

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК

29

Издательство Академии Наук Узбекской ССР

В. Д. ЖУРИН НОМИДАГИ МЕҲНАТ ҚИЗИЛ БАЙРОҚ ОРДЕНЛИ
СУВ ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ЎРТА ОСИЁ ИЛМИЙ
ТЕКШИРИШ ИНСТИТУТИ

ГИДРОТЕХНИКА МАСАЛАЛАРИ

29-КИТОБ

ЕР МЕЛИОРАЦИЯСИ

ЎЗБЕКИСТОН ССР „ФАН“ НАШРИЁТИ

ТОШКЕНТ-1965

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
И ГИДРОТЕХНИКИ им. В. Д. ЖУРИНА

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 29

МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“ УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ-1965

В книге собран материал, полученный сотрудниками СреозНИИВПиГ, в результате четырехлетних наблюдений за работой вертикального и горизонтального дренажа в Голодной степи; даны рекомендации по применению методов промывки засоленных земель; рассмотрена фильтрация из каналов с учетом испарения и транспирации.

Сборник предназначен для научных работников, сотрудников проектных, строительных и эксплуатационных организаций, аспирантов, студентов и преподавателей, специализирующихся в области гидротехники и мелиорации.

Редакционная коллегия

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ (отв. редактор), С. Г. ЗАПРОМЕТОВ, А. А. РАЧИНСКИЙ, Х. А. АСКАРОВ, А. М. МУХАМЕДОВ, У. Ю. ПУЛАТОВ, И. И. ГОРОШКОВ, Б. Е. МИЛЬКИС, М. В. БУТЫРИН, Г. Г. ВАЛЕНТИНИ.

А. А. РАЧИНСКИЙ, Н. М. РЕШЕТКИНА

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ОРОШЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Для осуществления грандиозного плана развития орошения в СССР (28 млн. га), намеченного Программой КПСС, требуются еще небывалые темпы строительства гидромелиоративных систем и освоения целинных земель. В связи с этим большой интерес представляет опыт освоения одного из наиболее крупных и сложных массивов — Голодной степи, где в ближайшие годы должно быть орошено и освоено под хлопчатник более 300 тыс. га целинных земель.

В данном районе строительство и освоение ведутся наиболее передовыми методами, впервые в едином комплексе и одной организацией (Голодностепестроем), на современной индустриальной базе. Все работы начались с подготовки так называемого нулевого цикла: строительства шоссейных и железных дорог, линии электропередач, жилых поселков со всеми коммуникациями, главнейших индустриальных объектов по местному снабжению всей стройки различными необходимыми материалами, сборными конструкциями и пр.

В настоящее время опыт освоения Голодной степи переносится и на другие объекты — Каршинскую степь и зону Туркменского канала.

В результате комплекса работ в Голодной степи были организованы высокопроизводительные хлопководческие совхозы, получающие проектные урожаи хлопка-сырца. Уже в первые годы освоения валовой сбор хлопка-сырца за сезон составил более 40 тыс. т.

В процессе освоения земель Голодной степи выявились немалые трудности, связанные главным образом с *техникой орошения и засоления земель*.

Голодная степь, как и многие другие районы перспективного орошения (Каршинская степь, земли, подкомандные Туркменскому каналу, низовья Аму-Дарьи и др.), относится к аридной зоне, где в течение длительного геологического времени испарение значительно превышало осадки, в связи с чем в низменных равнинных частях развивался процесс континентального соленакопления. Таким образом, наиболее важными чертами природной обстановки района, определяющими комплекс мелиоративных мероприятий и делающими вопросы мелиорации первоочередными, является необеспеченность естественного подземного стока и начальное геологическое засоление почво-грунтов и грунтовых вод. Последнее продолжается и в настоящее время.

Для освоения этих земель необходимо выполнить определенные комплексы мелиоративных, агротехнических и эксплуатационных работ

применительно к различным конкретным почвенно-гидрогеологическим условиям этого обширного и весьма разнообразного региона. Только тогда можно будет использовать потенциальное плодородие светлых сероземов и получить планируемый миллион тонн хлопка-сырца. При последовательной реализации проекта орошения и освоения земель в новой зоне Голодной степи отчетливо обнаружены:

а) недостаточная изученность в процессе производственных изысканий и исследований особенностей природной обстановки (фактические значения коэффициентов фильтрации грунтов, напорность грунтовых вод и природа этой напорности, детали литологического строения массивов нового орошения, в частности наличие практически водонепроницаемых прослоек, или, напротив, — хорошо проницаемых пластов, начальные запасы легкорастворимых солей в почво-грунтах, их распределение по профилю и др.);

б) несостоятельность более или менее стандартного инженерного решения оросительных и рассолительных (дренажных) систем для этого района с резко различными геоморфологическими и гидрогеологическими условиями его отдельных частей;

в) резко отрицательные изменения в мелиоративном состоянии освоенных земель, наблюдаемые на обширных площадях, особенно в тех случаях, когда какой-либо из элементов комплекса (планировка, дренаж, промывка) выпадал по тем или другим причинам и не был своевременно выполнен.

Таким образом, наибольшие трудности при освоении земель аридной зоны заключаются в создании правильного комплекса гидромелиоративных и агротехнических мероприятий, обеспечивающего оптимальный водно-солевой баланс для возделывания сельскохозяйственных культур, при котором можно будет максимально использовать естественное потенциальное плодородие почв.

До последнего времени при составлении проектов орошения пользовались для анализа физической сущности природных процессов, в частности процессов засоления земель, методом качественных схем, которые широко применялись в географии, гидрогеологии, почвоведении и мелиорации.

Однако для решения технического проектирования инженерных мероприятий качественных оценок недостаточно, поэтому на опытных участках использовали чисто эмпирические методы, дающие какие-то количественные результаты для инженерных расчетов.

Станции СоюзНИХИ, в частности Золотоординская в Голодной степи, и другие опорные пункты накопили очень ценный опыт по мелиорации засоленных земель. Научно-эмпирические обобщения, сделанные на базе этого опыта, представляют несомненный интерес, но эмпирические приемы и построенные на них расчеты, полученные без полного вскрытия лежащих в их основе закономерностей, не могут уверенно применяться за пределами непосредственных условий опыта. Хорошо известны примеры того, какой вред народному хозяйству наносит шаблонное применение эмпирических приемов в условиях, отличающихся от тех, в которых эти приемы были разработаны и установлены.

Авторы проекта орошения целинных земель Голодной степи стремились не повторять подобных ошибок. Они широко привлекли данные отечественной и зарубежной науки и практики; был использован также опыт орошения и освоения земель в зоне командования канала им. Кирова. Принимая во внимание современные темпы развития науки и техники, а также недостаточную изученность природных условий зе-

мель нового орошения, они предусмотрели проведение в процессе строительства комплекса научно-исследовательских и опытных работ, позволяющих вносить коррективы в проект по мере разработки и испытания тех или иных новых технических предложений.

Важным звеном в этом вопросе явилось бы строительство двух опытно-производственных совхозов в разных природных условиях для того, чтобы на землях этих совхозов можно было раньше всего проверить наиболее прогрессивные предложения по новой технике орошения и дренирования засоленных земель. Однако по совершенно непонятным причинам хорошо продуманный план создания опытно-производственных совхозов не был осуществлен.

Между тем повседневный опыт орошения и освоения земель, а в связи с этим чрезвычайно быстрый подъем уровня грунтовых вод и проявление процессов вторичного засоления настоятельно требовали уточнения проекта мелиоративных мероприятий. Такая работа была проделана ведущим проектным институтом — „Средазгипроводхлопком“ — в 1962 г., когда был создан уточненный комплексный проект развития орошения и освоения для юго-восточной части Голодной степи. В этом проекте большое внимание уделено мелиоративной части, в которой имеется общая тенденция к сильному загущению коллекторной и дренажной сети. Капитальные промывки с широким использованием временной дренажной сети включены в строительную часть проекта. Значительно увеличены размеры промывных норм, сильно подчеркнуто требование обязательного выполнения запроектированного мелиоративного комплекса при освоении земель.

Несмотря на то, что в доработанном проекте мелиоративной части уделено большое внимание, он по-прежнему сохраняет главный идейный недостаток: стандартность принципиального решения для резко различных гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий отдельных частей Голодностепского массива.

Данные исследований по мелиорации засоленных земель, а также опыта мелиоративного строительства и эксплуатации гидромелиоративных систем свидетельствуют о том, что для успешного освоения земель Голодной степи строительство инженерно-мелиоративного комплекса нужно начинать с дренажа и до его полного завершения нельзя вести освоение земель. В условиях практической бессточности грунтовых вод и сильного засоления почво-грунтов и грунтовых вод на большую глубину орошение нормально может развиваться только на фоне хорошо работающей системы искусственного дренажа. Нарушение этого правила всегда и везде приводило и будет приводить к тяжелым последствиям: снижению урожаев до полной потери их в связи с засолением земель (в первый же год или в ближайшие последующие в зависимости от начальной глубины грунтовых вод и темпов освоения). Примером могут служить земли совхозов „Дружба“, № 4, 5, 6 и др.

Проектируя систему орошения на крупных массивах, следует прежде всего выбирать оптимальные проектные мелиоративные режимы для тех или иных частей массива перспективного орошения, т. е. провести районирование территорий предстоящего орошения по проектируемым мелиоративным режимам. Так, в пределах зоны командования Южного Голодностепского канала можно применить три наиболее перспективных мелиоративных режима для почвенно-грунтового профиля, искусственно создаваемых комплексом инженерно-мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Сероземный режим. При этом режиме требуется понижение уров-

ня грунтовых вод, если они первоначально близко залегают, или поддержание их уровня на таких глубинах, на которых бы они практически не оказывали влияния на почвы.

Технически подобный режим при орошении естественно слабо дренированных или недренированных земель можно создать лишь на фоне вертикального дренажа. На первично сильнозасоленных землях вертикальный дренаж в период капитальных промывок возможно окажется целесообразным сочетать с открытым временным горизонтальным. В последующем при поддержании сероземного режима дренажный сток должен составлять минимальную величину от водоподачи. Таким образом, в этом случае особенно необходим и оправдан комплекс антифильтрационных мероприятий и самый жесткий режим орошения.

Сероземно-луговой режим может быть создан в Голодной степи при заложении первичных дрен на глубину 3—3,5 м при близком залегании опресненных грунтовых вод (2—3 м). Этот режим выбран в проекте „Средазгипроводхлопка“ как оптимальный для всей зоны командования ЮГК. Для поддержания указанного режима в условиях засоленных почво-грунтов и соленых грунтовых вод при отсутствии (практически) естественной дренированности и стока подземных вод оросительная и дренажная системы должны в первый (мелиоративный) период обеспечить резкое опреснение почво-грунтов и грунтовых вод с помощью капитальных промывок большими нормами (по проекту — до 15—20 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ и более) на базе дополнительно сооружаемой временной дренажной сети. В дальнейшем постоянная оросительная и дренажная сеть, режим и техника орошения должны поддерживать оптимальный водно-солевой баланс в активном слое почво-грунтов. По уточненному проекту (1962 г.) дренаж должен отводить в среднем $\frac{1}{3}$ от водоподачи, а последняя составлять 12—14 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$. В проекте предусмотрено оросительные нормы и дренажный модуль сохранить только на переходный период. По нашему мнению, переходный период устойчивого опреснения грунтовых вод и почво-грунтов в гидрогеологических условиях зоны ЮГК будет продолжаться десятки лет.

Во время промывок, которые в зависимости от начального засоления почво-грунтов растягиваются от одного года до трех лет, дренажный модуль с помощью дополнительно создаваемого временного дренажа повышается до 1—3 л/сек/га с промываемого массива.

Таким образом, определенная глубина постоянного горизонтального дренажа может обеспечить желаемый сероземно-луговой режим только в том случае, если оросительная сеть, техника и режим орошения создадут в данных условиях промывной режим орошения, т. е. когда в дренаж будет отводиться 30% от суммарной водоподачи с выносом солей, превышающем их поступление. Опыт показывает, что если это условие не соблюдается (дренаж недостаточен или мала водоподача), то получается смещение процесса в сторону солончакового.

Луговой режим создается при близко залегающих (1—2 м) опресненных грунтовых водах. Технически это достигается усиленным промывным режимом на фоне мелкого (2—2,5 м), частого дренажа. Для регулирования водно-солевого баланса дрены должны отводить не менее $\frac{1}{2}$ от суммарной водоподачи.

Этот режим, искусственно созданный на фоне мелкого дренажа при отсутствии природной дренированности и значительного засоления почво-грунтов, хорошо проверен в течение уже нескольких десятилетий в Вахшской долине, где средняя суммарная водоподача составляет 18 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, а дренажный сток—9 тыс.

В качестве другого примера приведем Хорезмскую область Узбекской ССР. Там тоже поддерживается луговой режим, вследствие чего так же, как и на Вахше, получены хорошие результаты по рассолению земель и выращиванию высоких урожаев хлопка-сырца. В этой области суммарная водоподача достигает 20—24 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$. Дренажный сток отводит примерно $1/5$ от водоподачи. Остальная часть сбрасывается за счет „сухого дренажа“, так как к. з. и. в оазисе все еще составляет 0,33. Разумеется, что повышение здесь к. з. и. должно быть связано с соответствующим увеличением дренажа и общего дренажного стока.

Из сказанного ясно, что наиболее экономным по затратам оросительной воды является сероземный режим. Это же подтверждается данными многочисленных опытов, в частности проведенных в лизиметрах, и наблюдений в натурных условиях. Общие затраты влаги на единицу урожая хлопчатника и других культур по абсолютному значению могут быть поставлены от больших к меньшим в зависимости от разных почвенно-мелиоративных режимов. Самые большие затраты воды при луговом режиме, несколько меньше при лугово-сероземном и наиболее экономные — при сероземном. В условиях Голодной степи для создания сероземного мелиоративного режима и получения того же урожая нужно воды, предположим, 8 тыс. $\text{м}^3/\text{га}/\text{год}$, для лугово-сероземного — 12 и для лугового — 16 тыс. $\text{м}^3/\text{га}/\text{год}$. Это в свою очередь определяет отношение и к антифильтрационным мероприятиям и к выбору техники орошения.

Следовательно, при выборе в соответствии с природными условиями, техническими возможностями и экономической целесообразностью того или иного мелиоративного режима необходимо для его создания и поддержания увязать и подчинить ему все звенья инженерно-мелиоративного комплекса (оросительную сеть, технику орошения, планировки и дренаж), а также агротехнические мероприятия, в первую очередь режим орошения. Нарушение хотя бы одного звена в этом комплексе разрушает „настройку“ этого сложного и многогранного аппарата регулирования водно-солевого баланса орошаемых земель. Результатами этих нарушений являются засоление земель, вызывающее снижение валовых сборов хлопка-сырца, выпад из сельскохозяйственного оборота части посевных площадей, пятнистость в развитии растений и т. д. Мы считаем, что на огромной территории, подкомандной Южному Голодностепскому каналу, общей площадью 350 тыс. га, где природные условия весьма разнообразны, было бы целесообразно разместить все три указанных режима, или во всяком случае первые два, в то время как в проекте весь этот разнообразный регион решается шаблонно. Можно было бы принять следующую схему проектного районирования мелиоративных режимов: в узкой полосе вдоль ЮГК шириной 2—3 км обеспечить луговой режим, на всей остальной площади с близкими грунтовыми водами — сероземно-луговой и, наконец, на землях с глубокими грунтовыми водами и опресненным сверху почвенным профилем сохранить природный сероземный режим. К последнему типу земель относится более 250 тыс. га. Здесь соленые грунтовые воды залегают на глубинах более 10—15 м, а почвы представлены светлыми глубоко солончаковатыми сероземами, причем скопление солей в почво-грунтах начинается обычно с глубины 1—1,5 м.

Таким образом, если на этих землях системой вертикального дренажа обеспечить поддержание автоморфного процесса почвообразования, освоение, как правило, можно будет вести без капитальных про-

мывок при наиболее экономном и эффективном режиме орошения, что как нельзя лучше оправдывает применение новой техники (закрытых трубопроводов, дождевания, подпочвенного орошения и др.).

В Среднеазиатском институте водных проблем и гидротехники доказана возможность и перспективность применения вертикального дренажа на этих землях. Вертикальный дренаж и именно сероземный мелиоративный режим могут вписаться в запроектированные оросительную сеть и принятый гидромодуль.

Опыт освоения южной части Голодной степи и те уточнения, которые пришлось внести в проект 1962 г., показывают, что в проекте Средазгипроводхlopка имеется разрыв между запроектированной оросительной сетью и мелиоративной частью — дренажем и промывками. Оросительная сеть запроектирована на достаточно жесткий гидромодуль — 0,6—0,8 л/сек, между тем для предусмотренной дренажной сети и капитальных промывок требуется пропуск значительно больших расходов воды и обеспечение общего, более высокого гидромодуля. Можно сказать, что таким же образом, т. е. сильным загущением коллекторно-дренажной сети, увеличением размеров промывных норм, повышением гидромодуля, будут уточняться следующие проекты для центрального и юго-западного массивов, что вполне логично при создании сероземно-лугового мелиоративного режима. Однако все это, помноженное на площадь, подлежащую орошению, создаст такие коррективы, в результате которых расход ЮГК превысит примерно в 1,5 раза расчетный, а, кроме того, магистральная коллекторно-дренажная сеть окажется совершенно несостоятельной, так как суммарный сток при этом должен будет составить около $\frac{1}{3}$ от водоподачи.

Если для большей части площади перейти на принципиально иную мелиоративную схему — сероземную, которая может быть создана на фоне вертикального дренажа, то мы не будем иметь подобного разрыва между оросительной и дренажной частью проектов, представится возможность ограничиться скромными гидромодулями, заложенными в проекте, и свести дренажный сток соленых грунтовых вод к минимуму (не более 1—2 тыс. м³/га/год). В этом случае уточнение проекта в оросительной части сведется к более широкому использованию закрытых трубопроводов для распределительной сети и к разработке вопросов механизации полива.

Среднеазиатскому институту водных проблем и гидротехники в 1962 г. было поручено обобщить научно-исследовательские материалы, накопленные в процессе подготовки проектов развития орошения Голодной степи в связи с началом строительства, а также разработать генеральную программу исследований. Было решено организовать научно-исследовательские работы по единому плану на базе строительства опытно-производственных комплексных систем (Всесоюзное координационное совещание по мелиорации и гидротехнике, Москва, ВНИИГиМ, декабрь 1962 г.). На основании сделанного районирования и изложенной выше концепции о проектных мелиоративных режимах мы предложили создать конкретные совхозы в зоне командования ЮГК, в которых необходимо было бы проверить проектные положения Средазгипроводхlopка в натуре (совхозы „Фархад“, № 5 и 6) и принципиально новые положения, выдвинутые СредазНИИВПиГ (совхозы № 4, 7 и 20). Кроме того, нами разработана единая генеральная программа, при составлении которой имелось в виду идейно, методически и организационно объединить все исследования, проводящиеся в Голодной степи разными научными организациями, и на базе объединенной комплексной экспедиции создать в дальнейшем комплексную ме-

лиоративную станцию. Эта станция в своих работах должна опираться на ряд опытно-производственных участков площадью от 200—400 га до 2—3 тыс. га, расположенных в различных районах Голодной степи.

Такая программа работ была широко обсуждена научно-исследовательскими, проектными и строительными организациями и вошла в уточненный проект Средазгипроводхлопка по развитию орошения в юго-восточной части Голодной степи. С 1964 г. Голодостепстрой должен был принять ее к исполнению и названные в ней опытно-производственные комплексные системы должны были служить основными звеньями при закладке базы для дальнейшего развития строительства на широких площадях (в сотни тысяч гектаров). Между тем вопросы по организации исследований, несмотря на их очевидную значимость при небывалых темпах развития орошения, до настоящего времени не разрешены.

Так как темпы, методы и техника строительства ирригационных систем и освоения целинных земель в настоящее время принимают совершенно новые формы должны измениться организация, методы и темпы научно-исследовательских работ. Мы не можем долгие годы ждать решения частных вопросов и длительное время тратить на мелкоделяночные и лабораторные опыты. Необходимо, мобилизовав всю сумму знаний в области мелиоративной науки и смежных дисциплин, перенести центр тяжести исследований в поле, на крупные производственные объекты. Там должны быть созданы в натуре необходимые условия, чтобы исчерпывающе проверить проектные положения, улучшить и уточнить их. Кроме того, должна быть создана обстановка для широкой и обстоятельной проверки новых идейных положений, позволяющих серьезно усовершенствовать проект.

Такая постановка научно-исследовательских работ на строящихся мелиоративных объектах может быть создана только в том случае, если коллективы строителей, проектировщиков, освоителей и ученых будут работать в самом тесном содружестве, если предлагаемые опытно-производственные системы будут внесены в проект и включены в план строительства как первоочередные „пионерные звенья“ в развитии орошения и освоения того или иного массива, будь это Голодная степь, Каршинская степь или земли Туркменского канала. Только тогда возможно широкое наступление на пустыни и полупустыни, развитие ирригации и эффективное освоение целинных земель, гарантированных от крупных просчетов и промахов, когда в натуральных условиях на примере отдельных совхозов или их отделений в разных почвенно-мелиоративных условиях будет тщательно выполнен весь запроектированный инженерно-мелиоративный режим и одновременно отработаны отдельные его звенья.

Таким образом, наши предложения можно свести к следующему. Проектирование системы орошения и мероприятий по освоению целинных земель аридной зоны должно опираться на районирование проектного мелиоративного режима. Целью такого режима является формирование или поддержание почвенно-образовательного процесса, который отвечает природным условиям данной территории и обеспечивает наиболее низкий коэффициент водопотребления, т. е. наименьший расход влаги на единицу продукции сельскохозяйственных культур при устойчивом оптимальном водно-солевом балансе корнеобитаемого слоя поливного участка, массива и орошаемой территории в целом.

Для создания проектного мелиоративного режима в данных конкретных условиях проектируется определенный комплекс гидромелио-

ративных и агротехнических мер, неразрывно связанных друг с другом, которые должны выполняться строго и равно обязательно во всех звеньях.

Орошение и освоение целинных земель (осуществление проектов в натуре) должны начинаться со строительства опытно-производственных систем, которые записываются в план строительных и освоительных организаций как первоочередные важнейшие объекты. В создании этих систем должны участвовать совместно коллективы ученых, проектировщиков, строителей, освоителей. В процессе строительства и испытания указанных систем должны быть тщательно выполнены, проверены и отработаны как основные проектные решения, так и возможные новые идейные положения, позволяющие улучшить проект. Обобщение всех исследовательских материалов по массиву, получаемых на базе отдельных опытно-производственных систем, следует поручить объединенной комплексной экспедиции, комплексной мелиоративной станции или научному центру.

Каково же содержание работ и форм организации их на подобной комплексной мелиоративной станции? Очевидно, что эта станция будет нового типа. Сферой ее исследований должен быть весь массив предполагаемого орошения, например вся Голодная или Каршинская степь и т. д. Станция должна располагать методами современного быстрого и точного фиксирования главнейших мелиоративных процессов на крупных массивах во всей зоне своего влияния (геофизического, радиометрического, аэросъемочного и др.).

Основное здание станции и его лабораторная база могут располагаться в соответствии с удобствами связи, жилыми центрами и проч., так как полевыми экспериментальными базами станции должны служить упомянутые выше опытно-производственные системы, размещающиеся на всей территории массива. Число их будет определяться разнообразием природных условий и испытываемым комплексом инженерно-мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Таким образом, проектируемая комплексная мелиоративная станция на массивах предстоящего орошения будет существенно отличаться от наших классических мелиоративных станций, созданных несколько десятков лет назад, таких, как Золотоординская в Голодной степи или Джефарханская в Азербайджане, работающих главным образом на маленьком участке.

Новые станции должны отвечать новым задачам, определяемым темпами и масштабами развития орошаемого земледелия, и соответственно с этим иметь высокое техническое оснащение, на них следует применять современные методы исследований, особенно для контроля за мелиоративными показателями на территории; кроме того, эти станции должны быть оборудованы аппаратом, на котором можно было бы достаточно быстро и оперативно сводить, обрабатывать и обобщать многочисленный информационный материал, получаемый с полевых лабораторных баз опытно-производственных систем.

В качестве примера приведем план опытно-производственных исследований, разработанный СредазНИИВПиГ для зоны Южного Голодностепского канала в связи с развитием орошения и освоения целинных земель на площади 350 тыс. га.

ПЛАН ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Остановимся на кратком описании предлагаемых комплексов мелиоративных оросительно-рассолительных мероприятий, подлежащих проверке в условиях опытно-производственных систем.

Имеются основания выделить следующие геоморфологические и гидрогеологические условия на площади уже освоенной и площади ближайшего освоения.

