П. Влияние орошения на водный и солевой режимы почв Южного Заволжья. М., АН СССР, 1962.

Блинчик Д. М., Гоголев И. Н. Тезисы докладов V делегатского съезда Всесоюзного общества почвоведов. Минск, 1977, вып. VI.

Болдырев А. И. Классификация минерализованных вод по степени пригодности для орошения.—«Труды НИИ почвоведения и агрохимии МСХ УзССР. Орошаемые почвы и методы их изучения». Ташкент, 1976.

Бончковский Ф. Н., Керзум П. А. Основные принципы мелиорации засоленных земель на примере Вахшской долины.— В сб.: Борьба с засолением орошаемых земель. М., «Колос», 1967.

Борщевский Г. А. Установка фильтров в колонковые скважины одновременно с их разглинизацией.—«Разведка и охрана недр». 1956, № 6.

Бочевер Ф. М. Приближенные гидрогеологические расчеты крупных водозаборов и водопонизительных установок.—«Научные сообщения лаборатории инженерной гидрогеологии». ВОДГЕО, 1961, № 18.

Бочевер Ф. М. Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1968.

Броницкий Н. И. Эффективность дренажа на засоленных землях. Ташкент, ЦОМС САНИИРИ, 1954.

Будаговский А. И. Исследования формирования водного баланса почвы.— В сб.: Тепловой и водный режим земной поверхности. Гидрометеоиздат, 1960.

Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Гидрометеоиздат, 1956.

Вадюнина А. Ф. Агрофизическая и мелиоративная характеристика каштановых почв юго-востока европейской части СССР. МГУ, 1970.

Варунцян Э. С. Вопросы проектирования и строительства коллекторно-дренажной сети на засоленных землях (из опыта мелиоративного строительства в Кура-Араксинской низменности).—«Гидротехника и мелиорация». 1955, № 8.

Веригин Н. Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники. АН СССР, 1957, № 19.

Веригин Н. Н., Саркисян В. С. Метод расчета подземных водозаборов и вертикального дренажа в полуограниченном водоносном пласте. — «Труды ВОДГЕО» (гидрогеология), 1966, вып. 13.

Волобуев В. Р. Система почв мира. Баку, «Элм», 1973.

Гальперин И. М., Дунин-Барковский Л. В. Применение системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве.— «Гидротехника и мелиорация», 1975, № 7.

Ганкин М. С. Автоматизация и телемеханизация мелиоративных систем. М., «Колос», 1965.

Грикевич Э. А. Влияние гидравлических сопротивлений скважины на приток воды. Рига, «Зинатне», 1969.

Гуркин А. Я. Выбор и расчет конструктивных элементов скважин вертикального дренажа на орошаемых землях.—«Труды Союзводпроект». М., 1971, № 1(36).

Дмитриев В. С. Экономика производства зерна на орошаемых землях. М., «Колос», 1973.

Дмитриев В. С., Ярославский З. Я. Экономические аспекты опреснения воды.—«Гидротехника и мелиорация», 1977, № 6.

Дренаж сельскохозяйственных земель. М., «Колос», 1964.

Духовный В. А. Орошение и освоение земель Голодной степи. М., «Колос», 1973.

Егоров В. В. Почвенно-мелиоративное районирование зоны орошаемого земледелия.— В кн.: Научные основы мелиорации почв. М., «Наука», 1972.

Егоров В. В., Бондарев А. Г., Зимовец Б. А. Пути улучшения орошаемых земель сухостепного Поволжья.—«Гидротехника и мелиорация», 1973, № 11.

Ефимов Г. С., Литвинова А. А. Мелиоративное районирование земель основных массивов орошения Поволжья.— В кн.: Мелиорация орошаемых земель в Поволжье. Саратов, ВолжНИИГиМ, 1973.

Жернов И. Е., Шестаков В. М. Моделирование фильтрации подземных вод. М., «Недра», 1971.

Жернов И. Е., Ситников А. Б., Муромцев Н. Н. Методика и результаты полевых исследований условий влагопереноса на орошаемом участке.— Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1972, вып. II.

Ибрагимов Г. А. Использование минерализованных вод на орошение хлопчатника. Изд. «Фан», 1973.

Игнатович Н. К. Зональность формирования и деятельность подземных вод в связи с развитием геоструктур. — «Вопросы

гидрогеологии и инженерной геологии», Госгеолтехиздат, 1950, сб. 13.

Израэльсен, Орсон У. Теория и практика ирригации. ИЛ, 1956. Инструкция по проектированию оросительных систем. Дренаж на орошаемых землях. ВСН-П-8-74. М., 1975, ч. VIII.