I. Район предгорной части с ограниченной толщей мелкозема, подстилаемого сильно фильтрующими гравелисто-галечниковыми грунтами. Здесь при больших фильтрационных потерях из земляных каналов и с орошаемых полей формируется фильтрационный поток, который на коротких расстояниях вниз по уклону, встречая затрудненные условия оттока, вызывает подъем грунтовых вод и, как следствие, засоление грунтов. К этой части относится территория совхоза „Фархад“. Вторичное засоление в пределах этого совхоза прослеживается вдоль ЮГК.

II. Район периферийных частей сухих конусов выноса эфемерных потоков, формирующихся на склонах Туркестанского хребта. В пределах этого района существенные различия почво-грунтов и гидрогеологических условий создают приподнятые и западинные части мезорельефа (осевые части конусов выноса и межконусные понижения). Здесь орошение способствует интенсивному подъему соленых грунтовых вод, которые, если им не будет обеспечено искусственное дренирование, формируют отчетливо выраженную зону выклинивания с лугово-солончаковым и солончаковым типами почвообразования. Баланс грунтовых вод при недостаточной дренированности происходит по схеме вертикального водообмена (южная часть территории совхозов № 4, 5, 6).

III. Район периферийной части зоны рассеивания. Он контактируется с названным выше районом. Для освоенной территории представлен северными частями совхозов № 4, 5, 8. Основная мелиоративная особенность этого района — очень слабо выраженный подземный отток грунтовых вод при их близком залегании к поверхности. Сильное засоление почвенного разреза от самой поверхности земли.

IV. Район центральной части зоны рассеивания. Обширная территория Голодной степи площадью около 200 тыс. га, которая в настоящее время начинает осваиваться (совхозы № 17, 18, 20 и др.).

Для выделенных районов характерна существенная разница в исходном режиме грунтовых вод, неодинаковое местоположение горизонтов максимального солесодержания и важные отличия в почвообразовательном процессе. Эти различия становятся еще более заметными при орошении, если вопросы о потерях в сети и создании искусственной дренированности решаются неправильно. Мы считаем, что комплексы мелиоративных (оросительно-рассолительных) мероприятий должны дифференцироваться соответственно выделенным районам, что обеспечит устойчивое мелиоративное состояние как в этом районе, так и районах, связанных с ним естественными причинами. К проверке рекомендуются следующие комплексы.

1. В совхозе „Фархад“ следует создать опытно-производственную систему площадью около 2000 га (одно отделение совхоза).

Основное направление оросительного комплекса — обеспечение оптимального водного режима активного почвенного слоя при минимуме фильтрационных потерь на глубокую инфильтрацию. Вся сеть распределительных каналов до участковых распределителей включительно — трубопроводы. Идеальный пример — для стационарной системы дождевания или подпочвенного орошения.

Поливы проводятся малыми поливными нормами — 400—500 м³/га. Размеры поливного участка 8—12 га. Если будет сохранен полив по бороздам, то рекомендуются короткие борозды — до 60—70 м, расход

борозды — до 0,3—0,4 л/сек. Временные ок-арыки должны быть заменены гибкими трубопроводами или сборно-разборными лотками-оросителями.

Дренаж при таком решении оросительной проблемы должен быть выполнен в двух вариантах:

а) по типу закрытых дрен глубиной 2,5—3,0 м с расстоянием между первичными дренами 350—400 м; коллекторы проектируются тоже закрытого типа с глубиной 3,5—4,0 м и расстоянием между первичными коллекторами около 1 км;

б) системой вертикальных скважин глубиной 70—100 м с дебитом воды 50—70 л/сек из расчета одна скважина на 100 га.

Основное назначение дренажной системы — обеспечение разгрузки потока грунтовых вод от фильтрационных, возникающих в этом районе при орошении земель даже в условиях наиболее технически совершенной оросительной системы. Площадь каждой дренажной системы 1 000 га.

2. На землях совхоза № 4 (южная часть, примыкающая к ЮГК) необходимо организовать опытно-производственную систему на площади одной производственной бригады 200—250 га.

Главное направление оросительного комплекса — создание лугового почвообразовательного процесса при оптимальном водно-воздушном режиме и постепенной разгрузке активного почвенного слоя от избытков воднорастворимых солей. В выполнении этой задачи должны принимать участие фильтрационные воды каналов, вегетационный режим орошения, промывной режим. Система орошения будет способствовать развитию опреснения как почвенного слоя, так и грунтовых вод. Следовательно, оросительную систему должны составлять оросительные каналы в земляном русле для всех звеньев постоянной сети. Пропускная способность каналов должна обеспечить возможность проведения форсированных промывок.

Поливной режим вегетационного периода также обеспечит промывку. Поэтому в период созревания урожая (в августе) поливы целесообразно проводить по бороздкам в комбинации с затоплением. В этих условиях грунтовые воды будут иметь обильное питание, и для того чтобы здесь не возникал вертикальный тип водообмена, территория должна быть *интенсивно дренирована*. В целях усиления горизонтального оттока грунтовых вод и возможно быстрых сработок избытков этих вод для замещения их новыми порциями оросительной воды (профильтровавшейся в грунтовые воды) на поливных участках осуществляется мелкий (1,5—2,0 м) и частый дренаж (расстояние между дренами 30—50 м) закрытого типа. Коллекторы проектируются глубиной 2,2—2,5 м открытого типа.

3. В северной части совхоза № 4 следует создать опытно-производственную систему, куда войдет одна производственная бригада площадью 200—250 га.

Основное направление оросительного комплекса в этой системе — создание лугово-сероземного режима, обеспечение постепенной разгрузки активного почвенного слоя от избытков воднорастворимых солей и в то же время ограничение питания местными фильтрационными водами грунтовых вод. В связи с этим система орошения должна строиться так, чтобы при всемерном сокращении потерь сети допускать глубокую инфильтрацию поливных вод (поливные нормы превышают дефицит до предельной влагоемкости активного слоя почвы). Поэтому целесообразно создать оросительную систему с минимумом фильтрационных потерь из сети (облицованные каналы и каналы с пленками

из антифильтрационных материалов) и применить такой режим орошения, при котором в каждом поливе до 30—35% общей поливной нормы воды поступит в грунтовые воды, что создаст опреснение их верхнего слоя (за оросительный период до 3000—3500 м³/га воды).

Для обеспечения необходимой отточности грунтовых вод на указанном массиве с учетом естественного притока, а также питания грунтовых вод в процессе вегетационных и промывных поливов строится дренажная система с дренами глубиной 3,0—3,5 м и коллекторами—4,0—4,5 м открытого типа. Расстояние между дренами составляет 100—150 м, коллекторами—400—500 м.

В результате почвенно-мелиоративных исследований на территории совхоза № 4 установлено, что значения коэффициента фильтрации почво-грунтов здесь оказались примерно в 3—5 раз больше тех, которые приняты в проектных расчетах.

4. В одном из отделений совхоза № 4 построить систему вертикального дренажа (одна скважина на 75 га), где скважины имеют глубину 70—150 м с дебитом воды 20—40 л/сек, и на период капитальных промывок — временную мелкую (открытую) горизонтальную дренажную сеть. Оросительная и временная дренажная сети выполняются по уточненному проекту 1962 г.

5. На землях совхоза № 5 следует создать опытно-производственную систему площадью 200—250 га (одна производственная бригада).

Территория совхоза представлена западной частью периферии предгорного шлейфа. Она характеризуется наиболее тяжелыми геологическими условиями: мелкоземистые слоистые грунты, наличие на глубине 1—1,5 м от поверхности практически водонепроницаемых прослоек гипса и глины. Для южной и северной части территории совхоза сохраняется то же общее принципиальное решение оросительно-рассолительных мелиораций. Вся система орошения строится из расчета допуска в значительных размерах питания грунтовых вод для создания мощных нисходящих токов, способствующих опреснению почвенного слоя и верхнего горизонта грунтовых вод.

Дренажный комплекс должен обеспечить полное сбалансирование этого поступления воды оттоком в дренажную сеть. Оросительная система проектируется с земляными каналами во всех звеньях; полив — затоплением или по бороздам, культура-освоитель — рис; дренажная система — частый и мелкий дренаж закрытого типа глубиной до 1,3—1,6 м, расстояние между дренами 30—60 м, а через 300—400 м устанавливаются открытые коллекторы глубиной до 2,5—3,0 м.

6. На землях совхоза № 6 нужно организовать две опытно-производственные системы, каждая площадью 200—250 га.

Территория совхоза занимает водораздельную часть периферии конуса выноса, имеет значительно более легкие геологические условия, чем на территории совхоза № 5. Однако быстрая смена гидрогеологической обстановки с юга на север требует выделения различных гидрогеолого-мелиоративных зон и принципиально различных решений оросительно-осушительных мелиораций. В южной части совхоза оросительная система строится на тех же принципах, что и в совхозе № 5: дренажная сеть, учащенная до 80—100 м, глубиной 1,5—2 м, закрытого типа, собиратели и коллекторы открытого типа глубиной до 2,5—3 м (в дальнейшем закрываются). Освоение производится через рис и грузные промывные поливы (25—30 тыс. м³/га).

В условиях северного участка на глубоких грунтовых водах проверяется проектное решение Средазгипроводхлопка; оросительная

система строится по принципу возможно большего ограничения потерь воды в сети и на полях. Для этого распределительная сеть решается в виде трубопроводов, на поливных участках для поливов используют гибкие трубопроводы с питанием от них укороченных борозд длиной до 100—120 м, междурядья (для хлопчатника) 1 м. Дренаж учащенный, глубокий, закрытого типа. Дрены глубиной до 3,0—3,5 м (по проекту 1962 г.), коллекторы открытые—3,5 м, через 500—600 м.

Таким образом, для освоенной территории юго-восточной части массива нового освоения предлагается проверить комплекс, который по своей идейной направленности должен обеспечить луговой или лугово-сероземный процесс почвообразования. Для части этой территории фильтрационные потери каналов и полей требуют уменьшения, а дренажные устройства проектируются из условия полного отвода суммарного объема вод, составляющих местные поступления в грунтовые воды. По ориентировочным расчетам, соотношение между объемами воды, отведенной дренажем и поступившей на орошение, составляет 1:2. Желательны такие конструктивные решения, которые гарантируют сокращение высоты капиллярного поднятия почво-грунтов этого района. На варианте вертикального дренажа можно также проверить целесообразность создания здесь сероземного режима.

В результате современной изученности центральной части новой зоны освоения земель можно отметить следующие мелиоративные особенности, свойственные только этой части:

- а) практически незасоленный верхний почвенный слой на глубину до 1—1,5 м;
- б) наличие больших солевых запасов в почвенных горизонтах, расположенных ниже этих глубин;
- в) глубоко залегающие сильноминерализованные грунтовые воды, глубина до зеркала грунтовых вод составляет 15—20 м и более;
- г) практическая бессточность территории;
- д) пылеватость и плавунность покровных легких суглинков и супесей.

Исходное состояние почвообразовательного процесса — сероземный тип почвообразования с реликтовой глубокосолончаковатостью. Очевидно, что техника поверхностного самотечного орошения в короткие сроки вызовет в этом районе быстрый подъем грунтовых вод и сильнейшее засоление верхнего метрового слоя. Кроме того, горизонтальная система дренажа в этом районе при практически приемлемых междренних расстояниях будет испытывать огромные затруднения в ликвидации этих форм вторичного засоления. Строительство будет связано с большими трудностями ввиду плавунности грунтов.

Поэтому единственно верное мелиоративное решение — сохранение и развитие на базе мелиоративного комплекса сероземного почвообразовательного процесса. Это осуществимо благодаря созданию оросительной системы с очень ограниченными фильтрационными потерями (трубопроводы плюс подпочвенное орошение или дождевание) и системы вертикального дренажа, работа которого исключит как подъем грунтовых вод к корнеобитаемой зоне, так и связанную с ним миграцию воднорастворимых солей. В связи с очень быстрыми темпами освоения земель этого района и близкой перспективой введения в сельскохозяйственный оборот земель центрального массива, отличающихся большим плодородием, требуется срочно проверить в натуре развитые выше принципы мелиоративного комплекса данной зоны, так как после подъема уровня грунтовых вод и проявившегося вторично-

го засоления этот путь мелиорации, сейчас наиболее экономичный, уже не даст такого эффекта.

Производственная система для проверки охарактеризованного комплекса может быть создана на территории совхозов № 1 и 20 в разных гидрогеологических условиях (или № 7 и 17).

7. В совхозе № 20 (типичный объект для северной части массива) построить опытно-производственную систему для проверки возможности сохранения и развития при орошении сероземного типа почвообразования. Площадь опытно-производственной системы 2—2,5 тыс. га (одно отделение).

Оросительная система в пределах опытно-производственной системы представляет собой подводящий канал (отвод отделения), выполненный в виде открытого сечения с бетонной одеждой и распределительных трубопроводов с доведением ими воды до границ поливных участков. Орошение осуществляется по способу подпочвенного и дождеванием от стационарных систем. Площадь отдельного поливного участка 10—20 га. Система дренажа — дренажные насосные колодцы из расчета один колодец на 100—150 га, средняя глубина колодца 50—80 м, фильтровая часть 20—30 м, фильтры установлены для мелкоземистых плавунных песков с легкой гравийно-песчаной обсыпкой. Соленая вода, откаченная из колодцев, направляется в сброс по трубопроводам.

Изложенные выше принципиальные решения оросительно-рассолительных мелиораций, намеченных для рекомендуемых опытно-производственных систем, должны быть тщательно выполнены в натуре и ожидаемые результаты проверены. В процессе строительства и испытания должны отрабатываться детали и элементы системы и проводиться комплексные наблюдения за развитием общих мелиоративных процессов. Это позволит уточнить рекомендованные параметры элементов мелиоративного комплекса. Вместе с этим данные отдельных опытно-производственных систем должны обобщаться и увязываться с материалами продолжающихся исследований по всему массиву предстоящего орошения.

Только таким образом можно будет максимально улучшить проект и по возможности избежать ошибок и просчетов, связанных с непроизводительными затратами огромных материально-технических средств.

Предлагаемый нами план организации исследований может, несомненно, в деталях иметь различные вариации. Однако, по нашему мнению, выполнение его принципиальных позиций чрезвычайно важно для успешного развития орошения и освоения новых земель.

А. А. РАЧИНСКИЙ

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ДЛЯ ПРОМЫВОК И ВЕГЕТАЦИОННЫХ ПОЛИВОВ

Работами Хорезмской зональной станции СоюзНИХИ установлено, что высокие урожаи хлопчатника можно получить лишь в том случае, если засоление почвы по хлору к началу вегетации не превышает 0,03% от веса почвы (табл. 1).

Таблица 1
Урожайность хлопчатника в зависимости
от содержания солей

Номер делянки	Содержание хлора в слое 0—100 см, % от веса почвы	Урожайность хлопчатника, ц/га	Процент к контролю
1	0,034	34,6	100
2	0,038	33,3	97
3	0,043	27,5	79
4	0,068	23,8	69

Размеры допустимого засоления (нормы накопления солей в метровом слое почвы) для условий Хорезмского оазиса наиболее правильно считать 0,015—0,020% (по хлору).

Результаты анализа обширного гидрохимического материала, собранного в разных районах Южного Хорезма (более 1000 образцов), показывают, что при минерализации грунтовых вод до 10 г/л плотный остаток превышает содержание хлора в 6,1 раза.

За вегетационный период хлопчатника (апрель—сентябрь) в метровом слое почвы при различной глубине залегания грунтовых вод и минерализации их 3,5 г/л накопление хлора составит

Глубина, м	Содержание хлора, % к весу
1,0	0,0103—0,0172
2,0	0,0045—0,0075
2,5	0,0029—0,0079
3,0	0,0002—0,0004

При наиболее распространенных в оазисах глубинах (1—2 м) содержание хлора в активном слое почвы возрастает по отношению к исходному на 30—100% и достигает значений 0,022—0,037%. Полевы-

ми исследованиями установлено, что при опреснении грунтовых вод до 1—8 г/л сухого остатка и при их залегании на глубине 1,7—2,2 м процессы засоления почв почти прекращаются.

Однако специальное изучение вопроса о расходе грунтовых вод на транспирацию хлопчатником и испарение с поверхности почвы за вегетационный период в Хорезме дало результаты, указанные в табл. 2. Данные таблицы говорят о том, что при слабой и средней минерализации грунтовых вод расход их составляет 20,6—45,5% (и даже до 60%) от общего водопотребления и не только не сказывается отрицательно на урожае, но явно способствует росту его при меньших затратах оросительной воды (сравним с урожайностью при глубине грунтовых вод в 3,0 м). Таким образом, можно считать, что рост и развитие хлопчатника в условиях смешанного водного питания оросительными и грунтовыми водами слабой и средней минерализации обеспечивают высокие урожаи.

Т а б л и ц а 2

Расход грунтовых вод

Глубина уровня грунтовых вод, м	Расход вод, м ³ /га		Расход грунтовых вод, % от суммарного	Урожайность, ц/га
	грунтовых	оросительных		
1,0	3363	4031	45,5	59,5
1,5	2579	4090	38,7	35,6
2,0	2198	6000	26,8	55,0
2,5	1968	7575	20,6	45,0
3,0	314	1685	1,8	30,0

В результате можно сделать вывод о полной возможности использования для промывных и вегетационных поливов минерализованных грунтовых вод с содержанием плотного остатка до 3—4 г/л. Если при этом поливные нормы отдельных поливов будут назначаться из расчета

$$m = (1,15 \div 1,20) HA (\beta_{\text{пр}} - \beta_{\text{ф}}), \text{ м}^2/\text{га},$$

где H — мощность активного слоя, м;

$\beta_{\text{пр}}$ — предельная влагоемкость, % от скважности;

$\beta_{\text{ф}}$ — фактическая влажность, % от скважности;

A — скважность почвы, % от объема;

1,15—1,20 — коэффициент,

то произведенный полив, имея промывной эффект, будет освобождать активный слой от возможного накопления солей, количественно превышающего концентрацию раствора в грунтовой воде. Для профилактики целесообразно рекомендовать чередование поливов грунтовыми водами с поливами водой речного источника. Поливные нормы пресной воды должны назначаться из расчета превышения дефицита объема на 15—20% до предельной влагоемкости в активном слое.

Данные гидрогеологических исследований, проведенных Хорезмской гидрорежимной экспедицией и Заунгузской комплексной геологической партией, показали, что на значительной площади староорошаемых земель наблюдается минерализация грунтовых вод 1—3 г/л на глубину до 8—10 м.

Считая, что площадь в пределах Хорезмской области, где зафиксирована указанная минерализация, составляет около 150 000 га и

принимая возможную толщину слоя 2 м (из которого они в течение года могут откачиваться без нарушения стабилизировавшегося уровня минерализации грунтовых вод) при среднем значении коэффициента водоотдачи $M = 0,08 \div 0,1$, можно получить следующее выражение запасов грунтовых вод, используемых для поливов:

$$W = 220 \div 350 \text{ млн. м}^3/\text{год}.$$

Это составляет около 60—80% от общего объема воды, применяемой для промывных поливов, и около 20—35% от годового стока воды для орошения, забираемого из источника. Таким образом, приходим к выводу, что в районе имеются обильные запасы грунтовых вод, пригодных по своим качествам для промывных и вегетационных поливов.

Результаты полевых исследований (опытные откачки) и теоретических расчетов, проведенных гидрогеологами Заунгузской комплексной партии, говорят о том, что из буровых скважин глубиной 30—40 м, диаметром 0,5—0,7 м, оборудованных соответствующим фильтром, можно получать дебит воды до 25—30 л/сек при глубине откачки 5—7 м.

Район имеет производственный опыт использования дренажных вод, содержащих до 5 г/л плотного остатка, для ведения промывных и вегетационных поливов (колхозы Шаватского и Гурленского районов Хорезмской области и Тахтинского района Ташаузской области). Эксперимент вполне удался.

При проведении опытов Хорезмской станцией в 1952—1953 гг. применялись поливы грунтовой водой, содержащей 3—5 г/л плотного остатка и 1—2 г хлора. Это дало незначительную прибавку урожая. В 1954 г. при поливах употребляли воды еще более высокой минерализации. Зафиксировано снижение урожая на 12—14% по отношению к контролю.

Установлено, что при использовании минерализованных вод во время вегетационных поливов увеличивается засоление почв (особенно на тяжелосуглинистых и глинистых почвах). При поливах почв среднего и легкого механического состава слабоминерализованной водой (1—3 г/л плотного остатка, до 1 г/л хлора) засоление не возрастает.

В литературе (Б. В. Федоров, В. М. Легостаев) освещен опыт по использованию высокоминерализованных дренажных вод с содержанием плотного остатка до 8—9 г/л. В районах Голодной степи, Ферганской долины, в бассейне р. Атрек для орошения служат речные воды, содержащие 1—2 г/л солей. Можно утверждать, что существуют объективные данные, позволяющие считать, что в районах Хорезмской группы районов возможно широкое применение грунтовых вод для промывных и вегетационных поливов. Поэтому необходимо пресекать попытки расхищения воды из каналов откачкой насосами. Надо ориентировать колхозы и совхозы на строительство буровых скважин для использования дебита воды в период промывных и вегетационных поливов.

А. А. РАЧИНСКИЙ

ПОТЕРИ ВОДЫ И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ХОРЕЗМСКОЙ ОБЛАСТИ

В состав всех ирригационных систем Хорезмской области входят магистральный канал, межхозяйственные распределители, сеть внутрихозяйственных распределителей и оросительных каналов.

В связи с тем, что за последние годы (1950—1963 гг.) произошло значительное укрупнение колхозов, площадь которых сейчас достигает 2000—5000 га и более, в пределах их хозяйственных границ оказалась сложная система внутрихозяйственных каналов постоянного и временного типа большой протяженности.

Основными магистральными каналами ирригационных систем области являются Ташсака с ветками Палван-Газават и Шават, Клычниязбай с Гурленской веткой, Октябрьарна, Ургенчарна. Чтобы получить посистемные значения к. п. д., изучались все звенья каждой из них.

Организуя сбор материалов и проводя соответствующие исследования, мы учитывали, что существующие системы резко отличаются друг от друга размерами обслуживаемой площади и техническим состоянием водозаборного узла (собственно магистральных каналов), а также распределительной сети (форма русла, армированность) и что для каждой из них (табл. 1) должны быть установлены значения к. п. д. магистрального и межхозяйственного звена. Что касается к. п. д. внутрихозяйственных систем на территории области, то им всем свойственна общая черта — их непереустроенность и, как следствие, практически одинаковые технические характеристики элементов этих систем, состояние армированности, условия водораспределения и водопользования в отдельных хозяйствах.

При расчете к. п. д. внутрихозяйственной системы надо применять принципиально иную методику, позволяющую одновременно определять значения к. п. д. каждой из систем.

Мы считаем, что к. п. д. существующих в Хорезмской области систем определяются следующей зависимостью:

$$\eta_c = \eta_{м.к} \cdot \eta_{мх.р} \cdot \eta_{вх.с};$$

здесь η_c — к. п. д. отдельной ирригационной системы;

$\eta_{м.к}$ — к. п. д. магистрального канала этой системы;

$\eta_{мх.р}$ — к. п. д. межхозяйственных распределителей этой системы;

$\eta_{вх.с}$ — к. п. д. внутрихозяйственной системы (внутрихозяйственного звена).

Ташсакинская система. В этой системе, кроме единой магистрали (34 км), имеются две крупные магистральные ветки: Палван-Газаватская и Шаватская, потери воды в которых и обуславливают к. п. д.

Таблица 1

Канал	Административное деление подвешенных площадей	Подкоманная площадь, тыс. га	Расход воды в головной части, м³/сек	Протяженность магистрального канала и ветки, км
Ташсака	УзССР и ТуркмССР в том числе	269,8	276,5	34,0
	УзССР	190,5	—	34,0
Палван-Газават (магистральная ветка)	УзССР и ТуркмССР в том числе	64,6	72,6	33,0
	УзССР	34,6	—	33,0
Шават (маги- стральная ветка)	УзССР и ТуркмССР в том числе	88,7	101,3	91,0
	УзССР	19,4	—	78,0
Ургенчарна	УзССР Ургенчский район	8,0	11,0	9,7
Октябрьарна	{ Ургенчский район (75%) Гурленский район (25%) }	11,7	—	17,3
Клычниязбай	УзССР и ТуркмССР в том числе	77,5	90,0	60,0
	УзССР	32,5	—	—
Гурленская ветка (магистральная)	УзССР, Гурленский район	52,7	33,0	27,5

магистральной сети этой системы. Магистраль и ветки отдают воду в распределители данной системы. Головные части отводов ошлюзованы.

Потери и к. п. д. магистралей и ветвей могут быть определены методом гидрометрического баланса по формуле

$$S = Q_{\text{гол}} - (\Sigma Q_p + Q_{\text{кон}}),$$

где S — потери на балансовом участке;

$Q_{\text{гол}}$ — головной расход канала в голове балансового участка);

ΣQ_p — сумма расходов распределителей;

$Q_{\text{кон}}$ — концевой расход канала (в конце балансового участка).

Балансовыми участками при этом являются:

1) голова Ташсака — узел 34 км;

2) голова Палван-Газаватской ветки (34 км);

3) участок от 67-го км до границы Туркм. ССР;

4) голова Шавата (34 км) до 47-го км;

5) участок от 42-го до 47-го км (Шават);

6) участок от 42-го до 78-го км (Шават).

В 1950—1960 гг. службой эксплуатации Упрадика¹ собраны данные о фактических потерях по балансовым участкам магистральной сети в декадном разрезе (для основной части вегетационного периода).

¹ Управление амударьинских ирригационных каналов.

На каждом из этих участков осуществляется разбор воды, учитываемый не только распределительной сетью, но и множеством (десятками на каждом участке) насосных установок, подающих воду в сеть отдельных колхозов.

Учесть разбор, в сумме достигающий 10—40 м³/сек в разные периоды, не представляется возможным. Кроме того, отдельные водопользователи рассчитывают на него, как на дополнительный лимит. В общем же распределении расходов магистральной сети разбор представляет собой дополнительные потери, которые складываются в русле на данном участке с фильтрационными, вследствие чего потери возрастают в 5—9 раз. Так, например, на участке магистрального канала Ташсака это обстоятельство вызывает колебания величины потеряннного (по методу баланса) расхода от 1 ÷ 2 до 9 ÷ 12 м³/сек, что, в свою очередь, определяет пульсирующую величину значений к. п. д. рассматриваемого участка магистральной сети.

Анализ эксплуатационных материалов дает величины максимального ($\eta_{\text{макс}}$) и минимального ($\eta_{\text{миним}}$) значений коэффициент полезного действия этих участков, приведенные в табл. 2.

Максимальные значения к. п. д. зафиксированы в период второй-третьей декады мая 1963 г., когда потери в русле на отдельном участке определялись собственно фильтрационными потерями. В остальные периоды потери на участке резко возрастали, так как шел интенсивный разбор воды насосными установками. Резко снижается и имеет минимальное выражение к. п. д. как каждого отдельного участка магистральной сети, так и всей магистральной сети (см. табл. 2).

Для проверки этого положения в 1961 г. во второй декаде мая по специальной программе были проведены исследования по выявлению потерь воды на всех основных балансовых участках магистралей Ташсакинской системы. Гидрометрические замеры были выполнены линейным эксплуатационным штатом Упрадика. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Единовременные замеры в 1961 г. выполнялись в период, когда забор насосными установками был минимальным, поэтому установленные потери отражали фильтрационные потери на соответствующих участках магистральной сети.

Анализ названных выше материалов по учету фактических потерь в магистральных каналах Ташсакинской системы позволяет сделать некоторые выводы.

1. Собственно фильтрационные потери в магистральной сети Ташсакинской системы (основной ирригационной системе Хорезма) малы. Это объясняется тем, что относительно слабо фильтрующие грунты в русле канала и процессы естественного кольматажа, подпор фильтрационного потока грунтовыми водами, дополнительно сокращающие потери, делают эти потери низкими и сверхнизкими.

Таблица 2

Балансовые участки магистральной сети Ташсакинской системы	К. п. д. балансового участка	
	максимум	минимум
1*	99,4	93,0
2	97,5	87,0
3	99,2	89,0
4	98,5	89,2
5	97,9	88,6
6	98,6	84,2

* Описание см. в табл. 1.

Таблица 3

Балансовый участок магистральной сети	Головной расход $Q_{\text{гол.}}$	Потери на участке	К. п. д. балансового участка
	$\text{м}^3/\text{сек}$		
Голова канала Ташсака, ПК 305	185,48	4,164	0,977*
Палван-Газаватская ветка (34—67-й км)	43,15	3,097	0,928**
Палван-Газаватская ветка (67-й км). Граница ТуркмССР	20,84	1,17	0,944
Шаватская ветка (62—78-й км)	62,27	1,81	0,971

Полевые исследования позволяют считать, что наиболее подходящей формулой для определения потерь будет

$$\sigma = \frac{0,85 + 1,25}{Q \cdot 0,5}, \% \text{ на } 1 \text{ км.}$$

Следовательно, для полученных расходов они составляют ($\text{м}^3/\text{сек}$):

Q	Потери,
150—200	0,08—0,05
100—150	0,12—0,08
50—100	0,16—0,12
10—50	0,28—0,12

2. Однако процесс разбора воды из магистрального звена множеством (десятки, сотни) насосных установок резко увеличивает потери расхода, находящегося в распределении. Средние потери на 1 км возрастают в 5—8—10 раз. Приведенные выше соображения и результаты наблюдений позволяют прийти к определенным значениям к. п. д. магистрального звена системы Ташсака:

Максимальное значение к. п. д.	Месяц	Минимальное значение к. п. д.***	Месяц
$\eta_{\text{макс}}$		$\eta_{\text{миним}}$	
0,91—0,90	V	0,80—0,82	IV
0,84—0,88	VIII	0,83—0,85	VIII

Аналогичными методами установлены значения к. п. д. магистральной сети и остальных систем, имеющих на территории Хорезмской области (табл. 4).

* Насосные установки не работали.

** Работало 9 насосов.

*** Минимальные значения определяются периодом интенсивного разбора насосами.

Таблица 4

Система	Максимальный головной рас- ход $Q_{\text{макс}}$, $\text{м}^3/\text{сек}$	К. п. д. магистрали	
		максимум	минимум
Питнякарна	4—5	0,96	0,92
Ургенчарна	8—10	0,95	0,89
Октябрьарна	10—14	0,95	0,88—0,90
Клычниязбай	80—90	0,95	0,87—0,90

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Все ирригационные системы Хорезмской области имеют межхозяйственную распределительную сеть, которая наряду с очень крупными распределителями (Р-5, Р-9, Куловат, Зейяб) с пропускной способностью на 10—15—20 $\text{м}^3/\text{сек}$, представлена расходами 0,50—1,00—2,00 $\text{м}^3/\text{сек}$.

Анализ материалов по изучению фактических потерь в этом звене систем Хорезмской области убеждает в том, что по размерам фильтрационных потерь эти каналы однотипны. За редким исключением, они имеют русло, проложенное в суглинистых грунтах, фильтрующая способность которых нивелируется явлениями кольматации.

В связи с тем что после перевода систем Хорезма на самотек русла этих каналов были заилены слоем в 0,5—0,75 м, сейчас этот слой продолжает влиять на размеры потерь, резко их сокращая. В описанной обстановке размеры фильтрационных потерь в межхозяйственных распределителях наиболее верно находятся по формулам:

$$\sigma = \frac{0,90}{Q^{0,5}}, \% \text{ на } 1 \text{ км}$$

для крупных распределителей и

$$\sigma = \frac{1,50}{Q^{0,5}}, \% \text{ на } 1 \text{ ем}$$

для мелких.

При определенных расходах они равны

Q , $\text{м}^3/\text{сек}$	σ , % на 1 км
5—10	0,45—0,30
3—5	0,60—0,45
1—3	1,50—0,60
0,5—1,0	2,20—1,50

Все эти каналы в настоящее время имеют значительные дополнительные потери в связи с неплановым забором из них воды самотечными салмами ($Q = 0,015 \div 0,100 \text{ м}^3/\text{сек}$) и насосными установками. Общие потери этого звена также резко (в 3—6 раз) превышают собственно фильтрационные потери.

В течение вегетационного периода к. п. д. межхозяйственных распределителей имеют ясно выраженные максимальные и минимальные

значения. Они совпадают по времени с таковыми же значениями магистральной сети (табл. 5).

Основной путь повышения к. п. д. этого звена систем состоит в полном предотвращении расхищения воды неучитываемыми салмами и насосными установками; ошлюзовании и армировании водомерными устройствами точек водозабора из каждого межхозяйственного распределителя.

Таблица 5

Характер межхозяйственных распределителей	Расход, м ³ /сек	К. п. д. канала	
		максимум	минимум
Крупные	5—20	0,85—0,90	0,77—0,82
Мелкие	1—3	0,82—0,87	0,72—0,80

В принципиальной схеме переустройства межхозяйственной распределительной сети излагается система предложений по реконструкции трасс каналов этой сети (спрямление, переключение и т. п.). Однако плановая схема этого звена систем не получает сколько-нибудь существенных изменений.

ФАКТИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕРЬ ВОДЫ К. П. Д. ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В условиях непереустроенных внутрихозяйственных систем территории Хорезмской области УзССР элементы внутрихозяйственной сети, теряющие воду, можно подразделить следующим образом.

1. **Хозяйственные распределители** (хозяйственные отводы) с расходом 0,8—0,2 м³/сек. Более крупные хозяйственные отводы — явление редкое.

2. **Внутрихозяйственные распределители** постоянного типа с расходом 0,05—0,2 м³/сек.

3. **Временные оросители** с расходом 0,03—0,08 м³/сек.

4. **Выводные борозды** (ок-арыки) с расходом 0,015—0,030 м³/сек.

5. **Поливные борозды** с расходом 0,05—1 л/сек.

В перечне элементов, обычно встречающихся в составе внутрихозяйственной сети, каналы, относящиеся к 1-му и 2-му типу, являются постоянными, а каналы типа 3, 4 и 5 — временными.

На основании полевого опыта установлено, что поливные борозды тоже теряют воду на глубокую инфильтрацию, и именно эти потери в основном формируют „фильтрационный бугор“ на площади поливного участка.

В процессе производственных эксплуатационных исследований¹ в колхозах Хорезмской области (1960—1962 гг.) фактические потери воды во внутрихозяйственной системе мы определяли тремя методами.

Первый метод состоял в том, что мы выбрали типовые участки названных каналов. Верхний и нижний их створы опостовали водоучитывающей аппаратурой (водосливы) и по показаниям водосливов установили потери по зависимостям

$$Q_{\text{отр. кан}} = Q_{\text{в}} - Q_{\text{н}}, \quad (1)$$

$$S_0 = \frac{S_{0 \cdot \text{к}}}{L_{\text{к}}} = \frac{Q_{\text{в}} - Q_{\text{н}}}{L_{\text{к}}}, \quad (2)$$

¹ Эти исследования проведены сотрудниками ТИИИМСХ и Хорезмским управлением оросительных систем.

где S_0 — потери воды на 1 км длины канала;

$Q_{0.к}$ — потери на опорном участке канала, $м^3/сек$ или $л/сек$;

L_k — длина опытного участка, км.

На основании значений S_0 установлены величины потерь воды (%) по формуле зависимости

$$\sigma = \frac{S_0}{Q_n} \cdot 100\%.$$

Для выяснения динамичности значений S и S_0 на опытных участках посредством снятия систематических показаний водосливов в течение нескольких суток (T_T) были определены величины

$$S_{от} = \frac{\sum (Q_n t - Q_{нt})}{T L_k};$$

здесь t — продолжительность периода между очередными замерами на постоянно действующем канале (обычно $t = 6 \div 8$ час.);

T — весь период наблюдений (5—6 суток).

Отсюда

$$\sigma_t = \frac{S_{от}}{Q_n} \cdot 100\%.$$

При $S_{от} = (0,8 \div 1,2) \cdot S_0$ и $\sigma_T = (0,8 \div 1,2) \sigma$ канал признавался каналом с устойчивой фильтрацией. Зная удельную протяженность (пог. м/га) каналов соответствующих типов в составе внутрихозяйственной системы, имеем

$$\sigma_{T1} = \frac{\sigma_T}{1000} \cdot l,$$

где σ_T — среднее значение (%) потерь для каналов определенного типа в расчете на 1 км;

σ_T — то же в расчете на удельную протяженность каналов определенного типа;

l — удельная протяженность для каналов определенного типа, пог. м/га.

По аналогичным выражениям можно вычислить процентное значение потерь для каналов всех типов, входящих в состав внутрихозяйственной сети.

От процентного выражения потерь воды возможно сделать переход к объемному и получить значения $S'_{от} T$. На основании этих значений в привязке к периоду работы каналов соответствующих типов могут быть получены значения объемов воды, потерянной этими каналами.

Суммарная величина потерь $\sum S'_{от} T$, отнесенная к стоку за весь оросительный период на 1 га и выраженная в процентах, дает возможность определить потери в системе, т. е.

$$\Delta = \frac{\sum S'_{от} \cdot T}{\dots} \cdot 100\%.$$

Коэффициент полезного действия системы будет равен

$$\eta_c = 100 - \Delta.$$

Второй метод заключался в том, что в пределах отдельного хозяйства выделялась площадь бригадного участка, орошение ко-

торой было связано с работой элементов внутрихозяйственной системы.

Систематически фиксируя сток на посту (постах), учитывающем поступление, и там же фиксируя сброс, устанавливали объем воды, израсходованной на орошение.

Если известны площадь орошения в пределах бригадного участка и поливные нормы за определенный период, то можно получить значение того объема воды, который был использован полезно.

Обозначив W_n — объем полезного стока, поступившего на бригадный участок;

W_ϕ — объем фактического стока за определенный период,

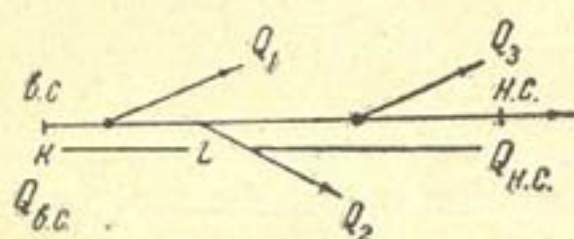
получим

$$\eta_{бр.с} = \frac{W_n}{W_\phi}.$$

Когда потери, связанные с работой хозяйственного отвода, не учитываются и установлено, что к. п. д. этого канала будет $\eta_{х.о.}$, то к. п. д. системы каналов внутрихозяйственной сети равен

$$\eta_{х.о} = \eta_{бр.с} \cdot \eta_{х.о}.$$

Третий метод состоял в том, что фактические потери в каналах постоянного типа и непрерывного действия были установлены прямыми замерами по постам (рисунок):



$$S = Q_{в.с.} - Q_{н.с.} - \Sigma Q_{отв.},$$

$$\sigma = \frac{S}{L Q_{в.о.}} \cdot 100,$$

$$\eta_{к} = 100 - \sigma L;$$

здесь L — работающая длина канала во время распределения воды.

Таким методом могут быть определены фактические потери и к. п. д. соответствующих каналов — хозяйственных отводов, внутрихозяйственных распределителей, подающих воду к границе поливного участка.

Из отношения плановой нормы к фактической складывается к. п. д. полива:

$$\eta_{пол} = \frac{m_o}{m_\phi}.$$

По этому к. п. д. учитывают потери во всей совокупности каналов временной сети (ороситель, выводная борозда, поливная борозда). Определенный таким образом к. п. д. внутрихозяйственной системы будет равен

$$\eta_{х.с} = \eta_{х.о} \cdot \eta_{х.р} \cdot \eta_{пол},$$

где $\eta_{х.о}$ — к. п. д. хозяйственного отвода;

$\eta_{х.р}$ — то же хозяйственного распределителя;

$\eta_{пол}$ — то же полива (поливного участка).

Потери, наблюдаемые во внутрихозяйственной системе, составляются из потерь на фильтрацию за пределы активного слоя; на сбросы (внутренние и внешние) и на испарение из каналов.

Ввиду того, что процесс распределения поступивших в хозяйство расходов крайне динамичен в условиях внутрихозяйственной сети, не имеющей четкой схемы и определенного плана внутрихозяйственного водораспределения и водопользования, естественно, значения к. п. д. такой системы сильно изменяются за короткие отрезки времени.

Динамика значений к. п. д. определяется сильно изменяющейся величиной потерь из каналов временной сети, работающих при поливе, и наличными сбросами, возникающими или отсутствующими при распределении и поливе.

Поэтому потери, выявленные благодаря учету расходов по тому или иному элементу такой системы, отражают отдельный эпизод в работе хозяйственной сети и не дают основания для суждения о ее к. п. д.

При изучении фактических потерь в каналах внутрихозяйственной сети, как постоянных, так и временных, требуется обязательно выявить динамику значений потерь во времени и причины этой динамики.

В табл. 6 даны результаты исследования фактических потерь воды в постоянных и временных каналах внутрихозяйственной сети и параметры этой сети, позволяющие вычислить к. п. д. всей системы.

При реальной структуре внутрихозяйственной сети, в состав которой обычно входит хозяйственный отвод, внутрихозяйственный распределитель, временный ороситель, выводная борозда, поливная борозда, суммарная величина потерь, выраженная в форме потерянного стока в расчете на 1 га, составит

$$\Delta W = 3200 - 6000 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Оросительная норма за последние 6 лет (1956 — 1961 гг.) по Хорезмской области выражается данными, приведенными в табл. 7.

Таблица 7

Год	Фактическая орошаемая площадь, тыс. га,	Суммарная подача воды						Оросительная норма	
		брутто							
		из точек орошения в системы			в точки выдела хозяйствам			из источников в систему	
		плано- вая	фактиче- ская	%	плано- вая	факти- ческая	%	плано- вая	фактиче- ская
		млн. м³			млн. м³			м³/га	
1956	151,7	2180	2341,6	108	1711	1570	92	—	15 400
1957	154,2	2276	2305,8	102	1728	1711	99	—	15 000
1958	149,8	2176	2375,0	109	1666	1938	116	—	15 800
1959	154,0	2095	2313,7	111	—	—	—	—	15 100
1960	154,6	2058	2415,6	118	—	—	—	—	15 600
1961	153,5	2269	2534	112	—	—	—	—	16 500
В среднем за 6 лет	—	—	—	—	—	—	—	—	15 500

Средние значения за этот срок составили:

а) оросительная норма „брутто“, отнесенная к водозаборному узлу — 15 500 м³/га;

б) оросительная норма „брутто“, отнесенная к точкам выдела хозяйством — 11 500 — 11 000 м³/га;

в) поступило на поливные участки 8500 — 7500 м³/га;

г) потери на глубинную инфильтрацию во временной оросительной сети равны 2500 — 3000 $\text{м}^3/\text{га}$.

Кроме потерь на глубинную инфильтрацию в процессе полива, как правило, наблюдаются сбросы в связи с плохим управлением поливами и неудовлетворительно подобранными элементами техники полива. Величины этих потерь за оросительный сезон в расчете на 1 га составляют 800—2000 $\text{м}^3/\text{га}$.

Разрыв в обработках и поливах создает дополнительные потери на поля, выражающиеся в интенсивном расходе влаги на испарение почвой, не получившей рыхления верхнего слоя. Наблюдения и расчеты показывают, что в среднем за оросительный сезон этот вид потерь достигает 1000 — 2000 $\text{м}^3/\text{га}$.

Из общего количества воды 8,5 — 7,5 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, поступившей на поливной участок, около 3000—4000 $\text{м}^3/\text{га}$ составляют потери, связанные с недостатками полива и обработки поливных участков.

Из сказанного выше следует, что в элементах внутрихозяйственной сети фактическую величину потерь надо определять по методам, которые позволяют выявить стоки, прошедшие по элементам этой сети, и выделить те части стоков, которые составили глубинную инфильтрацию, сбросы, потери на испарение почвой (при отсутствии рыхления поверхности).

Однако, как при фактически наблюдаемых потерях более или менее точно выразить к. п. д. систем внутрихозяйственных каналов? Известно, что к. п. д. системы каналов можно записать в виде

$$\eta_c = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3,$$

где η_1 , η_2 , η_3 — к. п. д. отдельных каналов, составляющих систему.

Очевидно, для характеристики к. п. д. внутрихозяйственной системы следовало бы использовать выражение

$$\eta_{\text{в. с}} = \eta_{\text{х. р}} \cdot \eta_{\text{у. р}} \cdot \eta_{\text{в. о}};$$

здесь $\eta_{\text{х. р}}$, $\eta_{\text{у. р}}$, $\eta_{\text{в. о}}$ — множители к. п. д. каналов, входящих в состав внутрихозяйственной системы.

Но какие значения к. п. д. отдельных каналов поставить в эту зависимость, если в реально действующей системе имеется множество элементов одного порядка, к. п. д. которых имеют существенно различные значения?

Действительно, для внутрихозяйственных систем Хорезмской области, не получивших инженерного переустройства, типичным является положение, когда состояние, габариты, протяженность, условия работы таких элементов настолько различны, что, используя в приведенном уравнении значения к. п. д., снятые с отдельных каналов, можно получить $\eta_{\text{сх. с}}$ от 0,38 до 0,80. В результате прямых замеров с помощью водосливов А. И. Иванова и учета расхода вертушкой (на более крупных каналах) получены значения к. п. д. каналов разного типа (табл. 8).

При полевых исследованиях условий работы и размеров потерь воды в каналах внутрихозяйственной сети неизменно обнаруживали изменение во времени величины потерь, а следовательно, к. п. д. канала. Динамика к. п. д. работающих каналов обуславливалась некоторыми обстоятельствами.

Для хозяйственных отводов и внутрихозяйственных распределителей, действующих продолжительный период и имеющих более или менее установившиеся фильтрационные потери, динамика значений к. п. д. (от $\eta_{\text{миним}}$ до $\eta_{\text{макс}}$) связана с большими или меньшими потерями воды при распределении ее в связи с утечками через перемычки и

Таблица 8

Канал внутри- хозяйственного значения	Рабочий расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Период работы в течение ороситель- ного сезо- на, сутки	К. п. д. канала		
			$\eta_{\text{миним.}}$	$\eta_{\text{макс}}$	$\eta_{\text{средн}}$
Хозяйственный отвод	0,400—0,800	150	0,75—0,80	0,40—0,42	0,85—0,87
Мелкие вну- трихозяйст- венные рас- пределители	0,200—0,400	150	—	—	—
Участковые распресси- тели	0,050—0,100	50	0,75—0,77	0,88—0,90	0,82—0,85
Временные оро- сители	0,030—0,080	30—40	0,76—0,80	0,92—0,96	0,85—0,89
Мельчайшая сеть (вывод- ные и полив- ные борозды)	0,015—0,030 0,05—1,0 л/сек	10—20 1—2	— 0,80—0,85	— 0,88—0,94	— 0,87—0,90

забором в отводы, не предусмотренные водоснабжением в данный период. Известное значение играют потери, вызванные более или менее удовлетворительным состоянием дамб (размеры, плотность тела, макропоры, созданные землероями).

Так как в настоящее время техническое состояние каналов внутрихозяйственной сети и организация внутрихозяйственного распределения находятся на низком уровне, влияние этих факторов в отдельные периоды резко снижает к. п. д. каналов, и они достигают максимальных значений, меньших на 20 — 50%.

Установлено, что если $\eta_{\text{макс}}$ для исследованных каналов составляет 0,90 — 0,92 то $\eta_{\text{миним}}$ будет равно 0,75 — 0,80. Динамика к. п. д. участковых распределителей и временных оросителей в гораздо меньшей степени определяется названными факторами, но в то же время она очень значительна, и изменения к. п. д. в этом случае обуславливаются динамикой потерь в связи с тем, что первый период работы каналов происходит в условиях ненасыщенных почво-грунтов и потери воды зависят от скорости ее впитывания. После первых 20 — 24 час. работы канала грунт обретает полное насыщение, и дальнейшее поглощение воды грунтом зависит от скорости фильтрации.

Однако, если непрерывная работа этих каналов ограничена во времени периодом от нескольких часов до нескольких дней (после чего следует значительный перерыв), то исчисление к. п. д. заставляет учитывать потери, происходившие в период неустановившейся фильтрации в ненасыщенный грунт. Коэффициент полезного действия участковых распределителей варьирует от 0,76 до 0,90, причем $\eta_{\text{миним}}$ отвечает более короткому, а $\eta_{\text{макс}}$ более длинному периоду работы (обстоятельство, которое надо иметь в виду при определении размеров поливного участка и поля севооборота, получающих воду на полив из участкового распределителя).

Коэффициент полезного действия временных оросителей составляет 0,78 — 0,94. Здесь низкие значения к. п. д. отвечают, наоборот, неоправданно продолжительной работе этого звена сети, что является следствием несогласованности расходов временного оросителя вы-

водных борозд (ок-арыков) и неудовлетворительной организации полива.

Потери в мельчайшей оросительной сети (выводные и поливные борозды) обуславливаются неудовлетворительно выбранными элементами техники полива и недостатками планировки поверхности поливных участков, в результате чего происходит весьма неодинаковое увлажнение разных участков поливной борозды. Определено, что в пределах борозды длиной 100—1500 м различие в увлажнении таково, что в расчете на поливную норму оно варьирует от 500 до 2000 м³/га. Разное увлажнение сопровождается явлениями капиллярного сброса и значительным подъемом грунтовых вод.