Использование минерализованных вод для орошения. М., «Колос», 1973.

Кадыров Х. А., Герасимов Р. М. Изменение структуры водно-солевого баланса орошаемых земель под влиянием работы вертикального дренажа.—«Труды САНИИРИ». Ташкент, 1973, вып. 139.

Каменский Г. Н., Толстихина М. М., Толстихин Н. И. Гидрогеология СССР, Госгеолтехиздат, 1959, т. 1—4.

Каменский Г. Н. Гидродинамические основы прогноза режима грунтовых вод.—«Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР им. Ф. П. Саваренского». 1960, т. XXVI.

Каплинский М. И. Комплексное использование поверхностных и подземных вод межгорных впадин (на примере Чуйской впадины Киргизской ССР).— В кн.: Некоторые вопросы развития мелиорации в СССР. М., «Колос», 1975.

Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. М., «Колос», 1976.

Кац Д. М., Фомин В. М. Применение вертикального дренажа на орошаемых землях (на примере Средней Азии).—«Советская геология», 1961, № 6.

Качинский Н. А. Физика почв. М., «Высшая школа», 1970, ч. II.

Кенесарин Н. А., Ходжибаев Н. Н. К вопросу о напорном питании грунтовых вод Голодной степи.—Материалы по производственным силам Узбекистана. Ташкент, АН УзССР, 1959, вып. 15.

Керзум П. А., Грабовская О. А. Почвы Вахшской долины и их мелиорация.—«Труды института почвоведения и мелиорации». Тадж. ССР, 1957, т. 78, вып. I.

Киселев М. В. Вертикальный дренаж и использование подземных вод на орошение в Бухарской области.—«Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана», 1952, № 2.

Кистанов Н. С. Процессы засоления-рассоления и осолнцевания почв при лиманном орошении. — «Труды ВолжНИИГиМ». Саратов, 1970, т. III, ч. 3.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. М.—Л., АН СССР, 1946—1947, тт. I и II.

Ковда В. А., Розанов Б. Г. Изменение почвенного покрова под влиянием мелиораций.—«Гидротехника и мелиорация», 1975, № 7.

Костин И. С. Орошение в Поволжье. М., «Колос», 1971.

Костяков А. Н., Фаворин Н. Н., Аверьянов С. Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. Сб. 1, АН СССР, 1956.

Костяков А. Н. Основы мелиораций. М., Сельхозиздат, 1960.

Крылов М. М. Основы мелиоративной гидрогеологии Узбекистана. Ташкент, 1959.

Лавреха Н. И., Олейник А. Я., Поляков В. Л. Расчет неустановившейся фильтрации в скважине в неограниченном не-

однороднослоистом пласте.— В сб.: Гидромеханика. Киев, «Наукова думка», 1976, вып. 34.

Ланге О. К. Гидрогеология СССР. М., МГУ, 1968.

Ланге О. К. Гидрогеологическое районирование Средней Азии.—«Советская геология», 1948, № 34.

Лебедев А. В. Прогноз изменения уровня грунтовых вод на орошаемых территориях (гидрогеологические расчеты). Госгеолтехиздат, 1957.

Лебедев А. В. Методы изучения баланса грунтовых вод. Госгеотехиздат, 1963.

Легостаев В. М., Коньков В. С. Мелиоративное районирование. Госиздат УзССР, 1951.

Легостаев В. М. Мелиорация засоленных земель. Ташкент, Госиздат, УзССР, 1959.

Лукнер Л., Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации. М., «Недра», 1976.

Макридин Н. В. Глубокий дренаж лессовидных суглинков Голодной степи. Ташкент, СоюзНИХИ, 1932.

Маслов Б. С., Нестеров Е. А. Вопросы орошения и осушения в США. М., «Колос», 1967.

Машков В. Н., Белоусов А. Н. К вопросу подрезки рабочих колес погружных насосов типа ЭЦВ для вертикального дренажа. — «Труды САНИИРИ», вып. 133, стр. 37—44. Ташкент, 1972.

Меднис М. П. Режим орошения и техника полива сельскохозяйственных культур. Матер, междунар. семинара «Гидрогеологические исследования для орошаемого земледелия». Ташкент, 1968, т. I.

Мелиорация земель в СССР. М., «Колос», 1975.

Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. — Авт.: С. В. Васильев, Н. Н. Веригин, Б. А. Глейзер и др. М., «Колос», 1970.

Минашина Н. Г. Об использовании минерализованных вод для орошения.—«Гидротехника и мелиорация», 1972, № 3.

Минашина Н. Г. Орошаемые почвы пустыни и их мелиорация. М., «Колос», 1974.