Расчетами установлено, что потери воды (понимая под ними инфильтрацию в подстилающие слои с учетом известного мелиоративного эффекта, выражающегося в создании слоя пресной воды) в элементах мельчайшей сети составляют от 8—10 до 16—22% стока, поступившего на границу хозяйства.

Таким образом, суммарные потери во всех элементах внутрихозяйственной сети равны 35—60% от забора в головной части хозяйственных отводов, т. е. к. п. д. внутрихозяйственных систем Хорезмской области составляет $\eta_{\text{вх. с}} = 0,40 \div 0,65$.

Показатель к.и.в. при отмеченных выше недостатках и условностях в определении параметров (нормы, политые площади), с которыми связаны в отчетных документах его количественные значения, не имеет какой-либо технико-экономической ценности.

Удобный (для эксплуатационного штата) контрольный показатель эффективного использования воды в хозяйстве можно вывести лишь тогда, когда будет организован точный и оперативный учет поливов и фактических поливных норм в хозяйствах.

Основной вывод, сделанный при исследовании фактических потерь во внутрихозяйственных каналах колхозов Хорезмской области, заключается в том, что фактические потери воды в системе этих каналов выше, а к. п. д. соответственно ниже тех, которые принимают при составлении планов водопользования. Вследствие этого хозяйство стремится покрыть свои потребности путем забора через дополнительные „салмы“ (самотечные и машинные из межхозяйственных распределителей), что, в свою очередь, вызывает дезорганизацию водораспределения между хозяйствами.

Анализ природы потерь воды говорит о том, что если каналы внутрихозяйственной сети будут содержаться в удовлетворительном техническом состоянии, а распределение „колхозно-совхозных лимитов“ будет рациональным (без ненужного распыления расходов) в условиях средне- и слабо-водопроницаемых хорезмских грунтов, то при близком залегании грунтовых вод потери на фильтрацию будут низкими и очень низкими.

Потери на поле при правильно выбранных элементах техники и организации полива не должны быть больше 5%. Отсюда к. п. д. отдельных элементов представляются в виде следующих значений:

Канал	Рабочая длина, км	К. п. д.
Хозяйственный отвод	4—7	0,97—0,93
Внутрихозяйственный распределитель	2—4	0,96—0,92
Учетно распределительный	1,0—1,5	0,98—0,97
Временный ороситель	0,5—0,8	0,99—0,97
К. п. д. полива	Участок 10—15 га	0,97—0,95

При организации внутрихозяйственного водораспределения на принципах межбригадного водооборота к. п. д. работающих элементов и всей системы возможно поддерживать практически на одном уровне в течение оросительного сезона.

Коэффициент полезного действия внутрихозяйственной системы с каналами в земляных руслах при бороздковых поливах может выдерживаться на уровне

$$\eta_{\text{вх. с}} = 0,82 \div 0,87.$$

На основании изложенного можно составить представление о к. п. д. отдельных самостоятельных ирригационных систем Хорезмской области.

Табл. 9 позволяет сделать вывод, что к. п. д. ирригационных систем Хорезмской области составляет 0,47—0,50 для периода максимальных значений и 0,35—0,40 для периода минимальных.

Таблица 9

Ирригационная система	К. п. д. отдельных звеньев системы						К. п. д. всей системы, макс. миним.
	магистральный канал		межхозяйственная распределительная сеть		внутрихозяйственная система (сеть постоянных каналов)		
	макс. $\eta_{\text{м. к}}$	миним. $\eta_{\text{м. к}}$	макс. $\eta_{\text{р}}$	миним. $\eta_{\text{р}}$	макс. $\eta_{\text{вх. с}}$	миним. $\eta_{\text{вх. с}}$	
Питнякарна	0,96	0,92	0,84	0,82	0,58	0,52	$\frac{0,47}{0,39}$
Ташсака	0,92	0,81	0,87	0,80	0,60	0,54	$\frac{0,48}{0,35}$
Ургенчарна	0,95	0,89	0,85	0,78	0,57	0,50	$\frac{0,46}{0,35}$
Октябрьарна	0,95	0,89	0,85	0,78	0,57	0,50	$\frac{0,47}{0,35}$
Клычниязбай	0,95	0,88	0,87	0,82	0,60	5,52	$\frac{0,50}{0,40}$

Коэффициенты полезного действия магистральной сети и межхозяйственных распределителей примерно отвечают имеющимся представлениям и тем значениям, которые вводятся в планы водопользования. Эти же коэффициенты внутрихозяйственной системы, фигурирующие в планах, значительно выше фактически наблюдающихся к. п. д.

Данные расхождения не проявляются только потому, что в условиях Хорезма растения удовлетворяют свои потребности частично за счет „потерянных в сети“ вод и позволяют сократить фактическую оросительную норму.

В заключение обратим внимание на то, что проектные организации (Средазгипроводхоз), составляя „Схему развития орошения в низовьях р. Аму-Дарьи“ на основании решений, принятых на ведомственных совещаниях и вошедших в утвержденные проекты, определяют максимальные и минимальные значения к. п. д. для системы Тюямуюн (табл. 10).

В этой таблице к. п. д. систем определены в результате специальных обсуждений на технических совещаниях в Хорезмском и Таша-

узском ОблУОС. На 1970 г. к. п. д. по Хорезмской и Ташаузской областям принят при снижении на 5% расходов водопотребления при существующем к. п. д. Такое уменьшение расходов будет обеспечено вследствие технического улучшения состояния систем.

Т а б л и ц а 10

Этапы освоения, годы	Административное деление	Месяц	
		VII	III
1960	Хорезмская	0,60	0,46
	Ташаузская	0,50	0,38
	КК АССР	—	—
1960—1970	Хорезмская	0,63	0,49
	Ташаузская	0,53	0,38
	КК АССР	0,59	0,44
1970—1980	Хорезмская	0,68	0,55
	Ташаузская	0,62	0,45
	КК АССР	0,62	0,62

Этот прирост значений к. п. д. и соответственное сокращение расходов согласованы с МВХ УзССР („Проектные задания переустройства головного забора систем Ташсакинского канала с подпитыванием из Тюямуюнского канала—Узгипроводхоз“, 1958 г.).

На 1970 и другие гг. к. п. д. для Госплана УзССР разработаны проектной группой хорезмских объектов института Средазгипроводхоза.

Для водохозяйственных расчетов приведенные значения к. п. д. ирригационных систем Узгипроводхозом введены в 1963 г. в „Схему развития орошения в низовьях реки Аму-Дарьи“. Очевидно, что они нуждаются в некоторой доработке на основе изложенных выше положений и результатов.

Н. М. РЕШЕТКИНА

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА НА ПРИМЕРЕ СТАРОЙ ЗОНЫ ОРОШЕНИЯ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Проектирование вертикального дренажа на крупных орошаемых массивах в аридной зоне, где главной его задачей является рассоление земель уже засоленных или предотвращение вторичного засоления на незасоленных, вновь осваиваемых землях и создание затем оптимального водно-солевого баланса на орошаемых землях, — это сложное комплексное исследование, специфическое для каждого массива, характеризующегося своими природными особенностями.

Вертикальный дренаж на орошаемых землях представляет собой один из элементов инженерно-мелиоративного и агротехнического комплекса, необходимого для создания на данной территории оптимального мелиоративного режима, обеспечивающего получение наивысших урожаев сельскохозяйственных культур при наименьших затратах воды и труда. В состав этого комплекса входит ирригационная сеть, планировка полей, промывка (если это надо), дренаж, техника и режим орошения, севообороты, система обработок и удобрений почв и другие агротехнические приемы.

В зависимости от природных условий объекта, а также от того, какой мелиоративный режим в дальнейшем мы хотели бы получить на орошаемом массиве, в соответствии с техническими возможностями и экономической целесообразностью проектируется тот или иной *комплекс инженерно-мелиоративных сооружений*, в котором дренаж является неразрывным органическим звеном, самым непосредственным образом связанным со всеми остальными звеньями системы инженерно-мелиоративных устройств.

Правильное сочетание орошения и дренирования земель — это основное условие для исправления неблагоприятного природного водно-солевого баланса земель аридной зоны. Поэтому любой дренаж, в том числе и вертикальный, должен быть запроектирован в точном соответствии с намеченным полным инженерным комплексом, а последний соответствовать желаемому мелиоративному режиму в данных природных условиях. Нарушение любого из звеньев этого комплекса приводит к расстройству сложного и тонкого аппарата регулирования водно-солевого баланса орошаемых земель, что в свою очередь в условиях аридной зоны ведет к проявлениям процессов вторичного засоления земель в той или иной степени.

Проектирование любого дренажа на орошаемых землях, включая и вертикальный, должно

1) проводиться в комплексе со всеми остальными звеньями системы регулирования водно-солевого баланса орошаемых земель;

2) базироваться на анализе водно-солевого баланса (существующего) и выборе проектного мелиоративного режима, определяющего в данных природных условиях оптимальное направление почвообразовательного процесса, положение и минерализацию грунтовых вод и, следовательно, новый проектный водно-солевой баланс орошаемого массива.

При установлении нижней границы расчетного слоя учитывается весь верхний ярус подземных вод, до регионального водоупора.

Таким образом, проектирование вертикального дренажа на орошаемых землях представляет собой сложное комплексное исследование, связанное с всесторонним изучением природы объекта и потому индивидуальное для каждого массива. В качестве основного метода исследований на данном этапе мы выдвигаем „метод встречных анализов“, представляющий собой сочетание (в определенном порядке и последовательности) приемов естественноисторического анализа с инженерными водохозяйственными расчетами (см. схему). Порядок проектирования предлагается следующий:

1) установление гидрогеологической и ирригационно-хозяйственной схемы расчета;

2) анализ элементов водного и солевого баланса;

3) выявление особенностей строения гидрогеологического бассейна, определяющих разную дренированность его отдельных частей;

4) определение начальных запасов солей на территории бассейна;

5) выбор и обоснование проектного мелиоративного режима;

6) составление проекта водного и солевого баланса и определение комплекса оптимальных инженерно-мелиоративных устройств для его поддержания. При необходимости на мелиоративный и эксплуатационный периоды проектируются два проектных баланса;

7) расчет общей мощности искусственного дренажа на основании прогнозного водно-солевого баланса;

8) районирование территории по необходимому дренажному модулю, в соответствии с чем назначается густота дренажа;

9) выделение районов по литологическому строению, обуславливающих конструкцию и дебиты колодцев;

10) размещение колодцев в плане;

11) проверка дренированности по отдельным районам и составление прогнозного солевого баланса (суммарный и для покровного суглинка).

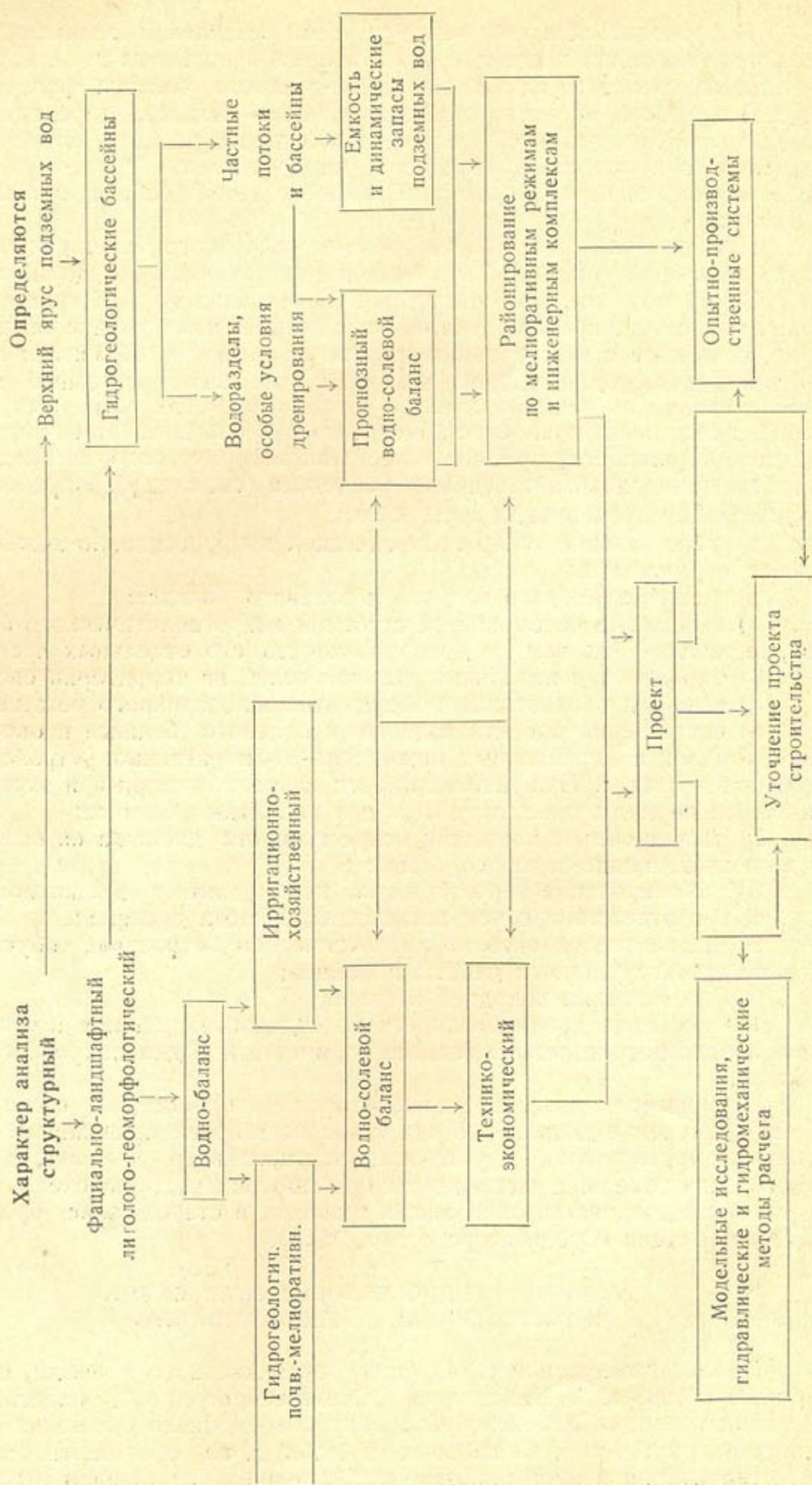
На примере зоны современного орошения Голодной степи покажем применение данного метода к вопросам проектирования мелиоративных мероприятий, в частности вертикального дренажа, в целях рассоления земель, и одновременно рассмотрим краткую схему размещения (внедрения) вертикального дренажа в старой зоне орошения Голодной степи (Средазгипроводхоз, 1963),

РАСЧЕТНАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ЕСТЕСТВЕННАЯ ДРЕНИРОВАННОСТЬ

Проект размещения (внедрения) вертикального дренажа, составленный в 1963 г. в институте „Средазгипроводхоз“, охватывает в бывших границах Узбекской ССР зону современного орошения общей площадью 210,8 тыс. га валовых и 122 тыс. га орошаемых земель. Эта территория в ирригационно-хозяйственном отношении представ-

С Х Е М А

научных основ проектирования мелиоративного комплекса
(метод встречных анализов)



Определяются

лена четырьмя орошаемыми массивами: Шурузякский (68,4 тыс. га валового и 56,7 тыс. га проектируемого орошения, в том числе 45,0 тыс. га ныне орошается); Пойменный массив (57,2 тыс. га, 38,8 тыс., 33,1 тыс. га соответственно); Сардобинский (33,7 тыс. га, 24,8 тыс., 12,3 тыс. га соответственно); Баяутский (51,5 тыс. га, 44,5 тыс., 31,6 тыс. га соответственно).

В гидрогеологическом отношении эта территория представляет собой часть крупного Голодностепского бассейна (левобережный аллювиальный бассейн II порядка), вложенного в размытые отложения континентального неогена (региональный водоупор для бассейна).

Аллювиальный бассейн простирается и за пределы рассматриваемой территории, однако последняя занимает как бы центральную его часть, где сосредоточены все естественные поступления подземных вод окружающих предгорных равнин (рис. 1, а). Бассейн сложен

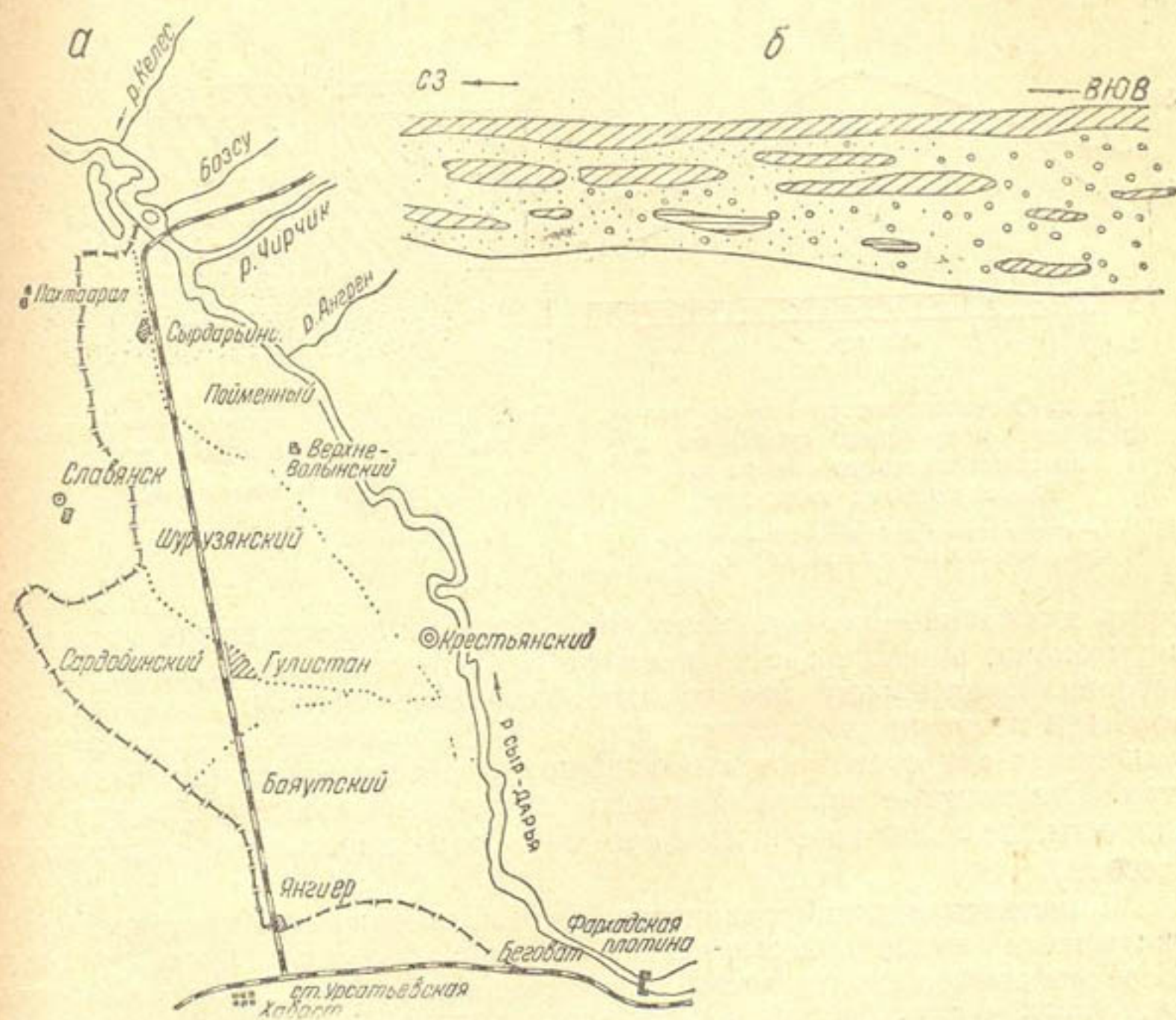


Рис. 1. Схема левобережной части Голодной степи (аллювиальный бассейн):

а — размещение основных массивов проектируемого вертикального дренажа (Пойменного, Шурузякского и Сардобинского); б — продольный гидрогеологический разрез через аллювиальный бассейн.

слоистой толщей аллювиальных песков, гравиев, галечников с прослоями и линзами суглинков, реже — глин. Общая мощность толщи уменьшается с востока на северо-запад вниз по долине от 400 м и более до 150—250 м; в этом же направлении изменяется крупность материала, галечники приурочены к верхней, восточной части, гравии — к центральной, а пески — к южной, юго-западной и северо-западной частям бассейна (см. рис. 1, б).

Основной дренирующей артерией бассейна является р. Сыр-Дарья, поэтому естественная дренированность земель очень неоднородна: наиболее хорошо дренированы части бассейна, прилегающие к современной долине реки, с удалением от нее естественная дренированность резко падает, краевые части бассейна, располагающиеся вдоль юго-западной границы бассейна (зона Центрального Голодностепского коллектора и к югу от него) практически не дренированы. Здесь скорости движения подземных вод так малы, что имеют значение главным образом в геологическом аспекте времени.

Количественно величина естественной дренированности бассейна в расходной части структуры баланса подземных вод может характеризоваться соотношением $I:C$ (I — испарение, C — сток). Она будет определяться скоростями движения подземных вод в толщах, а ско-

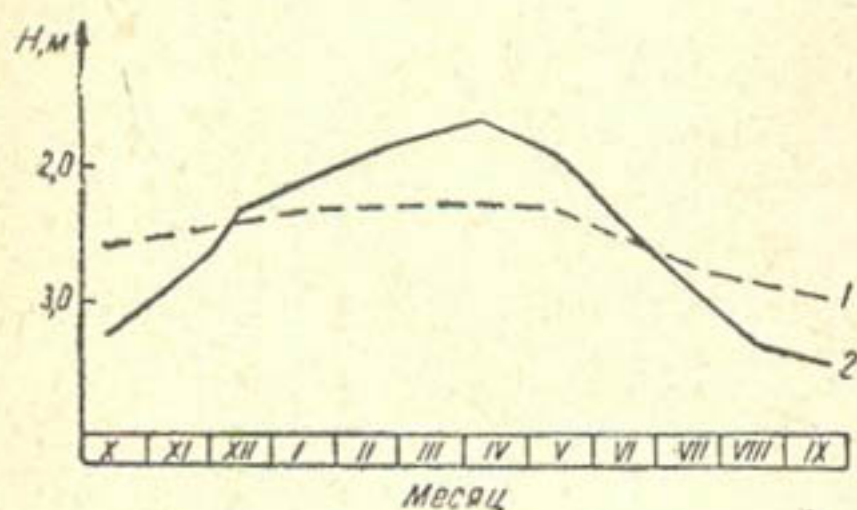


Рис. 2. Соотношения уровня грунтовых вод покровных суглинков и пьезометрического напора в подстилающих пиках:

1 — пьезометрический напор; 2 — уровень грунтовых вод; а — суглинок; б — песок.

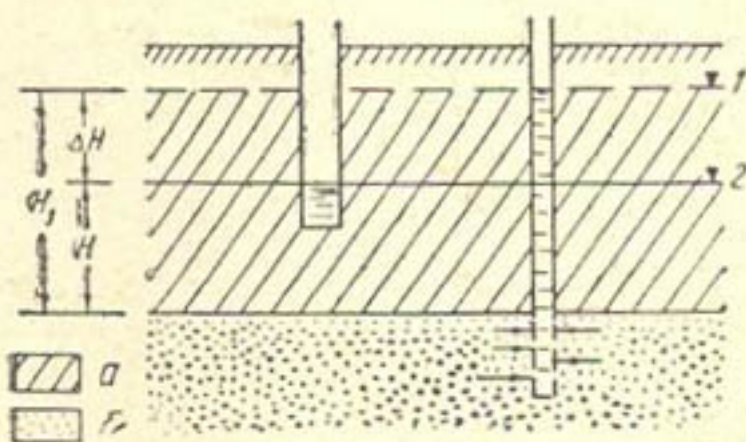


Рис. 3. Колебания уровня грунтовых вод пьезометрического напора:

1 — пьезометрический напор;
2 — уровень грунтовых вод.

рость движения — коэффициентами фильтрации водосодержащих пород и уклонами, а также расстоянием от р. Сыр-Дарьи как дренирующей артерии. Имея в виду неоднородное строение бассейна, можно без большой погрешности считать, что горизонтальные скорости движения подземных вод развиваются в основном в песчано-галечниковых пластах. Суглинистые пласты обуславливают вертикальные составляющие скорости, позволяющие в какой-то мере выравнивать напоры в толще бассейна.

Естественная дренированность бассейна выражается в распределении минерализации подземных вод в толще бассейна: пресные воды сосредоточены в центральных, прилегающих к Сыр-Дарье наиболее проточных частях бассейна, сложенных хорошо проницаемыми галечниками и гравиями или крупнозернистыми и среднезернистыми ($K_{\phi} = 20 \div 45$ м/сутки) промытыми песками. Краевые части бассейна засолены.

Упоминаемая нами дренированность бассейна подземных вод еще не характеризует дренированности земель. В связи с тем, что песчаные аллювиальные отложения повсеместно перекрыты с поверхности толщей мелкоземов, на которых формируются светлые сероземы различной степени засоленности, дренированность последних определяется

1) мощностью и водопроницаемостью покровных мелкоземов (величины, закономерно меняющиеся по площади бассейна, но практически постоянные в историческом аспекте времени);

2) соотношением между уровнем грунтовых вод и положением пьезометрического напора в подстилающем песчаном горизонте (рис. 2). Эта величина очень изменчива и по площади и во времени, изменяясь иногда значительно для одной и той же точки по сезонам года (рис. 3). Такая величина наиболее удобна для регулирования в подобных условиях дренированности верхнего слоя, непосредственно обуславливающего мелиоративную обстановку на орошаемом массиве. Регулирование величиной ΔH в желаемом направлении возможно поддержанием определенного уровня грунтовых вод посредством промывного режима орошения и понижением пьезометрического напора в подстилающих песках с помощью вертикального дренажа.

Можно утверждать, что современные запасы солей в покровных суглинках накопились под влиянием восходящего движения грунтовой воды и расходования ее на испарение.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ЗАПАСОВ СОЛЕЙ В ПОЧВО-ГРУНТАХ

Имеющийся материал и данные специальных исследований СаНИИВПиГ, проведенных под руководством автора, показывают, что в толщах покровных суглинков в процессе геологического развития ландшафта накоплены первичные запасы легкорастворимых солей, общая сумма которых составляет до 3—5 тыс. *т/вал. га*. При этом выявляется известная закономерность в распределении начальных солевых запасов по площади бассейна, тоже связанная с различной дренированностью отдельных частей бассейна.

Выявлены также особенности в распределении солей по профилю почво-грунтов: 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 (кроме верхнего—почвенного), обусловленными, видимо, этапами развития аллювиальной равнины и продолжительным (в определенные периоды) положением зеркала грунтовых вод.

В пределах второй террасы, хорошо дренированной, кроме верхнего небольшого солевого максимума на глубине 0,5—1 м, весь остальной профиль практически пресный. В Шурузякском понижении вблизи коллектора Шурузяк даже под солончаком все соли сосредоточены в верхних 2 м, но на водораздельном участке, у распределителя Шурузяк, запасы солей растянуты на верхние 4 м. В анионной части в составе легкорастворимых солей преобладают сульфаты; в катионной части доминирует кальций, однако чем далее к центру Голодной степи, тем большее значение начинает играть магний, который для ряда южных разрезов занимает такое же место, как и кальций.

Таким образом, мы видим, что одновременно с ухудшением естественной дренированности увеличиваются и первичные запасы солей в почво-грунтах и ухудшаются общие мелиоративные условия территории.

Если бы мы захотели определить срок мелиоративного периода, то надо было бы подсчитать, сколько потребовалось бы пропустить воды для того, чтобы растворить и удалить с дренажным стоком вредные соли в каждом из выделенных по запасам солей районов. При этом надо учесть, что сульфатное засоление поддается медленному выщелачиванию и требует теплого времени года.

Следует иметь в виду, что вертикальный дренаж на фоне орошения и промывок через покровную суглинистую толщу создает устойчивый нисходящий рассоляющий ток пресных вод и поэтому в первую

очередь опресняется верхний 2—3-м слой. В дальнейшем мощность опреснения постепенно возрастает с глубиной, вниз по профилю, или же на фоне работающей системы вертикального дренажа опреснение идет необратимо сверху вниз, что особенно важно для сельскохозяйственного производства.

ВОДНЫЙ И СОЛЕВОЙ БАЛАНС КАК ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Регулирование процессов рассоления почво-грунтов на орошаемых массивах связано с регулированием общего водно-солевого баланса всего бассейна и его отдельных частей. Поэтому сейчас становится общепринятым, что в основу проектирования дренажа, в том числе вертикального, на крупных орошаемых массивах должен быть положен водно-солевой баланс, анализ его составляющих, а также обоснованная разработка проектного водного и солевого балансов, из которых и должна определяться общая мощность вертикального дренажа.

Для засоленных территорий, имеющих какие-то начальные запасы вредных легкорастворимых солей (Ω) выше допустимой нормы (Ω_1), в проектных условиях необходимо обеспечить отвод этих солей с дренажной водой. Суммарный солевой баланс орошаемого массива в мелиоративный период должен быть отрицательным. Чем больше превышение выноса солей над его привносом, тем меньше продолжительность мелиоративного периода.

В практике чаще всего целесообразно выделить начальный этап мелиоративного периода, когда с помощью промывок от солей освобождаются первые верхние 1—2-м слои почво-грунтов. Обычно этого достаточно для получения урожая, если поддерживается устойчиво рассоляющий режим орошения на фоне хорошо работающей системы дренажа. Тогда продолжительность мелиоративного периода t в дальнейшем определится по формуле

$$t = \frac{(\Omega - \Omega_1)}{\Sigma U_1 M_1 - \Sigma U M},$$

где U_1 — сток дренажных вод (и естественный подземный сток, если он есть), $\text{м}^3/\text{год}$;

M_1 — минерализация дренажного стока (и естественного подземного стока в случае наличия последней), $\text{кг}/\text{м}^3$;

U — суммарное поступление оросительных вод за год, м^3 ;

M — минерализация оросительных вод, $\text{кг}/\text{м}^3$.

После рассоления, когда будет достигнуто условие $\Omega_1 = \Omega$, дренаж должен обеспечить поддержание оптимального водно-солевого баланса, для чего необходимо соблюдение соотношения

$$\Sigma U M \approx \Sigma U_1 M_1,$$

Метод сравнительных исследований структуры водного и вместе с ним солевого баланса для характерных ландшафтов показывает, что мелиоративное состояние земель, в частности развитие процессов засоления почво-грунтов и грунтовых вод, тесно связывается с определенной структурой расходной части водного баланса, а вместе с тем и солевого. Главными показателями здесь являются I — суммарное испарение (с поверхности почвы, грунтовых вод, транспирация растениями и т. д.), при котором все соли практически остаются внутри орошаемого

массива, и C — суммарный сток (поверхностный, подземный, дренажный), с которым выносятся главная масса легкорастворимых солей и который, таким образом, определяет расходную часть солевого баланса.

Устанавливается примерно такая зависимость:

при $C > I$ — баланс рассоления;

при $C = I$ — баланс солевого равновесия;

при $C < I$ — баланс засоления.

Конечно, это — грубая схема, которая для конкретных условий получает те или другие коррективы. Однако остается бесспорным, что именно соотношение этих величин в конечном итоге обуславливает общую направленность процесса рассоления — засоления и его темпы. Поэтому при анализе структуры современного водного баланса, а также при проектировании его в новых прогнозных условиях следует специально рассмотреть эту сторону вопроса.

Если вынос солей или расходная часть суммарного солевого баланса определяется суммарным количеством стока, помноженным на среднюю минерализацию, то суммарное поступление солей зависит от количества всех притоков воды и их минерализации.

Следовательно, в общем водном балансе две величины устанавливают суммарный солевой баланс — суммарная водоподача и суммарный сток.

Регулируя подачу воды на орошение и дренажный сток, мы можем создавать ту или иную структуру расходной части водно-солевого баланса орошаемого массива. При этом в зависимости от принятого проектного мелиоративного режима следует принимать абсолютные значения удельных показателей — водоподачи и стока — или затраты оросительной воды на 1 га площади для получения того же урожая. Это легко показать на примере анализа существующих водно-солевых балансов и фактических затрат воды для орошения, испарения, транспирации и стока по конкретным, хорошо изученным районам.

Пресные почвы с луговым режимом формируются на близких пресных грунтовых водах (1—2 м), если соблюдается условие: суммарный сток превосходит суммарное испарение, $C > I$. В этом случае абсолютные значения суммарного испарения достигают величин 12—20 тыс. м³/га (зоны выклинивания подземных вод по периферии конусов выноса крупных рек, низкие террасы рек Чирчик, Зеравшан и др.).

При нарушении этого положения, испарение начинает преобладать над стоком, процесс смещается в сторону солончакового, грунтовые воды под влиянием испарения осолоняются и понижаются на глубину 2—3 м, почвы засоляются, в результате чего сильно проявляется лугово-солончаковый процесс. Так, по периферии классического и хорошо изученного конуса выноса р. Сох в Ферганской долине при продвижении с юга на север мы наблюдаем ярко выраженную картину зональных почвенно-гидрогеологических процессов, связанных с ними последовательных изменений структуры расходной части водно-солевого баланса с постепенным преобладанием суммарного испарения над стоком, а вместе с тем и соленакопления над выносом солей.

Таким образом, если искусственно создавать луговой процесс на каком-то крупном массиве и предотвращать всегда возможное в аридной зоне проявление солончакового процесса в связи с высоким испарением, то следует строго обеспечить определенную структуру расходной части водного баланса, по крайней мере в соотношении $\frac{C}{I} = \frac{3}{1}$. Это соотношение уточняется в зависимости от начальных запа-

сов солей в почво-грунтах и от минерализации поступающей и отводимой воды.

Успешный опыт мелиорации засоленных земель долины р. Вахш показал, что для наиболее распространенных условий аллювиальных равнин достаточно отводить дренажем 50% от суммарной водоподачи, а последнюю поддерживать в объеме 18—20 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ (брутто).

Естественно, что при обеспечении дренажными сооружениями более глубокого залегания уровня грунтовых вод (2—3 м) или создании лугово-сероземного процесса почвообразования на орошаемом массиве, требуются несколько меньшие общие затраты воды и соответственно этому обычно для средних условий аллювиальных равнин достаточно, чтобы дренаж отводил примерно 1/3 от водоподачи (брутто), а структура расходной части водного баланса представляла бы равенство $\sum_{\text{и}} = \sum_{\text{с}}$. В этих условиях оросительная норма брутто может быть сокращена до 12—14 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$.

Еще более экономного расходования оросительной воды можно добиться на фоне формирования сероземного мелиоративного режима на глубоких грунтовых водах, когда суммарная водоподача (брутто) может быть доведена до 7—8 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$. Однако для достижения такой водоподачи необходимо одновременно выполнить комплекс мероприятий по ликвидации фильтрационных потерь (бетонирование каналов, лотки, трубопроводы) в ирригационной сети при совершенстве техники орошения.

Поэтому данная стадия работ для зоны современного орошения Голодной степи может рассматриваться пока в далекой перспективе при реконструкции всей сети, в связи с общим дефицитом оросительной воды и необходимостью повышения к. и. в.

Иначе обстоит дело на землях центрального массива Голодной степи, где только сейчас начинает развиваться орошение по-новому, с применением современной техники. Соленые грунтовые воды глубоки, а почвы представлены светлыми сероземами, глубоко солончаковатыми. Здесь никаких сомнений не может быть в том, что самым целесообразным является сохранение природного сероземного режима и предотвращение засоления земель с помощью систем вертикального дренажа.

Что же касается старой зоны орошения, то в настоящее время считаем необходимым остановиться на лугово-сероземном мелиоративном режиме, принятом в основу проекта Узгипроводхоза (1952 г., гл. инж. Б. А. Михельсон).

Для создания лугово-сероземного режима не требуется каких-либо принципиальных изменений в структуре, техническом состоянии и режиме эксплуатации современных ирригационных систем КМК и Баяутской ветки. По существу, речь идет главным образом об исправлении неблагоприятно сложившейся структуры расходной части водного баланса в связи с слабой естественной дренированностью массивов.

Искусственный горизонтальный открытый дренаж по первоначальному проекту (1952 г.) дополнительно к естественному стоку за семь месяцев вегетационного периода (апрель—октябрь) должен отводить из расчета на один валовой гектар следующее количество воды (тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, или $\text{л}/\text{сек}/\text{га}$):

Массив	Дренажный модуль
Пойменный	3,1, или 0,17
Шурузякский	5,0, или 0,28
Сардобинский	3,2, или 0,18

Сравнительно небольшой дренажный модуль ($0,17 \text{ л/сек} \cdot \text{га}$) в пределах Пойменного массива легко объяснить, так как последний имеет наилучшие условия естественной дренированности, в связи с чем очень слабо засолен.

Что касается Сардобинского массива, то его природная дренированность значительно хуже, чем Шурузякского: он занимает краевую непроточную часть аллювиального бассейна; почво-грунты и грунтовые воды здесь засолены на значительную глубину (много десятков метров). Поэтому назначение дренажного модуля в тех же пределах, что и для Пойменного массива, совершенно не оправдано. Скорее здесь следует обеспечить дренажный модуль $0,35$, т. е. больше, чем для Шурузякского массива. Соответственно этому и протяженность первичных дрен была принята в $15 \text{ пог} \cdot \text{м}$ на Пойменном (при глубине $2,5-3,0 \text{ м}$), $28 \text{ пог} \cdot \text{м}$ на Шурузякском (при глубине $3,0-3,5 \text{ м}$) и $40 \text{ пог} \cdot \text{м}$ на Сардобинском (при глубине первичных дрен $3,5-4,0 \text{ м}$).

В дальнейшем оказалось, что поддерживать проектные глубины первичных дрен практически не удастся, так же как не удастся достигнуть проектных глубин крупной коллекторной сети (например, для Шурузяка $7,22 \text{ м}$) в связи с плавунностью грунтов и напорностью грунтовых вод. Между тем успешные опытно-производственные испытания систем вертикального дренажа продемонстрировали его большие возможности (таблица).

Значение дренажного модуля для некоторых коллекторов дренажной системы Голодной степи на весенний период

Коллекторно-дренажная система	Расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Дренажный модуль, л/сек		$\frac{q_p}{q_{\text{ср}}}$
		q расчетное	q фактическое	
Открытый горизонтальный дренаж				
Шурузякская	5,8	0,28	0,086	3,25
Железнодорожная	0,42	0,28	0,035	8,1
Главная пойменная	3,4	0,12	0,054	2,2
колхоза „Коммунизм“	0,286	0,28	0,072	4,0
Закрытый горизонтальный дренаж (ЦОМС)	0,28	0,28	0,172	1,6
Вертикальный дренаж				
шурузякская				
$\Delta H = 1$ ($K_f = 0,07 \text{ м/сутки}$)	—	0,28	0,33	0,86
$\Delta H = 1,5$	—	0,28	0,47	0,62

Примечание. ΔH — разность между уровнем грунтовых вод и пьезометрическим напором песчаного горизонта, создаваемая откачками (см. рис. 3).

Видно, что расчетный дренажный модуль не получен ни по одной из коллекторно-дренажной систем, даже в опытном закрытом горизонтальном дренаже на ЦОМСе. Между тем, опытно-производственные системы вертикального дренажа в Шурузяке, в гор. Гулистане, на Сардобе и в Пахтаарале показали, что можно, регулируя ΔH , легко получить требуемый дренажный модуль.

Построенная на сегодня коллекторно дренажная сеть фактически отводит только 27% воды от всех поступлений. Суммарное испарение составляет 70% в расходной части баланса.

Водный баланс старой зоны орошения Голодной степи в границах б. УзССР (валовая площадь $210,8 \text{ тыс. га}$, орошаемая 122 тыс. га),

по данным Средазгипроводхоза (1963 г.)¹, в сравнении с проектным (валовая площадь 210,8 тыс. га, орошаемая 164,8 тыс. га) следующий:

Существующие условия			Проектные условия		
Приход	млн. м ³ /год	%	Приход	млн. м ³ /год	%
Фильтрационные потери	362,4	15	Фильтрационные потери	362,4	13
Осадки	526,8	24	Осадки	526,8	19,5
Водоподача	1049,9	50	Водоподача	1417,9	58
Подземный приток	248,6	11	Подземный приток	393,1	14,5
Всего	2187,7	100	Всего	2700,2	100
Расход			Расход		
Коллекторно-дренажный сток вод			Коллекторно-дренажный сток вод		
подземных	470,0	27	подземных	362,1	20
поверхностных	130,2		поверхностных	176,3	
Дренаж Сыр-Дарьи	63,5	3	Подземный сток в Сыр-Дарью	55,0	2
Испарение и транспирация вод			Испарение и транспирация вод		
подземных	371,1	70	подземных	285,8	63
поверхностных	1153,4		поверхностных	1403,3	
			Вертикальный дренаж	419,5	15
Итого	2188,7	100	Итого	2701	100

Баланс подземных вод

Приход			Приход		
Фильтрация из каналов	362,9	42	Фильтрационные Потери	372,9	33
Осадки	70,1	8	Осадки	70,1	6
Водоподача	223,0	24	Водоподача	295,3	27
Подземный приток	248,6	26	Подземный приток	393,1	34
Всего	904,6	100	Всего	1112,4	100
Расход			Расход		
Коллекторно-дренажная сеть	470	52	Коллекторно-дренажная сеть	362,1	33
Дренаж Сыр-Дарьи	63,5	7	Сток подземных вод в Сыр-Дарью	55,0	5
			Вертикальный дренаж	419,5	36
Испарение и транспирация	371	41	Испарение и транспирация подземных вод	285,6	26
Итого	904,5	100	Итого	1112,2	100

¹ Схема размещения (внедрения) вертикального дренажа в старой зоне орошения Голодной степи.

Рассматривая проектный водный баланс, составленный в институте „Средазгипроводхоз“ в 1963 г. и построенный с учетом внедрения вертикального дренажа и совместной работы этого дренажа с горизонтальным (см. данные, указанные выше) мы видим, что по существу структура расходной части водного баланса не меняется—испарение и транспирация составляют все еще 63%, тогда как дренажный сток против современного увеличивается всего на 5%, достигая 35, против 30% в современных условиях. Вряд ли логично при этом ожидать каких-либо существенных изменений в мелиоративном режиме, который сейчас складывается с явным креном в сторону солончакового процесса.

Средний дренажный модуль с 1 га (валового) при совместной работе горизонтального и вертикального дренажа в проектных условиях получается равным всего 0,11 л/сек, что в 2,5—3 раза меньше справедливо принятого в проекте 1952 г.

Таким образом, анализ современного и проектного водного балансов показывает, что в последний должны быть внесены коррективы в сторону увеличения дренажного стока и уменьшения суммарного испарения по крайней мере до соотношения их 1:1 за счет роста мощности вертикального дренажа. Или же мощность вертикального дренажа следует удвоить, тогда суммарные испарение и транспирация соответственно уменьшатся на эту цифру. Изменение величины расходной части баланса вод видно из следующих, полученных нами, данных:

Проектный водный баланс		По данным авторов (на 210,8 тыс. га/вал)		
Приход	млн. м ³ /год	Расход	млн. м ³ /год	%
Фильтрационные потери	362,4	Коллекторно-дренажная сеть	538,4	20
Осадки	526,8	Подземный сток в Сыр-Дарью	55,0	2
Водоподача		Испарение и транспирация	1269,1	48
за счет поверхностных вод	1417,9	Вертикальный дренаж	839	30
за счет откачек	420	В том числе орошение	420	
подземный приток	393,1			
Всего	2701,5	Всего	2701,5	100

Дренажный сток по открытой горизонтальной сети сохранится главным образом в пределах Пойменного массива. Суммарные испарение и транспирация на 1 га/вал уменьшатся с 7,863 до 6,000 м³/га, или на освоенных землях они составят около 8 тыс. м³/га при водоподаче (нетто) 8600 м³/га, что не обеспечит надежного промывного режима орошения собственно на полях. Поэтому необходимо увеличить водоподачу (нетто) таким образом, чтобы 25—30% воды шло на инфильтрацию или создавало устойчивые рассоляющие нисходящие токи на фоне работающей системы вертикального дренажа.

Увеличение водоподачи в этом случае может быть за счет частичного (до 50% от суммы откачки или до 420 млн. м³) использования пресных подземных вод с минерализацией менее 2 г/л на орошение и промывки, что даст добавочно 2,8 тыс. м³/га воды. К предусмотренной проектом водоподаче в размере 8600 м³/га против 8680 м³/га в

современных условиях прибавятся 2,8 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, или водоподача нетто составит 11,4 тыс. м^3 на освоенный 1 га, что обеспечит устойчивый промывной режим орошения.

Таким образом, с нашими исправлениями получается, что удельная суммарная водоподача на валовой гектар составляет $12,8 + 2,8$ тыс. м^3 , а удельный суммарный сток (из бассейна подземных вод) — 6,85 тыс. м^3 и общий сток с орошаемого массива — 4,8 тыс. м^3 (с учетом использования подземных вод на орошение). Это значит, что даже при частичном использовании (пресных) откачиваемых вод (до 50% от суммы откачек) сохраняется соотношение между суммарной водоподачей и суммарным оттоком 3:1. Такое соотношение в рассматриваемых условиях для лугово-сероземного мелиоративного режима при глубине грунтовых вод 2—3 м вполне обеспечивает создание отрицательного водно-солевого баланса на орошаемых землях и развитие устойчивого процесса опреснения в верхних слоях почво-грунтов и грунтовых вод. Это можно иллюстрировать и сравнительными данными по средней минерализации вод, поступающих в балансовый контур и оттекающих с него. Для первых эта величина составляет 1 г/л, для вторых — не менее 4 г/л, или соотношение 3:1, вполне обеспечивающее создание отрицательного солевого баланса.

Соответственные исправления должны быть внесены в проект по каждому из четырех рассматриваемых массивов.

РАЙОНИРОВАНИЕ БАСЕЙНА ПО КОНСТРУКЦИЯМ СКВАЖИН И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

После решения главного вопроса о проектном водно-солевом балансе, из которого определяется общая мощность вертикального дренажа (в данном случае 839 млн. м^3), дальнейшая схема расчета сводится к следующим операциям:

1) районирование по особенностям деталей литолого-гидрогеологических условий;

2) уточнение естественной дренированности каждого выделенного района и назначение соответственно этому необходимого дренажного модуля при увязывании его с проектным водным балансом;

3) определение соответственно с типовыми литологическими разрезами выделенных районов типовых конструкций и параметров колодцев вертикального дренажа для каждого района и насосно-силового оборудования;

4) выбор режима откачек по группам скважин и районам соответственно с целевым назначением откачиваемой воды (орошение, сброс) и в увязке с проектным водным балансом;

5) определение числа колодцев по выделенным районам при знании частных дебитов отдельных колодцев и режима их работы, а также общего расхода откачек, который необходим для создания нужной мощности дренажных установок (839 млн. $\text{м}^3/\text{га}$).

Размещение колодцев в плане производится в соответствии с общими мелиоративными и ирригационно-хозяйственными условиями; учитываются подъездные пути, которые необходимо сооружать при каждой эксплуатируемой скважине, особенности электроснабжения, телеуправления и т. д.

Важной проверкой при этом является определение среднего проектного положения пьезометрической поверхности напорных вод в песчаном горизонте, особенно на тяжелых в мелиоративном отношении

участках бассейна, которое делается на основании данных проектного баланса. Например, для Шурузякского массива среднее положение пьезометрического напора по отношению к среднему уровню грунтовых вод в современных условиях (из водного баланса Средазгипроводхоза) составляет

$$\Delta H = \frac{QY}{\omega K},$$

где Q — поступление подземных вод снизу в покровные мелкоземы ($102,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{ года}$);

Y — уровень грунтовых вод, отсчитываемый от кровли первого хорошо проницаемого пласта (23 м);

ω — площадь массива ($68,4 \cdot 10^7 \text{ м}^2$);

K — коэффициент фильтрации покровных мелкоземов (0,1 м/сутки).

Тогда для этих условий ΔH составит 0,115 м.

В пределах Шурузякского массива предполагается по „схеме“ откачивать воды $238,1 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$. Если допустить, что вся эта вода формируется в пределах массива и приток со стороны остается в тех же пределах, то для работы вертикального дренажа в проектных условиях необходимо, чтобы в каптируемый пласт поступало сверху воды $238,1 - 102,3 = 135,8$ млн. $\text{м}^3/\text{год}$, что возможно при соблюдении положения

$$\Delta H = \frac{135,8 \cdot 10^6 \cdot 23}{68,4 \cdot 10^7 \cdot 365 \cdot 0,1} \approx 0,125,$$

т. е. при превышении уровня грунтовых вод над пьезометрическим напором на 12—13 см. Дренажный модуль составит 0,075 л/сек с 1 га, чего явно недостаточно. По нашему мнению, мощность вертикального дренажа воды необходимо увеличить:

$$\Delta H = \frac{373,8 \cdot 10^6 \cdot 23}{68,4 \cdot 10^7 \cdot 365 \cdot 0,1} \approx 0,344 \text{ см.}$$

Тогда среднегодовой дренажный модуль составит 0,22 л/сек/га, а его максимальная ордината может достигнуть расчетных значений 0,3 л/сек/га.