Мирзаев С. Ш., Ходжибаев Н. Н. Использование подземных вод для орошения и обводнения пастбищ в СССР.— В кн.: Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1972, вып. 1, ч. 2.

Нельсон-Скорняков Ф. Б. Дренаж при помощи глубоких колодезных насосов, практикующийся на системе р. Соленой в Аризоне (США). Ташкент, 1930, ч. I.

Нестерова Г. С. Зарубежный опыт использования минерализованных вод для орошения.—«Научные труды ВАСХНИЛ». М., «Колос», 1973.

Новикова А. В. Прогнозирование вторичного засоления почв при орошении. Киев, «Урожай», 1975.

Олейник А. Я., Носиковский В. П. Методы расчета мелиоративного дренажа в неоднородно-слоистых грунтах. Киев, «Урожай», 1970.

Олейник А. Я., Поляков В. Л. Расчет площадного вертикального дренажа в трехслойном пласте при неустановившейся фильтрации.— В сб.: Гидромеханика. Киев, «Наукова думка», 1975, вып. 31.

Основы гидрогеологических расчетов. М., «Недра», 1969. Авт.: Ф. М. Бочевер, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев, Шестаков В. М.

Панков М. А. Процессы засоления и рассоления почв Голодной степи. Ташкент, 1962.

Панкратов П. А. К вопросу вертикального дренажа в орошаемых районах Средней Азии. Таджикский филиал АН СССР, 1951, вып. XXX.

Парфенова Н. И. Миграция солей в грунтовых водах при промывках и их прогноз на примере сыртовых глинистых отложений.—«Тезисы докладов третьего Межведомственного совещания по вопросу прогнозирования гидрогеологии, инженерной геологии и почво-мелиоративных условий. М., 1976, вып. 3.

Пашковский И. С. Методы определения инфильтрационного питания. М., МГУ, 1973.

Плотников Н. А. Оценка запасов подземных вод. Госгеотехиздат, 1959.

Подземный сток на территории СССР. Под редакцией Б. И. Куделина, МГУ, 1966.

Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. Гостехиздат, 1952.

Поляков В. Л. Откачка с постоянным дебитом из скважины, дренирующей круговой трехслойный пласт.— В сб.: Гидромеханика. Киев, «Наукова думка», 1975, № 31.

Пославский В. В. Орошение Ферганской долины. — В кн.: «Ирригация Узбекистана». Ташкент, ФАН, 1975, т. 2.

Рабочев И. С. Мелиорация засоленных почв. Ашхабад, Туркмениздат, 1964.

Рабочев И. С., Бурдыгина В. С. Влияние концентрации почвенного раствора на урожай хлопка.— В кн.: Мелиорация пустынных земель Туркменистана. Ашхабад, «Илым», 1968.

Рабочев И. С. Использование минерализованных вод для орошения.—«Научные труды ВАСХНИЛ». М., «Колос», 1973.

Рекс Л. М. Прогноз переноса солей.—«Гидротехника и мелиорация», 1972, № 10.

Разумова М. М. Влияние орошения на солевой режим терасовых черноземов Заволжья.—«Почвоведение», 1970, № 11.

Рахимбаев Ф. М. Опыт изучения гидрогеолого-мелиоративных условий Хорезмской области. Ташкент, УзНИНТИ, 1967.

Решеткина Н. М. Принципы районирования вертикального машинного дренажа. АН УзССР, 1956, № 6.

Решеткина Н. М. Методические основы организации опытно-производственных исследований вертикального дренажа в Голодной степи.— Материалы к освоению Голодной степи. Ташкент, АН УзССР, 1959.

Решеткина Н. М. Гидрогеологические основы применения вертикального дренажа. АН УзССР, 1960.

Решеткина Н. М. Закономерности глубинного засоления почвогрунтов и подземных вод и их роль во вторичном засолении почв при орошении.— Материалы Ташкентского гидрогеологического симпозиума. М., «Наука», 1964.

Решеткина Н. М., Барон В. А., Якубов Х. И. Вертикальный дренаж орошаемых земель. М., «Колос», 1966.

Решеткина Н. М. Прогноз гидрогеологических режимов в

Поволжье в связи с развитием орошения.—«Гидротехника и мелиорация», 1971, № 6.

Решеткина Н. М., Спицын А. К., Шуравилин А. В. Орошение хлопчатника дренажными водами в совхозе «Пахтаарал».—«Гидротехника и мелиорация», 1972, № 3.

Решеткина Н. М. Мелиоративные режимы и профилактический дренаж на землях нового орошения.—Материалы межведомственного совещания мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1972, вып. 1, ч. 1.