Трудность расчетов водно-солевого баланса заключается не только в частом отсутствии прямых точных методов для определения составляющих, но и в том, что при нарушении хотя бы одной из статей баланса, сейчас же изменяются и другие. В частности, одной из слабых сторон водного баланса является, с нашей точки зрения, явно заниженный приток подземных вод со стороны Чирчик-Ангренской долины. В расходной части баланса в настоящее время он компенсируется также недоучтенным в балансе повышенным (против „схемы“) испарением. Главное влияние оба фактора оказывают преимущественно на Шурузякский массив, но в какой-то мере оно распространяется и на Сардобинский.

Если учесть этот приток большего размера, то будем иметь основание соответственно увеличить мощность вертикального дренажа на 150—200 млн. $\text{м}^3/\text{год}$.

НЕКОТОРЫЕ ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ

Обсуждение „Схемы размещения (внедрения) вертикального дренажа в старой зоне орошения Голодной степи“ в Техническом совете выявило много острых вопросов, по которым специалистами высказы-

вались различные точки зрения, в частности, вопрос о том, где лучше всего размещать фильтры колодцев? Имелись в виду, с одной стороны, общность подземных вод бассейна, а с другой — выбор в толще бассейна наиболее хорошо дренирующихся пластов, которые значительно облегчили бы строительство фильтров скважин и позволили бы из одной точки получить больший дебит, так как мощность водоносных толщ составляет более 100—200 м.

Мы считаем, что эти обстоятельства в дальнейшем, несомненно, будут использованы без увеличения мощности откачек (как это полагает Средазгипроводхоз), так как основанием к расчету явится тот же водный баланс всего аллювиального бассейна, за нижнюю границу которого приняты глины неогена как региональный водоупор. Однако на современном начальном этапе внедрения вертикального дренажа необходимо учитывать:

1) получение быстрого мелиоративного эффекта на локальных участках по мере строительства скважин вертикального дренажа и ввода их в действие;

2) сохранение безупречного качества пресных глубинных горизонтов подземных вод, на которых базируется все сельскохозяйственное и городское водоснабжение Голодной степи. Целесообразно каптировать скважинами вертикального дренажа верхнюю часть бассейна подземных вод на глубину до 100 м, как мы это рекомендовали и ранее (1957—1960 гг.). Поэтому нет оснований располагать скважины кустами или перехватывающими рядами, напротив, выгоднее их размещать относительно равномерно по площади.

Рассмотренный выше проектный баланс, построенный на средних цифрах, должен быть проверен на экстремальные значения, в частности, на случай маловодных и многоводных лет. Первые, как правило, для Голодной степи характеризуются уменьшением осадков и сохранением того же уровня вододачи (благодаря зарегулированности стока), что практически незначительно сказывается на приходной части водного баланса. Зато в расходной части, как показали наблюдения, значительно возрастает суммарное испарение, благодаря чему солевой баланс, особенно в верхней части почвенно-грунтовой толщи, складывается неблагоприятно — усиливается солончаковый процесс, увеличиваются выпады земель из сельскохозяйственного оборота и т. д., хотя уровень грунтовых вод занимает сравнительно невысокое положение.

В многоводные годы, когда количество зимне-весенних осадков достигает 2—3 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ и более, если они выпадают в период минимальных температур и слабого испарения, главная масса этой влаги идет на рассоляющее впитывание и пополнение запасов грунтовых вод. При недостаточной дренированности же в этих условиях уровень грунтовых вод иногда повышается до таких размеров (0,2—0,5 м), что весной может задерживаться начало пахоты (например, 1964 г.), а затем с наступлением тепла интенсифицируется испарение и подтяжка солей в верхние горизонты почвенного профиля. В проектных условиях, когда будет обеспечен дренажный модуль 0,3 л/сек/га, создается возможность для действительного использования рассоляющего действия зимне-весенних осадков, а в маловодные годы — влагозарядковых поливов.

Из сказанного выше следует, что система вертикального дренажа всегда должна иметь резерв мощности, который будет использоваться по мере необходимости, при назначении того или иного режима откачек. Так, например, в многоводные, влажные годы скважины вертикального дренажа будут включаться в работу значительно рань-

ше или практически не выключаться вовсе, так как в такие годы нужно будет сработать до 2—3 тыс. $m^3/га$ дополнительной воды.

Вместе со строительством и внедрением вертикального дренажа необходимо продолжить наблюдения за водно-солевым балансом орошаемых земель и гидрогеологические исследования бассейна в целом, чтобы иметь возможность проверить и уточнить проектные положения, а также отработать ряд вопросов, требующих дополнительных уточнений. Эти вопросы связаны как с весьма своеобразной и сложной природой подземного водохранилища, так и с особенностями солеотдачи почво-грунтов в процессе их мелиорации.

Естественно, что по мере накопления опыта будет совершенствоваться техника строительства и конструкции скважин, а также насосно-силовое оборудование, система телеуправления и эксплуатации систем вертикального дренажа.

Мы стоим накануне новой эры мелиоративной науки и практики, когда от созерцания и приспособления к природным условиям, мы смело переходим к переделке их в наших целях, к достижению изобилия сельскохозяйственной продукции и построению коммунистического общества.

Х. ЯКУБОВ

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

БУРЕНИЕ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

В настоящее время в Средней Азии для мелиорации засоленных земель начинает широко применяться вертикальный дренаж. Проектными и научно-исследовательскими институтами составлены схемы районирования территории по видам дренажа и определены перспективные районы для применения вертикального дренажа. Площадь этих районов по Средней Азии достигает более 1,5 млн. га и только по Голодной степи она составляет 450 тыс. га.

В Советском Союзе хорошо разработаны методы строительства и эксплуатации малодебитных скважин (на воду и глубокого водопонижения в котловане при строительстве крупных ГЭС).

Скважины для глубокого понижения уровня грунтовых вод под котлован обычно носят временный характер, и при проектировании их не обращается особого внимания на эксплуатационные затраты.

Удельные затраты на строительство и эксплуатацию скважин вертикального дренажа должны быть гораздо меньше, чем затраты на строительство, особенно при эксплуатации скважин на воду и глубокого водопонижения. Следовательно,

а) скважины вертикального дренажа необходимо проектировать с высоким дебитом, так как чем больше расход, тем больше радиус влияния и соответственно обслуживаемая ими площадь;

б) потерю напора в фильтрах нужно довести до минимума, что позволит снизить затраты на подъем воды;

в) скважины должны строить долговечными.

Все эти требования выполнимы при строительстве скважин большого диаметра и при оборудовании их гравийными фильтрами рыхлой обсыпки и большой толщины.

В данное время существует несколько методов строительства высокодебитных скважин: П. А. Панкратова [2]; Беннисона [6]; Узбекского гидрогеологического треста [4 и 5]; гидроспецстроя (бурение скважин большого диаметра ударно-канатным станком) и способ бурения роторно-вращательным станком. Сущность последнего метода дается в данной работе.

В практике строительства скважин вертикального дренажа широко применяются методы бурения при помощи ударно-канатных станков и роторно-вращательных.

Ударно-канатный метод. Процесс строительства скважин по этому методу состоит из следующих операций: подготовительной работы, бурения, спуска фильтрового каркаса, засыпки гравия в затрубное пространство и, наконец, разглинизации и строительной откачки для формирования устойчивого фильтра.

К подготовительным работам относится планировка площадки и рытье шурфа размером $3 \times 3 \times 0,5$ м для установки кондуктора и монтажа бурового станка; установка кондуктора; монтаж бурового станка и центровка долота в кондуктор; сортировка гравия, подготовка фильтрового каркаса (нарезка щелей и покрытие труб коррозионно-устойчивым лаком). Последняя операция производится параллельно с бурением скважин.

Кондуктор предназначен для правильной центровки долота и предотвращения обвала устья скважин. Глубина кондуктора устанавливается в зависимости от свойства грунта и от глубины залегания грунтовых вод. Обычно он устраивается на глубине 3—4 м, диаметром на 2 дюйма больше диаметра долота.

По окончании установки кондуктора и размещения приямки для глинистого раствора начинается бурение. Скважины пробуриваются станком типа УКС-22 и УКС-30 сплошным забоем с применением (для закрепления стенки скважины) глинистого раствора удельным весом $1,1—1,12 \text{ г/см}^3$ и вязкостью 27—29 сек. по СВП.

Рабочим инструментом в забое служит несколько усовершенствованное работниками Гидроспецстроя крестовое долото с округляющим кольцом (диаметр долота соответствует диаметру бурения — 700, 900, 1200 мм), которое срезает недобуренный грунт и сглаживает стенки скважин, образуя ровную цилиндрическую поверхность.

Глинистый раствор от приемного резервуара в забой подается двумя грязевыми насосами ГР-11 производительностью 5 л/сек и давлением 20—24 атм через шланги, присоединенные к промывочным трубкам долота диаметром 50 мм.

Выходящий из скважины глинистый раствор отводится к отстойнику, где этот раствор последовательно очищается от выбуренной породы. В случае сильного сгущения раствор, находящийся в скважине, заменяется новыми порциями.

Глинистый раствор приготавливается глиномешалкой марки С-447, емкостью $3,5 \text{ м}^3$ с электродвигателем мощностью 20 квт.

Все двигатели оборудования при бурении скважин питаются от временной передвижной электростанции мощностью 80 квт при бурении станком УКС-22 и 120 квт при бурении станком УКС-30.

По окончании бурения (до проектной глубины) приступают к спуску фильтрового каркаса, а затем к засыпке гравия в затрубное пространство.

Глубина скважин вертикального дренажа в Голодной степи колеблется от 50 до 75 м, диаметр бурения 700—1000 мм, а диаметр фильтрового каркаса 326—426 мм, тип перфорации щелевой размером 250×5 мм; скважность—18—25% (рис. 1).

Преимущество описанного выше метода состоит в возможности создания вокруг фильтрового каркаса гравийного фильтра большой толщины (150—386 мм), что сократит объем выносимого песка и дополнительно засыпаемого гравия при откачках, а также срок строительных откачек.

Недостаток данного метода заключается в том, что для бурения скважин диаметром 900 мм затрачивается большое количество электроэнергии. Для станка УКС-22 требуется электроэнергии общей мощностью 65—75 квт, а для УКС-30—110—120 квт.

Следовательно, для обеспечения нормальной работы станков типа УКС при отсутствии постоянного источника электроэнергии необходима передвижная дизельная электростанция, что сильно затрудняет эксплуатацию станков (из-за дефицита самих станций и запасных ча-

стей к ним). При обеспечении станков электроэнергией от передвижной дизельной станции увеличиваются затраты на строительство скважин, так как затраты на электроэнергию составляют около 30—35% от стоимости скважины. Для бурения скважин глубиной 100 м требуется в общей сложности 600—650 тыс. кВт. ч. электроэнергии (табл. 1).

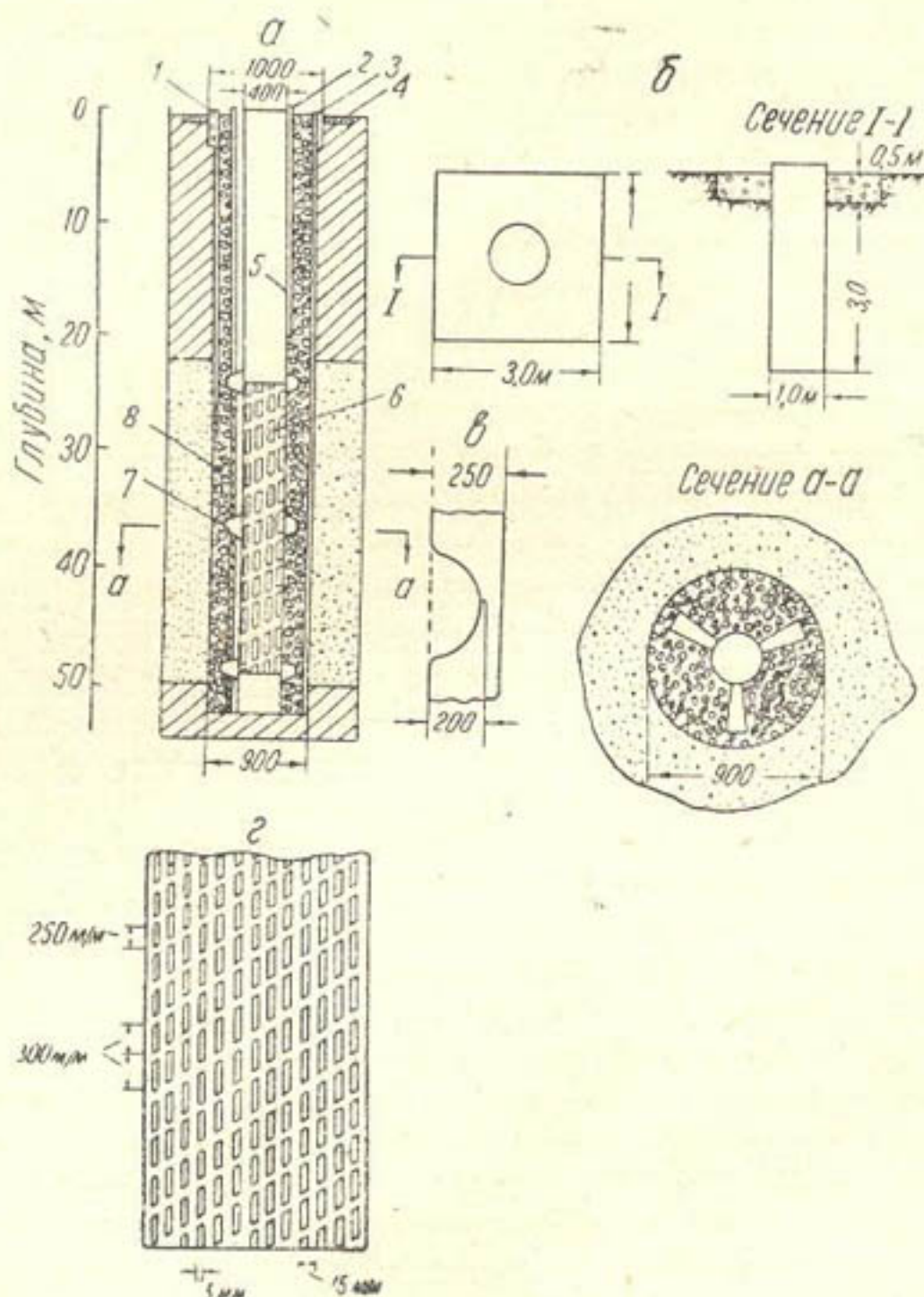


Рис. 1. Типовая конструкция скважины:

1—кондуктор; 2—труба для эмера воды в скважине; 3—затрубный пьезометр, скважность фильтра; 4—бетонная плита для крепления кондуктора; 5—глухая часть фильтрового каркаса; 6—перфорированная часть фильтрового каркаса; 7—направляющие фонари из стали № 5 толщиной 10 мм; 8—гравийная обсыпка, размер фракции — 1—5 мм. а—общий разрез скважины; б—кондуктор в плане; в—направляющие фонари; г—развертка фильтрового каркаса.

Кроме того, передвижение станков, дизельной электростанции, оборудования для приготовления глинистого раствора и прочих материалов с одного места на другое отнимает много времени (2—3 суток). Передвижение оборудования особенно затруднительно в тех местах, где нет полевых дорог.

Производительность бурового станка типа УКС намного меньше, чем станка вращательного бурения.

В табл. 2 приведена фактическая осредненная скорость проходки ударно-канатного станка УКС-22 и УКС-30. Затрата времени на бурение скважин глубиной 65—70 м по указанному методу составляет 8—10 суток (с учетом простоев).

Таблица 1

Затрата времени и общей электроэнергии на бурение скважин диаметром 900 мм, глубиной 100 м

Вид работ	Оборудование	Продолжительность работы оборудования, машино-смена	Мощность двигателя, кВт	Общая затрата электроэнергии, кВт/ч
Бурение скважин	УКС-30	70	40	19600
Прокачка глинистого раствора	ГР-11	62×2	28	24400
Приготовление глинистого раствора	Г-2-П2-4	52	21	5500
Водоснабжение буровой точки	Насос КСМ-3	56	14	7650
Очистка глинистого раствора от выбуренного шлама	Вибросито СВ-1	62	2,8	1220
Сварка	Электросварочный аппарат СТ-500	22	35	5400
Перевозка	Трактор	12		
Всего	—	—	130	63770

Таблица 2

Осредненная скорость проходки скважин ударно-канатным станком

Номер скважины	Характеристика грунтов	Общая глубина проходки, м	Затраченное время, час	Средняя скорость проходки, м/час
----------------	------------------------	---------------------------	------------------------	----------------------------------

Шурузякский участок

1	{ Суглинок	24,5	19	1,24
	{ Гравелистый песок	50	125	0,40
2	{ Суглинок	26,6	28,0	0,95
	{ Гравелистый песок	41,0	96	0,425
3	{ Суглинок	20	17	1,18
	{ Гравелистый песок	62,5	16,5	0,38

Пахтааральский участок

17	{ Суглинок	23	20	1,15
	{ Мелкозернистый песок	34,5	99	0,36
22	{ Суглинок	19	20	0,95
	{ Мелкозернистый песок	47	140	0,335
23	{ Суглинок	20	24	0,83
	{ Мелкозернистый песок	43	125	0,35

Роторно-вращательный метод. Учитывая указанные выше недостатки ударно-канатного способа бурения, мы совместно с начальником Пахта-Аральского участка В. А. Пряниковым создали наконечник (долото), позволяющий роторно-вращательным станкам производить проходку диаметром 1000 мм, вместо диаметра в 500 мм, указанного в технической литературе. Такой наконечник был необходим в целях улучшения процесса формирования гравийного фильтра и снижения стоимости строительства скважин вертикального дренажа. Работа это-

го долота в забое основывается на плавунных свойствах мелкозернистого и среднезернистого песка в насыщенном состоянии.

Для уменьшения крутящего момента в бурильных трубах за основу нового долота взято долото типа РХ со ступенчатым расположением режущих ножей по вертикали (рис. 2).

Следовательно, в процессе бурения с грунтом сначала соприкасается нож первой ступени 1 длиной 125 мм, затем—второй 2 такой же длины. Нож третьей ступени 3 расположен на 150 мм выше ножа

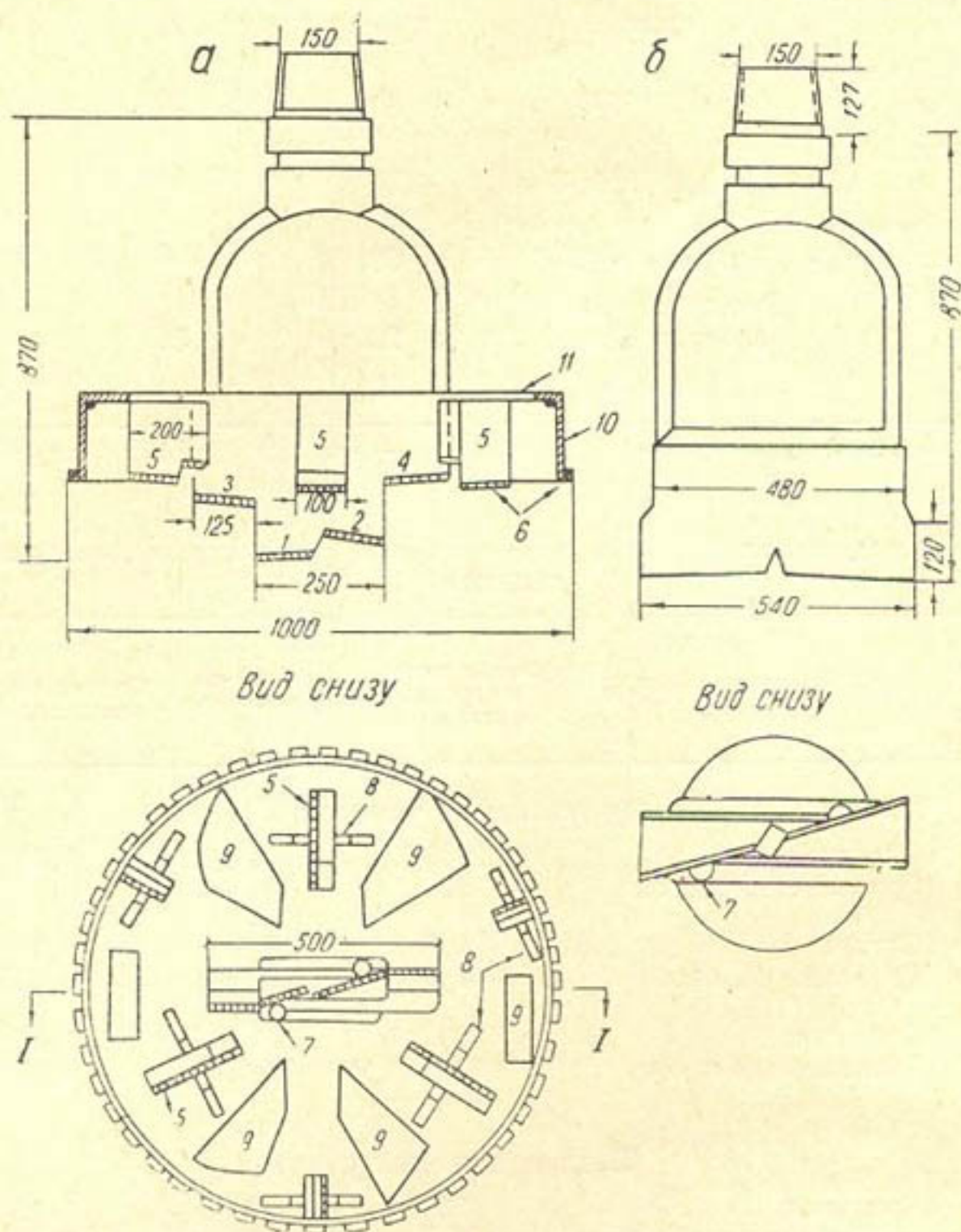


Рис. 2. Схема нового долота для роторного бурения диаметром 100 мм:

a—схема нового долота; *б*—схема долота РХ; 1, 2, 3, и 4—ножи долота; 5—вспомогательные ножи; 6—зубья из победита; 7—отверстия для выхода глинистого раствора, подаваемого в скважину; 8—подпорка для крепления вспомогательных ножей; 9—отверстия для выхода выбуренного шлама; 10—округляющее кольцо; 11—упорная металлическая крышка.

первой, а нож четвертой ступени 4—на 50 мм выше ножа третьей. Общая длина ножей первых четырех ступеней составляет 500 мм.

Выше основных ножей помещается в таком же порядке шесть вспомогательных ножей общей длиной 700 мм. Эти ножи по ходу вращения долота прикрывают основные ножи и друг друга.

Упорная металлическая крышка 11 служит для закрепления (при помощи сварки) вспомогательных ножей и для увеличения давления

глинистого раствора, а округляющее кольцо 10— для разравнивания стенок скважины.

Чтобы ликвидировать поломки вспомогательных ножей, последние в местах сварки с двух сторон подкрепляются подпорками 8. Кроме того, для выхода пробуренного шлама в упорной крышке вырезается 4—6 отверстий 9.

Для предотвращения быстрого стирания ножей в процессе бурения их армируют победитовыми зубьями—резцами 6. При таком расположении ножей основная нагрузка приходится на нож, находящийся на первой ступени, а на ножи остальных ступеней нагрузка резко уменьшается, так как мелкозернистый и среднезернистый песок в насыщенном состоянии приобретает оплывающие свойства. Следовательно, после среза слоя грунта ножом первой ступени под влиянием вращения долота песок приходит в движение (приобретает текучесть), в результате чего сопротивление грунта (в данном случае мелкозернистого песка) на срез резко уменьшается. Это в свою очередь снижает усилие на срез, приходящееся на ножи других ступеней.

Ножи остальных ступеней (кроме 1-й и 2-й) располагаются под небольшим углом к оси долота, что также усиливает движение песка при вращении.

В совхозе „Пахтаарал“ на 19 скважинах испытывали новую конструкцию долота.

При бурении этих скважин не наблюдалось затягивания бурильных труб, т. е. при подъеме долота (после окончания проходки) их легко развинчивали, что свидетельствовало о нормальном (допустимом) крутящем моменте в бурильных трубах.

Т а б л и ц а 3

Средняя скорость проходки скважин роторно-вращательным станком

Номер скважины	Характеристика грунтов	Глубина проходки, м	Общее затраченное время на бурение, час	Средняя скорость проходки, м/час
1	{ Средний суглинок	17	12	1,42
	{ Мелкозернистый песок	31	37	0,84
6	{ Средний суглинок	22,5	22,5	1,00
	{ Мелкозернистый песок	28,0	48,5	0,56
8	{ Средний суглинок	20	24,0	0,833
	{ Мелкозернистый песок	48	100	0,48
22	{ Средний суглинок	21	16,5	1,27
	{ Мелкозернистый песок	47	63	0,745
24	{ Средний суглинок	21	15	1,4
	{ Мелкозернистый песок	45	36,5	1,23
25	{ Средний суглинок	26,0	22,0	1,66
	{ Мелкозернистый песок	39,3	36,0	1,09
29	{ Средний суглинок	22	14	1,57
	{ Мелкозернистый песок	39	33	1,18

* После реконструкции долота;

** до реконструкции.

Бурение скважин большого диаметра роторно-вращательным станком состоит тоже из подготовительных работ и собственно проходки. Первый этап работы и другие операции аналогичны процессам работ, осуществляемым при ударно-канатном способе бурения.

Диаметр прокладываемых скважин равняется 1000 мм. Проходка скважин осуществляется сплошным забоем станком типа АВБ-400 или УРБ-ЗАМ. Для временного закрепления стенок скважин применяется глинистый раствор с удельным весом $1,1 \text{ г/см}^3$ и вязкостью 27—29 сек. по СВП (для мелкозернистых песков), причем содержание песка в глинистом растворе не должно превышать 3—5%.

В случае увеличения количества песка свыше 5% весь глинистый раствор, находящийся в скважине, заменяется новыми порциями.

Бурение скважин в совхозе „Пахтаарал“ роторно-вращательным станком АВБ-400 показало большую изнosoустойчивость победитовых коронок режущих ножей по сравнению с шарошечным долотом. Так, например, коронки ножей первого долота истирались после бурения восьми скважин, а в таких же грунтах (мелкозернистых песках) шарошечное долото изнашивалось после бурения пяти-шести скважин на глубину 70—75 м. Это свидетельствует об относительно небольших усилиях на трение поверхности режущих ножей.

Долото для проходки скважин большого диаметра в процессе бурения усовершенствовалось. Данные по фактической осредненной скорости проходки станка АВБ-400 до и после улучшения долота приведены в табл. 3.

Результаты табл. 2 и 3 показывают, что производительность станка после реконструкции долота заметно увеличилась, в 1,5 раза. Для мелкозема она составила 1,5—1,7 м/час. Скорость проходки скважин большого диаметра станком роторно-вращательного типа в 3—5 раз больше, чем скорость проходки ударно-канатного типа УКС-22 и УКС-30.

В связи с этим применение роторно-вращательного станка на самоходном шасси намного ускоряет темп строительства скважин вертикального дренажа и облегчает организацию работ по бурению, а также снижает стоимость строительства скважин. Так, стоимость 1 пог. м строительства скважин вертикального дренажа роторно-вращательным методом составляет 155 руб., а ударно-канатного бурения—195, т. е. на 20—25% дешевле, чем строительство скважин при помощи ударно-канатного станка.

СТРОИТЕЛЬНАЯ ОТКАЧКА КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФИЛЬТРА

Практика строительства высокодебитных скважин вертикального дренажа в Голодной степи показала, что создание искусственного фильтра вокруг перфорированного каркаса в соответствии с фракционным составом грунта водоносного пласта—это только первый этап образования устойчивого фильтра. Такой фильтр значительно уменьшает объем выносимого песка при откачке и тем самым создает условия для предотвращения нарушения устойчивости стенок скважин.

Однако фракционный состав искусственного фильтра, соответствующий гранулометрическому составу грунта водоносного пласта, не дает возможности полностью ликвидировать пескование скважин, а лишь способствует уменьшению объема выносимого песка.

В период откачки из состава грунта водоносного пласта через поры фильтра выносятся определенное количество мелких частиц, бо-

лее крупные фракции отлагаются на внешней поверхности искусственного фильтра, в результате чего происходит формирование устойчивого естественного фильтра. Процесс формирования естественного обратного фильтра (второго слоя) зависит как от способа производства бурения скважин и правильного расчета параметров водоприемной части в соответствии с гранулометрическим составом грунта водоносного пласта, так и от скорости потока, образуемого в прифильтровой зоне скважины, следовательно, от ее дебита. Поэтому, регулируя дебит скважины, можно регулировать и объем выноса песка и создать наилучшие условия формирования обратного гравийного фильтра.

При большом начальном дебите скважины на грани контакта фильтра с грунтом водоносного пласта увеличивается скорость воды, что способствует усиленному выносу песка. Это в свою очередь вызывает сильную (по глубине и по диаметру) просадку устья скважин, как это наблюдалось на скважинах, построенных в г. Гулистане и в совхозе „Пахтаарал“. Для предотвращения указанных выше явлений необходимо откачивать воду из скважин по определенному режиму.

Под режимом строительной откачки понимается создание устойчивого обратного естественного фильтра из грунта водоносного пласта посредством регулирования входной скорости воды и связанного с ним выноса мелкозернистых частиц из прифильтровой зоны скважин.

Для этого необходимо:

а) производить разглинизацию скважин немедленно по окончании засыпки гравия в забой, иначе в прифильтровой зоне скважины образуется глинобетон, который снижает темпы откачек, уменьшает удельный дебит, а в некоторых случаях может даже вывести из строя скважину;

б) начинать строительную откачку с минимального дебита;

в) увеличение дебита в период откачки контролировать по величине выносимого песка в воде. Переходить к следующей ступени дебита (на другое понижение) можно только после полного прекращения выноса песков, стабилизации расхода и понижения воды в скважине.

Режим строительной откачки (размер начального дебита и величина следующего понижения) необходимо назначать в зависимости от гранулометрического состава грунта водоносного пласта и гравийной обсыпки, а также от способа производства по устройству фильтра.

Если фильтр создан методом засыпки гравия в зазор между стрелером и стенкой скважин (строительство скважин при помощи станка типа УКС, где обсыпка роторно-вращательным способом вплотную прилегает к фильтровому каркасу и имеет достаточную толщину), то строительную откачку можно провести при различных дебитах (табл. 4).

Для правильного назначения эксплуатационного дебита откачку необходимо проводить (ориентируясь на данные табл. 4) до получения максимального дебита, т. е. до получения точки перегиба на графике удельного дебита как функции от понижения. Резкое уменьшение удельного дебита указывает на возможность перехода фильтрационного потока в прифильтровой зоне скважины от ламинарного движения к турбулентному, определяемому законом Краснопольского

$$v = kl^n. \quad (1)$$

Показатель степени n в выражении (1) можно найти на основании натуральных наблюдений по формуле

$$n = \frac{l_g \left(\frac{Q_1}{S_1} \right)}{l_g \left(\frac{Q_2}{S_2} \right)}, \quad (2)$$

где Q_1 и Q_2 — расходы, соответствующие понижениям в скважине S_1 и S_2 .

Величина n изменяется от 0,5 до 1. Известно, что при $n = 1$ движение потока подчиняется закону Дарси, а близком 0,5 нарушается линейный закон. Поэтому при строительных откачках, зная расходы и понижение воды в скважине, можно установить максимальную величину дебита и продолжительность откачек. На основании этих данных определяются эксплуатационные расходы скважины, которые на 10—15% должны быть меньше максимального дебита при строительной откачке.

Если водопримная часть скважины расположена в водоносном пласте, представленном мелкозернистым и среднезернистым песком, то в процессе строительной откачки нельзя допускать частые и резкие остановки, так как из-за них усиливается вынос мелкозернистых песков, что в свою очередь может привести к обрушению устья скважин и искривлению фильтрового каркаса.

Таблица 4

Величина понижения и дебита для выборов режима строительных откачек

Грунт водоносного горизонта	Рабочие напоры, создаваемые компрессором, м								Общий срок строительной откачки, сутки
	одним				двумя		тремя		
	1-е понижение S = 3—5 м		2-е понижение S = 5—8 м		3-е понижение S = 8—11 м		4-е понижение S = 11—15 м		
	Q, л/сек	T, сутки	Q, л/сек	T, сутки	Q, л/сек	T, сутки	Q, л/сек	T, сутки	
Песок мелкозерни- стый	15—25	3—5	25—35	3—5	35—50	3—5	До 70	До 3	15—20
среднезерни- стый	20—30	3—5	30—40	3—5	40—60	3—5	До 75	До 3	15—20
крупнозерни- стый	30—35	2—3	35—50	2—3	50—65	2—3	До 80	До 3	10—15
гравелистый .	35—45	До 2	45—60	До 2	60—90	До 2	< 100	До 2	До 10
Гравий	40	До 2	До 70	До 2	70—100	До 2	< 100	До 2	До 10

Примечание. Данные получены в результате анализа работ скважин, построенных в Голодной степи.

В случае вынужденных остановок при откачках воды необходимо сначала постепенно уменьшать дебит скважины до минимальной величины, регулируя число оборотов двигателей компрессоров или задвижку лудло насоса, затем уже прекращать откачку.

После ликвидации причин остановок откачка начинается снова с минимального дебита. Дебит следует наращивать также после полного осветления откачиваемой воды и стабилизации понижения в соответствии с данными табл. 4.

При расположении водоприемной части в водоносном пласте, представленном гравелистым песком, для улучшения условий работы скважины и увеличения проницаемости прифильтровой зоны целесообразно вести откачки с резкими остановками и пусками откачных оборудования (компрессоров). Это создает в водоносном грунте гидравлические толчки, в результате которых усиливается вынос мелких и отложение более крупных частиц в прифильтровой зоне скважины, что ускоряет формирование естественного обратного фильтра и улучшает проницаемость прифильтровой зоны.

В процессе откачки, при усиленном выносе песка, образуется провальная воронка или просадка устья, которая должна своевременно засыпаться гравием.

Строительную откачку можно провести как насосными устройствами различного типа, так и эрлифтной установкой. При выборе оборудования для строительной откачки необходимо учитывать проектный дебит скважины, высоту подъема воды, содержание песчаных частиц в откачиваемой воде и продолжительность выноса.

Из практики строительства высокодебитных скважин в Голодной степи видно, что на скважинах, заложенных в водоносном пласте, представленном мелкозернистым и среднезернистым песками (даже при правильном подборе фракционного состава гравийной обсыпки), объем выносимого из скважины грунта достигает 30—35 м³, а при нарушении подбора фракционного состава — 100—125 м³. В начальный период откачки содержание песка в воде изменяется от 5 до 25%.

В процессе же строительной откачки после каждого перехода на другое понижение или после остановки и пуска откачных средств в работу усиленный вынос песка продолжается (в зависимости от фракционного состава обсыпки) несколько часов или 2—3 суток, а затем откачиваемая вода постепенно осветляется и стабилизируется динамический уровень воды в скважине. Общая продолжительность выноса песка колеблется от 10—15 суток до 2—2,5 мес. В этот период и достигается максимальный дебит скважины.

Если учитывать усиленный вынос и большой объем выносимого песка (100—125 м³) в период формирования естественного фильтра, то строительную откачку лучше всего проводить при помощи эрлифтной установки. В случае же недостаточной производительности эрлифта раскочку скважин до максимального дебита необходимо доводить при помощи насосного оборудования.

При использовании эрлифта строительную откачку можно вести по трем схемам расположения водоподъемных и воздухоудных труб:

- а) „рядом“, когда воздухоудная колонна труб располагается „рядом“ с водоподъемной колонной (рис. 3, а);
- б) „внутри“, когда воздухоудная колонна труб располагается внутри водоподъемной колонны (рис. 3, б);
- в) по третьей схеме, когда вместо водоподъемной колонны используется фильтровый каркас скважины (рис. 3, в).

Строительные откачки по схеме „рядом“ имеют ряд конструктивных дефектов: для ремонта повреждений одной из колонн требуется поднимать как водоподъемные, так и воздухоудные трубы, что не дает возможности дебит скважин регулировать маневрированием (опусканием или подъемом) воздухоудной колонны труб, т. е. регулирование дебита осуществляется подъемом или опусканием эрлифтных труб или изменением производительности компрессоров. В случае образования песчаных пробок затрудняется очистка водоподъемной, воздухоудной колонны и самой скважины.

Учитывая указанные выше недостатки монтажа эрлифтов по схеме „рядом“, в Голодной степи применяли монтаж только по последним двум схемам.

При этом было отмечено, что использование фильтрового каркаса как водоподъемной колонны затрудняет процесс наблюдений за изменением динамического уровня воды в скважине.

Следовательно, лучшим методом проведения строительных откачек можно считать вторую схему монтажа эрлифтной установки, где воздухоподводящая колонна располагается внутри водоподъемных труб, хотя в этом случае производство монтажа более затруднительно, чем монтаж по третьей схеме.

Расположение эрлифтной установки в водоносном пласте зависит от способа создания гравийного фильтра. Когда же гравийный фильтр образуется по методу А. П. Панкратова [2], т. е. вследствие замеще-

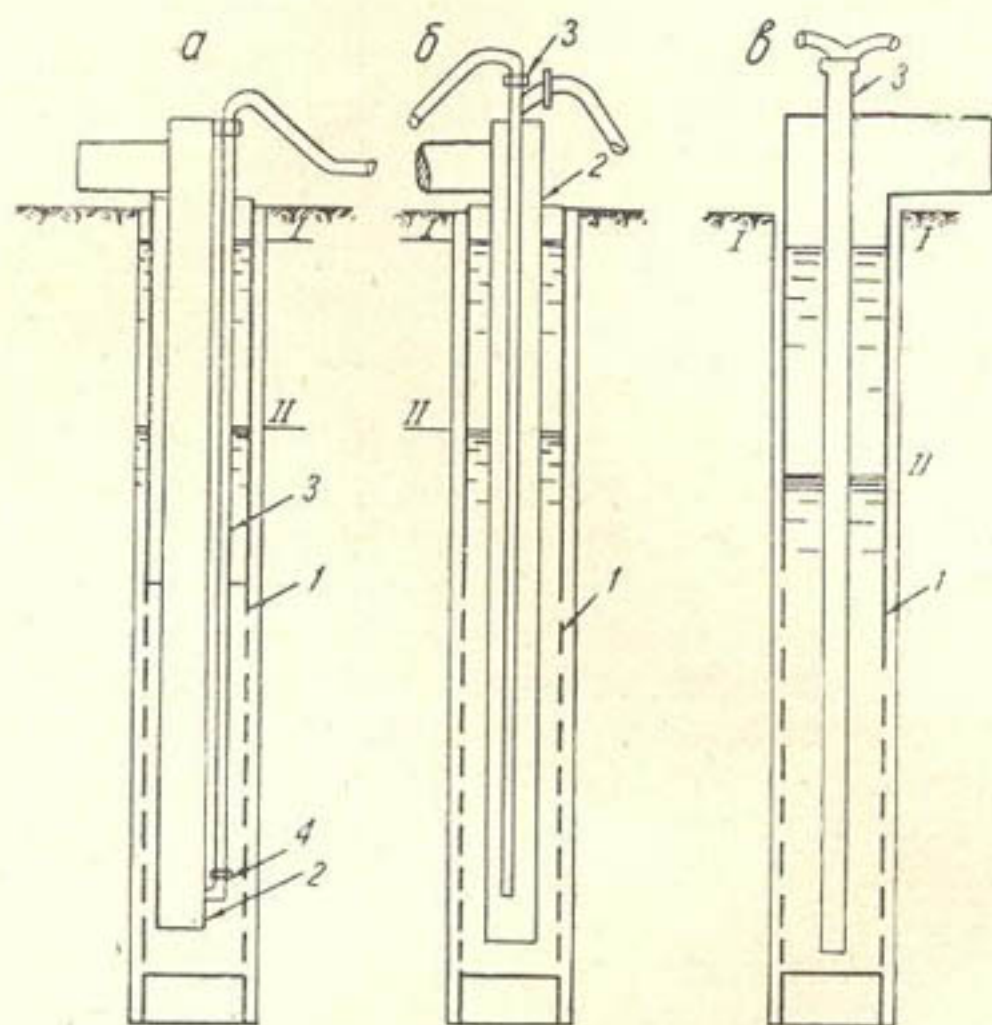


Рис. 3. Схема оборудования скважин эрлифтной установки по трем схемам:

а — „рядом“; б — „внутри“; в — без специальной водоподъемной колонки. 1 — фильтровый каркас; 2 — водоподъемная колонка; 3 — воздухоподводящая колонка; 4 — муфта с левой резьбой; I — положение уровня воды в скважине до откачки; II — динамический уровень при откачке.

ния выносимого песка гравием, который засыпается сверху, откачку необходимо вести при расположении труб эрлифтной установки по методу „сверху вниз“. Водоподъемная воздухоподводящая колонна труб опускается на глубину 4—5 м ниже кровли водоносного пласта, а затем после осветления откачиваемой воды и стабилизации динамического уровня воды в скважине еще на 4—5 м.

По мере опускания труб эрлифта увеличивается дебит скважины и постепенно формируется гравийный фильтр (табл. 5).

В последнем этапе водоподъемная и воздухоподводящая колонна располагается на 2—3 м выше верха отстойника.

Таким образом, по мере осветления откачиваемой воды (при постепенном опускании трубы водоподъемной и воздухоподводящей колонны на различную глубину) дебит скважины достигает максимальной величины.

Если гравийный фильтр уложен вплотную к стренеру и имеет достаточную толщину, то откачку скважин можно производить тремя способами:

- 1) „снизу вверх“, когда водоподъемная и воздуходувная колонна труб сначала располагается на 2—3 м выше отстойника, а затем по мере осветления откачиваемой воды и стабилизации уровня воды в скважине, производится подъем труб на 4—5 м. Откачка скважин заканчивается при расположении труб на 3—4 м ниже верха фильтра;
- 2) „сверху вниз“ (способ описан выше);
- 3) при глубоком расположении труб эрлифтной установки.

Таблица 5

Изменение дебита скважин в зависимости от глубины погружения эрлифтных труб

Номер скважины	Глубина погружения труб, м		Диаметр труб, мм		Дебит скважины, л/сек	Понижение воды в скважине, м	Удельный дебит, л/сек
	водоподъемной	воздуходувной	водоподъемной	воздуходувной			
2	31,4	30,0	147	63	21	6,6	3,5
	35,2	33,8	147	63	24	7,0	3,43
	41,4	38,0	147	63	29	8,0	3,18
3	28,3	27,1	147	63	22	4,2	5,2
	32,6	30,8	147	63	26	4,8	5,4
	36,6	35,0	147	63	28	5,3	5,3
	41,0	39,0	147	63	32	6,0	5,3
4	39,0	36,9	147	63	26	7,0	4,6
	43,6	41,2	147	63	32	6,0	4,3
5	36,3	34,3	147	63	22,5	3,5	6,4
	40,7	38,8	147	63	24,0	3,8	6,2
	45,0	43,3	147	63	30	4,8	6,2
	49,5	47,6	147	63	37	5,3	6,9

Примечание. Данные откачки получены на Гулистанском участке.

Опыт строительной откачки при помощи эрлифтной установки в г. Гулистане показывает, что если откачка ведется „снизу вверх“, то максимальный вынос твердых частиц происходит при глубоком расположении водоподъемных и воздуходувных труб, а с подъемом их на верхнюю ступень (хотя бы на 2—3 м) вынос резко снижается.

Если эрлифтная установка расположена глубоко и откачкой достигнута полная стабилизация выноса твердых частиц и динамического уровня, то при подъеме труб эрлифта на верхнюю ступень вынос песка почти прекращается и продолжительность выноса составляет 2—3 часа.

Это объясняется тем, что при глубоком расположении труб эрлифтной установки к скважине притекает вода, а вместе с ней песчаные частицы со всей мощности водоносного пласта, так как в этом случае вся толща каптируемого слоя участвует в создании водно-воздушной эмульсии. При подъеме труб уменьшается активная зона соз-

дания эмульсии, тем самым снижается зона притока вод с взвешенными твердыми частицами.

Взвешивающая сила потока, захватываемого эрлифтом, как показывают данные опыта, распространяется на глубину 1,5—2,0 м ниже конца водоподъемной трубы.

Следовательно, строительную откачку лучше всего проводить при глубоком расположении эрлифтной установки, не поднимая труб водоподъемной и воздуходувной колонны вверх.

Такой способ работ намного сокращает срок строительной откачки и облегчает монтаж эрлифта, это связано с тем, что для подъема или спуска труб водоподъемной и воздуходувной колонны не требуется каждый раз специального подъемного крана.

В этом случае расход откачиваемой воды регулируется или с помощью подаваемого воздуха (регулированием производительности компрессоров) или заменой меньшего диаметра труб на больший (табл. 6).

Таблица 6

Дебит скважин в зависимости от диаметра эрлифтных труб

Номер скважины	Глубина погружения труб, м		Диаметр труб, мм		Дебит скважин, л/сек	Понижение, м	Удельный дебит, л/сек
	водоподъемной	воздуходувной	водоподъемной	воздуходувной			
2	39,5	38	127	37	19,5	6,5	
			147	63	29,0	8,0	
			200	63	37,4	7,3	
3	41,0	39	127	37	20	4,2	
			147	63	32	6,0	
			200	63	46	8,2	
4	43,6	41,2	127	37	23	6,1	
			147	63	32	7,0	
			200	63	50	8,0	
5	49,5	47,6	127	37	25	4,4	
			147	63	38	5,3	
			200	63	56	7,5	

Регулирование дебита скважин с помощью труб различного диаметра усложняет работы ввиду того, что для замены колонны труб меньшего диаметра на больший требуется специальный подъемный кран. Увеличивается затрата времени и труда на монтаж и демонтаж эрлифтной установки. Поэтому для строительной откачки лучше всего применить один диаметр труб, максимального размера (по условиям монтажа), хотя компрессоры будут работать с минимальной производительностью.

По мере увеличения дебита повышается производительность компрессоров, т. е. постепенно возрастает число оборотов их двигателей.

На основании изложенного выше можно сказать, что для формирования естественного устойчивого фильтра, при котором предотвращается пескование скважин, строительную откачку лучше всего проводить эрлифтной установкой по схеме „внутри“. Если фильтр сква-

жины создается по методу П. А. Панкратова [2], то необходимо строительную откачку вести по методу „сверху вниз“, а в остальных случаях, т. е. когда вокруг стренера имеется искусственно созданный гравийный фильтр достаточной толщины, откачивать воду при глубоком расположении труб эрлифтной установки.

Начальный дебит и величину дебита на другое понижение необходимо определять в соответствии с данными табл. 4, а достижение максимальной величины дебита — по формуле (2).

При недостаточной производительности эрлифтной установки для получения максимального дебита скважин применяется насосное оборудование.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

При строительстве скважин вертикального дренажа организация производства работ прежде всего зависит от характера и объема работ, выполняемых на рассматриваемом объекте.

Работы по строительству скважин вертикального дренажа можно подразделить на строительство скважин вертикального дренажа и строительно-монтажные работы.

К строительно-монтажным работам относится строительство подстанций, водоприемных, и сбросных сооружений, подводка линий электропередач к скважинам, устройство КТП, монтаж насосного оборудования.

Строительство скважин вертикального дренажа осуществляется по трем этапам: подготовительная работа, бурение скважин, спуск фильтрового каркаса и засыпка гравия в затрубное пространство; строительные откачки для формирования устойчивого гравийного фильтра.

Успешное завершение бурения скважин во многом зависит от правильной организации подготовительных работ. До начала бурения скважин на строительную площадку следует завезти необходимое количество глины для приготовления глинистого раствора, а к концу бурения подготовить фильтровый каркас и нужное количество отсортированного гравия. Фильтровый каркас к моменту спуска необходимо покрыть с двух сторон коррозионноустойчивым лаком, а резьбу очистить от грязи и ржавчины. Объем гравия, необходимый для засыпки в затрубное пространство, определяется из условия

$$V = 0,785 K_y (D_{\text{скв}}^2 - d_{\text{ф}}^2) H \quad (3)$$

где $D_{\text{скв}}$ — диаметр скважины, м;

$d_{\text{ф}}$ — диаметр фильтрового каркаса, м;

H — глубина скважины, м;

K_y — коэффициент, по которому учитывается уплотнение обсыпки и дополнительное погружение гравия в забой при строительных откачках.

Величина этого коэффициента изменяется в зависимости от крупности фракции гравия, засыпанного в забой для формирования фильтра, и находится из соотношения $\frac{D_{50}}{d_{50}}$ (рис. 4) или по формуле

$$K_y = e^{0,009 \frac{D_{50}}{d_{50}}} \quad (4)$$

Все материалы, необходимые для бурения и устройства фильтров, на строительной площадке следует так располагать, чтобы они при

проходке скважин не затрудняли условия работ буровиков и не были отдалены от устья. При дальнейшем расположении этих материалов от устья скважин требуются дополнительные затраты на их перетаскивание в процессе работ.