Решеткина Н. М., Сойфер А. М. Аналитические методы расчета дренажа.—«Гидротехника и мелиорация», 1975, № 9.

Роговская Н. В. Методика гидрогеологического районирования для обоснования мелиораций (гидрогеологомелиоративное районирование). Госнаучтехиздат, 1959.

Рыжов С. Н., Сучков С. П. Изменение свойств орошаемых почв под влиянием мелиораций и агротехники.—«Труды Международного конгресса почвоведов». М., 1974, т. X.

Сидько А. А. Предел вредности солей и эффективная глубина рассоления почв при капитальной промывке.—«Почвоведение». 1970, № 7.

Сойфер А. М., Сойфер С. Я. Районирование орошаемых земель по типовым фильтрационным схемам.—«Труды Средазгипроводхлопка». Ташкент, 1971, вып. 1.

Сойфер А. М., Шестаков В. М. Методика геофильтрационной схематизации орошаемых массивов. РиОН, 1974, № 11.

Сойфер С. Я. Приближенный прогноз динамики минерализации дренажных вод (на примере Джизакской степи УзССР).—«Сборник научных трудов института «Средазгипроводхлопок». Ташкент, 1976, вып. 7.

Сойфер С. Я., Сойфер А. М. Вертикальный дренаж с усилителями перетекания.—«Гидротехника и мелиорация», 1976, № 7.

Сооружения высокодебитных водозаборных и дренажных скважин. М., «Колос», 1974.— Авт.: В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев, А. Я. Гуркин и др.

Усенко В. С. Приближенный расчет вертикального систематического дренажа. Изд. ОТН, АН СССР, 1958, № 7.

Усенко В. С. Неустановившийся приток грунтовых вод к скважинам при наличии инфильтрации с поверхности земли.—«Труды МИИВХ им. В. Р. Вильямса». 1960, т. XXII.

Фоменко В. И. Методическое пособие по расчету параметров гравийных фильтров дренажных и водозаборных скважин.—«Труды ВИОГЕМ». Белгород, 1972.

Ходжибаев Н. Н., Алимов М. С. Региональный водно-солевой баланс Голодной степи. Ташкент, «Фан», 1966.

Холим М., Риха И. Проблемы защиты окружающей среды, связанные с развитием и эксплуатацией водных ресурсов.—«Гидротехника и мелиорация», 1972, № 6.

Чарный И. А. Основы подземной гидравлики. Гостоптехиздат, 1956.

Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М., «Колос», 1967.

Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. МГУ, 1965.

Шестаков В. М. Динамика подземных вод. М., МГУ, 1973.

Шульгин Д. Ф., Клыков В. Е. Прогнозирование солевого

режима почв при внесении твердых и жидких мелиорантов.—«Тезисы докладов V Делегатского съезда ВОП». Минск, 1977, вып. 5.

Шумаков Б. Б., Носенко В. Ф., Шейнкин Г. Ю. Основные направления совершенствования техники полива в СССР.—«Гидротехника и мелиорация», 1975, № 7.

Штепа Б. Г. Прогрессивные способы орошения.— В сб.: IX международный конгресс по ирригации и дренажу (вопрос 32). ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Щелкачев В. Н., Лапук Б. Б. Подземная гидравлика. Гостоптехиздат, 1949.

Якубов Х. И. Опыт строительства высокодебитных скважин в условиях мелкозернистого песка.—«Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана», 1960, № 4.

Якубов Х. И. Опыт строительства гравийных фильтров для вертикальных скважин в мелкозернистых песках.—«Вопросы энергетики и горного дела». АН УзССР, 1961.

Якубов Х. И. Влияние диаметра и проницаемости прифильтровой зоны на ее дебит.—«Вопросы гидротехники». АН УзССР, 1962, вып. 9.

Якубов Х. И., Ходжаев С. С., Абиров А .А. О подборе состава обсыпок скважин вертикального дренажа.—«Труды САНИИРИ». Ташкент, 1971, вып. 126.

Якубов Х. И., Корелис Л. А. Краткие итоги исследований системы вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал».—«Труды САНИИРИ», Ташкент, 1971, вып. 132.

Якубов Х. И., Корелис Л. А. Использование слабоминерализованных вод на промывку засоленных земель и полив сельскохозяйственных культур.—«Труды ВАСХНИЛ». М., «Колос», 1973.

Якубов Х. И., Корелис Л. А. Перспективы развития вертикального дренажа и использование откачиваемых вод на орошение в Узбекистане.— В сб.: IX международный конгрес по ирригации и дренажу (вопрос 31). ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Ярошецкий Л. М. Исходная постановка задачи определения алгоритмов управления системами вертикального дренажа в целях рассоления.—«Труды САНИИРИ». Ташкент, 1972, вып. 131.

Ярошецкий Л. М., Анохин Г. П. Система радиотелемеханики для управления скважинами вертикального дренажа.—«Механизация хлопководства», 1975, № 12.

Wilcox L. V. Determination of the Quality of Irrigation Water. Agr. Inf. Bull, N 197. USDA; Washington, 1958.

International source-book irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity, FAO/unesso. (Rame, Paris). 1967.

Kanwar I. S., Kanwar B. S. Quality of Irrigation Water Trans, of Int. Congr. of Soil Sci. v. 1, Adelaide, Australia, 1968.

Szabolch I., Darab K. Salt balanse and Salt Trans of Int Congr. Soil. Sci. v. 1, Adelaide, Australia, 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава 1. **Природные условия и мелиорация** 7

Развитие орошения и дренажа 7
Природные условия и потребность в мелиорации . . . 9
Вторичное засоление почв и искусственный дренаж . . 15

Глава 2. **Гидрогеологические основы применения вертикального дренажа** 18

Гидрогеологические принципы проектирования вертикального дренажа 18
Районирование по условиям применения вертикального дренажа 28

Глава 3. **Водно-солевой режим орошаемых земель** . . . 38

Принципы выбора оптимального мелиоративного режима и типа дренажа 38
Водно-солевые балансы как основа для расчета мощности дренажа 43
Водно-солевые балансы почвенно-грунтового профиля зоны аэрации 51
Вопросы расчета водного и солевого режимов * 64

Глава 4. **Проектирование вертикального дренажа в общем комплексе гидромелиоративных мероприятий** 78

Общие принципы и порядок проектирования 78
Земли старого орошения 86
Земли нового орошения 136

Глава 5. **Фильтрационные расчеты вертикального дренажа** * 154

Геофильтрационная схематизация и обоснование расчетных схем дренажа 154
Расчет линейных систем вертикального дренажа . . . 157
Расчет систематического вертикального дренажа 159
Учет неравномерности инфильтрации в расчетах вертикального дренажа 171

Глава 6. **Использование подземных вод для орошения и вертикальный дренаж** 173

Запасы подземных вод и их использование в сельском хозяйстве 173
Подземные воды, орошение и дренаж в бассейне Сырдарьи 176
Подземные воды, орошение и дренаж в Заволжье . . . 182
Использование минерализованных вод для орошения* . . 187

Глава 7. **Конструкции скважин вертикального дренажа** . 199

Особенности условий работы скважин вертикального дренажа 199
Выбор конструктивных элементов фильтрового каркаса . 207
Подбор фракционного состава и толщины гравийной обсыпки 214

Глава 8. **Строительство скважин вертикального дренажа** . 227

Очередность и порядок строительства 227

Опыт строительства высокодебитных скважин с гравийными фильтрами 232
Строительная откачка как средство формирования устойчивого гравийно-песчаного фильтра 243

Глава 9. **Насосно-силовое оборудование, автоматизация и телемеханизация на скважинах вертикального дренажа*** . 252
Условия и надежность работы насосно-силового оборудования на скважинах вертикального дренажа 252
К.П.Д. насосных установок для вертикального дренажа . 261
Электрооборудование и автоматизация вертикального дренажа* 264

Глава 10. **Эксплуатация систем вертикального дренажа** . 276
Общие положения по организации службы эксплуатации и ее задачи 276
Режим работы скважин вертикального дренажа 278

Глава 11. **Эффективность вертикального дренажа** . . . 287
Эффективность мелиоративного вертикального дренажа . 287
Экономическая эффективность профилактического вертикального дренажа на незасоленных почвах автоморфного ряда 299
Экономическая эффективность применения оросительно-дренажных скважин как элемента новых технически совершенных систем 303
Заключение 308
Указатель литературы 311

Наталья Михайловна Решеткина,
Халдар Иганбердыевич Якубов

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

Редактор Г. П. Попова
Художник И. М. Иванова
Художественный редактор Н. М. Коровина
Технический редактор В. А. Зорина
Корректор В. Л. Непомнящая

ИБ № 167

Сдано в набор 14.12.77. Подписано к печати 01.03.78. Формат 84×108 1/32. Бумага тип. № 1. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая. Усл.-печ. л. 16,8. Уч.-изд. л. 19,44. Изд. № 5. Тираж 7600 экз. Заказ № 2415. Цена 1 р. 20 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 103716, ГСП, Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105, Нагатинская, 1.