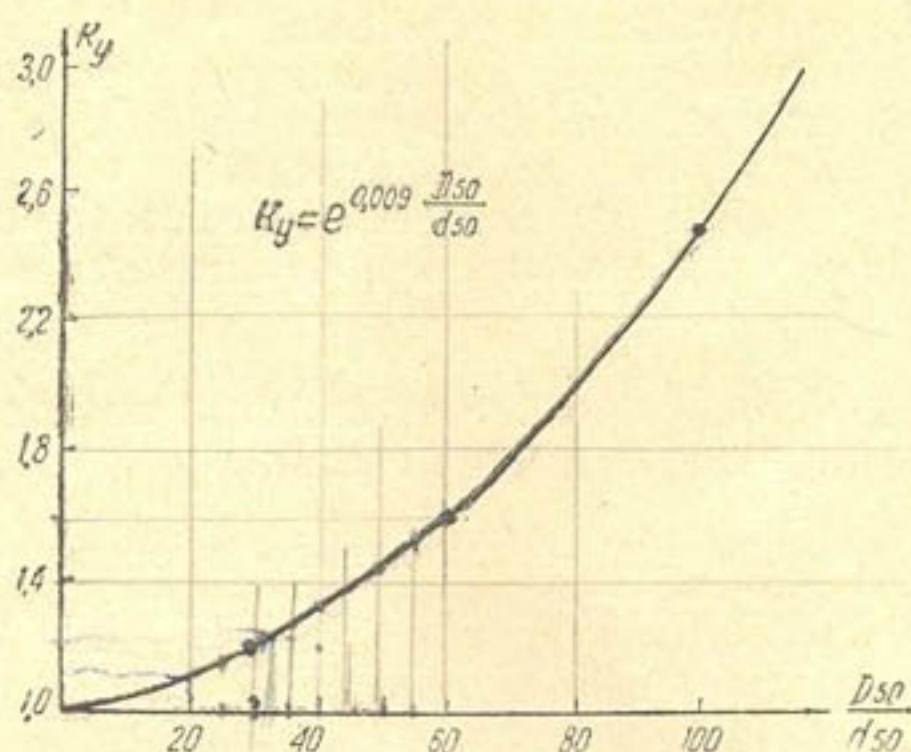


Рис. 4. Кривая для определения значения коэффициента уплотнения к дополнительной нагрузке гравия в период откачки.

Количество бурового оборудования для завершения строительства скважин в проектный срок зависит в основном от времени, затраченного на проходку одной скважины и от числа скважин на рассматриваемом массиве:

$$N_{б.о} = \frac{n T_{бур}}{T_{пр}}, \quad (5)$$

здесь $N_{б.о}$ — необходимое количество бурового оборудования для завершения строительства скважин в проектный срок;

n — количество скважин на рассматриваемом массиве;

$T_{пр}$ — срок завершения строительства скважин по проекту;

$T_{бур}$ — время, затраченное на бурение одной скважины. Оно определяется из условий

$$T_{бур} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_{прос}, \quad (6)$$

где T_1 — время, необходимое для подготовительных работ;

T_2 — время, которое требуется на проходку одной скважины;

T_3 — время, затраченное на промывку скважины по окончании бурения;

T_4 — время, нужное на спуск фильтровой колонны;

T_5 — время, затраченное на засыпку гравия в затрубное пространство;

$T_{прос}$ — время, необходимое на вынужденные простои буровых станков.

При ударно-канатном методе бурения скважин на завершение подготовительных работ затрачивается 5—6 дней, а при роторно-вращательном — 1,5—2 дня.

Если подготовительная работа выполняется отдельной бригадой, то время, необходимое для завершения подготовительных работ, намного сокращается. В этом случае, оно затрачивается только на монтаж бурового оборудования. Для выполнения этой работы ударно-канатным способом требуется около 4—5 маш/смен, при роторно-вращательном бурении — до одной маш/смены.

Время, затрачиваемое на проходку скважины T_2 , определяется из соотношения

$$T_2 = \frac{H}{v} + t_2 \frac{H}{l} + t_3; \quad (7)$$

здесь t_2 — время, которое требуется на завинчивание бурильных труб (наращивание штанги) при проходке скважин (при бурении скважин роторно-вращательным станком это время определяется 5—7 мин.);

t_3 — время, затраченное на замену переработанного глинистого раствора на свежий раствор (в процессе бурения для улучшения условий образования глинистой корки на стенках скважин и ускорения выноса пробуренного шлама на поверхность земли; раствор, находящийся в забое, периодически заменяется свежим раствором);

l — длина бурильных труб;

v — скорость проходки бурового станка.

Время, нужное для замены переработанного глинистого раствора на свежий, устанавливается по объему раствора, находящегося в скважине, и зависит от производительности грязевого насоса. При этом каждый раз в процессе бурения меняется глубина скважины, что в свою очередь изменяет объем заменяемого глинистого раствора:

$$t_2 = \frac{0,785 (D_{\text{скв}}^2 - d_{\text{б.т}}^2) H}{q_{\text{г.н}}} \quad (8)$$

при роторно-вращательном бурении и

$$t_2 = \frac{0,785 D_{\text{скв}}^2 H}{q_{\text{г.н}}} \quad (9)$$

при бурении ударно-канатным станком,

где $q_{\text{г.н}}$ — производительность грязевого насоса;

$d_{\text{б.т}}$ — диаметр бурильных труб.

Суммарное время, необходимое для замены проработанного глинистого раствора на свежий, при бурении скважин глубиной 60 м составляет около 6—8 час.

Скорость проходки бурового станка зависит от категории пород и режима бурения, т. е. от правильного расчета производительности грязевого насоса и нагрузки на долото.

Для определенной категории пород производительность бурового станка при проходке скважин обусловлена в основном правильным подбором величины скорости восходящего потока глинистого раствора в скважине, т. е. мощность грязевого насоса.

Так, установлено [1, 3], что для обеспечения нормальной работы станка вращательного бурения скорость восходящего потока не должна быть меньше 0,5—1,0 м/сек.

Между тем в Голодной степи при бурении скважин большого диаметра мощности грязевого насоса и его увязке с производительностью бурового станка не уделяется должного внимания. Во всех случаях работа осуществляется одним насосом марки гр-11 или гр-9 с расходом 5—16,7 л/сек соответственно. Такая производительность грязевого насоса при диаметре проходки скважин 900—1000 мм дает скорость восходящего потока в 10—15 раз меньше, чем критерий, указанный выше.

Поэтому для увеличения производительности станка и улучшения организации работ по бурению количество грязевых насосов необходимо подбирать на основании диаметра скважин. Оно может определяться из условия

$$n_{г.н} = \frac{0,785(D_{скв}^2 - d_{б.т}^2)v}{q_{г.н}}, \quad (10)$$

где $n_{г.н}$ — необходимое количество грязевых насосов;

v — допустимая скорость восходящего потока в скважине, $м/сек$;

$q_{г.н}$ — производительность грязевого насоса, $л/сек$.

Таким образом, правильный расчет производительности грязевых насосов — скорости восходящего потока глинистого раствора в скважине — дает возможность увеличить скорость проходки бурового станка.

Время, затраченное на промывку скважин облегченным глинистым раствором перед спуском фильтрового каркаса, зависит от объема глинистого раствора, а также от производительности грязевого насоса, оно вычисляется по формуле

$$T_3 = \frac{0,785(D_{скв}^2 - d_{б.т}^2)}{q_{г.н}}. \quad (11)$$

Время, необходимое на спуск фильтрового каркаса, зависит от длины одной трубы, глубины скважины, а также от времени, затрачиваемого на завинчивание труб, и оно определяется по соотношению

$$T_4 = \frac{H}{l_{б.т}} (t_4 + t_5 + t_6); \quad (12)$$

здесь t_4 — время, нужное на завинчивание труб фильтрового каркаса;

t_5 — время, затраченное на подтягивание, подъем труб к мачте станка и их центровку при соединении;

t_6 — время, которое требуется на спуск фильтрового каркаса в забой.

В практике строительства скважин в Голодной степи затрата времени составляла

$t_4 = 40-45$ мин. на завинчивание труб,

$t_5 = 8-10$ мин. на подъем и центровку труб,

$t_6 = 5-10$ мин. на спуск одной трубы.

Время, затраченное на засыпку гравия в забой, зависит от глубины скважин, диаметра бурения и фильтрового каркаса, а также от производительности засыпки гравия в забой; оно рассчитывается по формуле

$$T_5 = \frac{0,785(D_{скв}^2 - d_{ф.к}^2)}{q_3}, \quad (13)$$

где q_3 — производительность засыпки гравия в забой, $м^3/час$.

При строительстве в Голодной степи скважин вертикального дренажа засыпка гравия в забой осуществляется в основном вручную, и объем засыпки составляет $2-3 м^3/час$.

В совхозе „Пахтаарал“ гравий засыпают в забой полумеханизированным способом, т. е. используется специальный совок емкостью $0,1-0,15 м^3$. К устью скважины совок подтягивают буровым станком. При таком полумеханизированном способе производительность засыпки гравия в затрубное пространство составляло $5-6 м^3/час$.

Затраты времени на бурение скважин глубиной 60 м, диаметром 900—1000 мм рассчитаны по данным исследований в Голодной степи (см. табл. 7), а фактические затраты времени на бурение скважин— на опытно-производственных участках (табл. 8).

Таблица 7

Расчетные затраты времени на бурение скважин глубиной 60 м

Метод бурения	Затраченное время, маш/смен							На строительство 1 поз. м. скважины
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	$T_{пр}$	T	
Роторно-вращательный . .	1,5	9	1	1	1,5	1	15	0,25
Ударно-канатный	4	18	1	1,5	1,5	1	27	0,45

Таблица 8

Величина фактических и расчетных затрат времени

Номер скважины	Методы бурения, м	Глубина бурения, м	T_p	T_f	T_p
			маш/смен		T_f
1	Ударно-канатный (Шурузякский)	75	89	30	3
2		67,5	85	20	4,2
3		82,5	105	20	5,0
17	Ударно-канатный (Пахтааральский)	63,0	80	25,0	3,2
22		57,5	72	20,0	3,6
23		66	83	27,0	3,0
4	Роторно-вращательный (Пахтааральский)	48	33,0	7,5	4,3
6		50,5	41,0	10,5	4,0
8		68	55,0	18,5	3,0
22		68	55	12,0	4,5
24		66	54	8,0	6,7
25		66	54	9,3	5,5
29		61	50	7,0	7,0

Примечание. T_p — затраты времени по расценкам;
 T_f — фактические затраты времени на бурение скважин, включая спуск фильтрового каркаса и засыпку гравия в забой.

Из табл. 7 и 8 видно, что при наличии всех материалов, необходимых для бурения (глина, гравий, фильтровой каркас и др.), строительство скважин глубиной 60 м можно закончить, используя роторно-вращательный станок в течение 15 маш/смен и ударно-канатный— 27 маш/смен.

В большинстве случаев по окончании проходки скважин до проектной глубины станки часто простаивают из-за отсутствия гравия или неподготовленности фильтрового каркаса. Иногда время, затраченное на простои по указанным выше причинам, достигает 10—15 дней.

Практика строительства скважин большого диаметра показала, что фактические затраты времени на бурение (включая спуск фильтровой колонны и засыпку гравия в забой) намного меньше (в 3—7 раз), чем затраты времени по единичной расценке, составленной на основании СНиПа, утвержденного Госстроем (см. табл. 7).

Следовательно, нормирование бурения скважин большого диаметра еще достаточно не изучено и те нормы, которые заложены в СНиП, требуют доработки.

Хронометрирование по бурению и корректировке норм СНиПа дало бы возможность минимум в два раза снизить затраты на строительство, а это в свою очередь уменьшило бы на 10—15% затраты на эксплуатацию скважин вертикального дренажа в результате снижения амортизационных отчислений.

Кроме того, пересмотр норм по бурению скважин большого диаметра позволяет намного улучшить организацию производства строительства вертикального дренажа, так как большинство организаций по бурению скважин все простои, связанные с плохой организацией труда, перекрывают завышенными нормами расценок.

Известно, что строительство скважин завершается строительными откачками, в процессе которых обычно происходит формирование устойчивого фильтра. Поэтому затраты времени на бурение скважин должны быть увязаны с затратами времени на строительные откачки. Иначе говоря, количество бурового оборудования, необходимого для строительства скважин в проектный срок, следует согласовать с тем количеством оборудования, которое требуется для проведения строительных откачек. Количество оборудования для формирования фильтра обуславливается продолжительностью строительных откачек, проводимых до получения максимального дебита.

Как отмечалось выше, продолжительность строительных откачек зависит от многих факторов: от фракционного состава грунта водоносного пласта и гравийной обсыпки, от величины дебита, толщины гравийной обсыпки, длины фильтра и, наконец, от режима откачки.

В Голодной степи при толщине гравийной обсыпки 137—237 мм продолжительность строительных откачек изменялась в зависимости от условий. Так, в Шурузякском понижении, где водоносный пласт представлен гравелистыми песками при дебите скважин 100—110 л/сек, время, затраченное на откачки, равнялось 10—15 суткам, а там, где водоносный пласт выражен мелкозернистыми песками при дебите скважин 50—75 л/сек, — от 15 до 70 суток.

Такой широкий предел изменения продолжительности строительных откачек объясняется неправильным подбором фракционного состава гравийной обсыпки.

В условиях, где водоносный горизонт представлен разномзернистыми песками (при определенной толщине гравийной обсыпки и определенном расходе), продолжительность строительных откачек увеличивается почти прямо пропорционально соотношению среднего диаметра гравийной обсыпки к среднему диаметру грунта водоносного пласта. С увеличением толщины фильтра резко уменьшается продолжительность откачки и, наоборот, повышение дебита скважин вызывает возрастание сроков формирования фильтра. Так, например, в Голодной степи при формировании фильтра получены зависимости

Q, л/сек	65	65	65	65	65	65	65	50	65	70
г, мм	287	287	287	287	400	550	500	237	237	237

$\frac{D_{50}}{d_{50}}$	35	50	75	100	50	60	75	35—40	40	40
T , сутки	15	25—30	40—45	60—70	20	25	30	15—17	25	30

На основании анализа этих материалов предлагается формула для определения продолжительности срока строительных откачек:

$$T_o = \frac{D_{50}}{d_{50}} K l_g V \bar{Q} \quad 0,71 \quad (14)$$

где D_{50} — средний диаметр частиц гравийной обсыпки, мм;

d_{50} — средний диаметр частиц грунта водоносного пласта, мм;

T_o — продолжительность строительных откачек, необходимых для образования максимального дебита скважин в сутках;

Q — дебит скважины, л/сек;

K — коэффициент, по которому учитывается толщина гравийной обсыпки; он определяется из рис. 5 или по формуле

$$K = \frac{0,68 - r}{0,59}; \quad (15)$$

здесь r — толщина гравийной обсыпки, м.

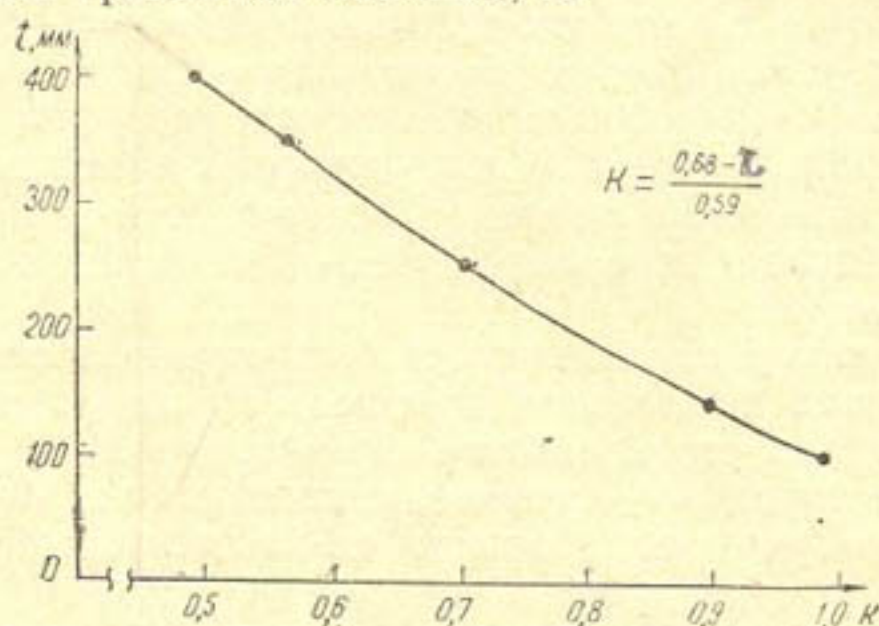


Рис. 5. Кривая для определения коэффициента K , зависящего от толщины гравийной обсыпки.

Для достижения максимального дебита скважин строительная откачка сначала проводится одним, а затем двумя компрессорами. Продолжительность строительных откачек двумя компрессорами составляет почти половину времени, затраченного для формирования фильтра. Следовательно, общее количество оборудования, нужного для строительных откачек, в проектный срок завершения строительства скважин определяется из уравнений

$$N_{\text{ком}} = \frac{T_o}{T_{6p}} 1,5 N_{6.0} \quad (16)$$

или

$$N_{\text{ком}} = 1,5 \frac{D_{50} K l_g V \bar{Q}}{T_{\text{пр}} d_{50}} \quad 0,75 \quad (17)$$

После уточнения количества оборудования для бурения и строительных откачек по Генеральному плану расположения скважин устанавливается фронт работ и составляется график работ по бурению; последний увязывается с графиком работ по строительной откачке. График работы буровых агрегатов тесно увязывается с графиком работ по проведению строительных откачек.

При составлении графиков движения бурового оборудования и компрессоров не следует допускать больших перерывов между окончанием проходки скважин и началом строительных откачек.

Практика показала, что основными причинами перерывов (простоев) при строительстве скважин является отсутствие достаточного количества дизельных станций и запасных частей к ним (при бурении ударно-канатным станком несвоевременная подготовка материалов, гравия, фильтрового каркаса и др.), а также отсутствие мощных компрессорных парков для откачки.

Для улучшения организации работ по бурению и строительным откачкам до максимального дебита, а также для ускорения пуска скважин в эксплуатацию лучше всего в первую очередь закончить строительство линий электропередачи подстанции и других.

В этом случае часть или все оборудование бурового станка можно подключить к постоянной сети электроэнергии, а дебит скважин довести до максимальной величины, т. е. раскочка скважины может осуществляться насосами.

Чтобы ускорить темпы бурения скважин и улучшить процесс строительных работ, материалы необходимо заготавливать централизованно.

Так, при карьере по заготовке гравия необходимо организовать завод по сортировке гравия крупностью 2—10 мм; 2—20 мм, 2—30 мм и мастерскую по изготовлению фильтрового каркаса. Она должна вырабатывать фильтровые каркасы различных размеров (ширина щели 4 × 250 мм, 5—250 мм, 6—250 мм, диаметр отверстий от 7 до 12—15 мм) и форм отверстий, также со скважностью от 15 до 25-30%. При мастерской нужно создать условия для покрытия труб коррозионно устойчивым лаком.

Только при такой организации работ строительство скважин может осуществляться на высоком уровне. Наиболее легким и быстрым процессом работ при строительстве скважин является проходка скважин, а наиболее трудным — строительные откачки. Между этими двумя процессами получаются разрывы из-за длительности последнего процесса.

В более выгодном положении оказывается бригада буровиков. В связи с этим для ликвидации разрыва между бурением и строительными откачками, а также для улучшения организации работ по строительству необходимо создать единую бригаду, включив в бригаду буровиков необходимое количество оборудования и соответственно производителей для строительных откачек. Нужно учесть, что строительство скважин состоит из двух неразрывных процессов — проходки и формирования фильтра, за правильным осуществлением которого должна отвечать одна бригада. Оплату рабочих следует производить сдельно в соответствии с классификацией их.

Организация такой комплексной бригады и осуществление непрерывного процесса работ единой бригадой даст возможность заинтересовать всех работников, участвующих при строительстве скважин вертикального дренажа, и повысить ответственность буровиков за качество выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков И. М. Шарошечное бурение в горном деле, М., Госгортехиздат, 1962.
2. Панкратов П. А. Высокопроизводительные скважины, Сообщения Таджикского филиала АН СССР, вып. XXXI, 1951.
3. Суренянц Я. С. Водяные скважины, М., Минкомхоз РСФСР, 1957.
4. Якубов Х. Опыт строительства высокодебитных скважин в условиях мелкозернистого песка, „Социалистическое сельское хозяйство“, 1960, № 4.
5. Якубов Х. Новые методы строительства скважин большого диаметра, „Механизация хлопководства“, 1962, № 12.
6. Bennison E. W. Ground Water, its Development, NSES and Conservation, 1947.

Г. В. ЕРЕМЕНКО, А. УСМАНОВ

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ И РЕЖИМ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Неглубокое залегание грунтовых вод с повышенной минерализацией является причиной неблагоприятного мелиоративного состояния земель. Ежегодно проводящиеся агромелиоративные мероприятия в виде глубокой вспашки, запасных поливов и промывок не дают должного эффекта в рассолении этих площадей.

Легкорастворимые соли, смытые промывками в более низкие горизонты почвы, в период вегетации культур вновь поднимаются в верхние горизонты. На землях же с глубоким залеганием грунтовых вод, даже под действием только вегетационных поливов, происходит постепенное вымывание легкорастворимых солей в нижние горизонты почвы и опреснение верхних.

Снижения уровней грунтовых вод добиваются проведением различных мелиоративных мероприятий. Как правило, устраивается открытый горизонтальный дренаж. Но в некоторых районах в силу неблагоприятно сложившихся гидрогеологических условий этот вид дренажа не обеспечивает требований хозяйств.

Так, в четвертом отделении совхоза „Бешарык“ Кировского района Ферганской области в течение ряда лет (с 1940 по 1963 г.) проводились большие работы по мелиорации земель с помощью открытого горизонтального дренажа. Густота его доведена до 42 *пог. м/га* (глубина его от 2,5 до 3,5 м), а площадь отчуждения под ним составляет 11% орошаемой площади всего отделения. Однако необходимого снижения грунтовых вод не было достигнуто. Среднегодовая глубина их залегания не превышает 1,6 м от поверхности земли.

В вертикальном разрезе рассматриваемой территории, на глубине 30—40 м, можно выделить две зоны грунтовых вод. В первом, верхнем, водоносном горизонте грунтовые воды приурочены к мелкоземам (супесям, суглинкам, глинам с прослойками песков). Мощность мелкоземов колеблется от 6 до 15 м.

Эти воды имеют повышенную степень минерализации (от 3 до 24 г/л). Во втором, нижнем, водоносном горизонте подземные воды находятся преимущественно в галечниково-гравийно-песчаных породах, характеризующихся высоким коэффициентом фильтрации. Мощность данного горизонта 20—30 м и минерализация воды в нем не превышает 1,5 г/л (в основном до 0,6 г/л). Общее направление течения грунтовых вод наблюдается на север и северо-запад к Наукатской возвышенности с уклоном 0,003.

Предгорная равнина Наукатской возвышенности до глубины

50—100 м сложена переслаивающимися глинами, суглинками и супесями с очень небольшими прослойками песков, гравия и галечников. Здесь породы в основном обладают плохой водоотдачей. Поэтому Наукатская возвышенность является преградой на пути движения подземных вод и создает подпор последних. Грунтовые воды территории находятся в тесной гидравлической связи с напорной водой второго водоносного горизонта.

Описываемый массив обладает экстрааридными климатическими условиями — малыми количествами атмосферных осадков, низкими величинами относительной и абсолютной влажности воздуха, сравнительно высокими среднегодовыми температурами, резко выраженной континентальностью. Пустынный характер климата лишь в слабой степени смягчается орошением. Существенно важной константой для водного баланса данной территории является большая испаряющая способность атмосферы. Величина испарения в 10—15 раз превышает сумму годовых атмосферных осадков, а в наиболее теплый период года (май—сентябрь) в 40—45 раз.

В результате многолетних наблюдений за лизиметрической сетью, выяснилось, что величина испарения и транспирации грунтовых вод при глубине их 1,5 м на хлопковом поле равна $3700\text{—}4600\text{ м}^3/\text{га}\cdot\text{год}$. При залегании грунтовых вод на глубине 2,4 м, суммарная величина испарения и транспирации составляет уже $800\text{—}900\text{ м}^3/\text{га}\cdot\text{год}$, причем 80% ее приходится на вегетацию культур.

Если уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода выдерживать на глубине 2,2—2,4 м (что подтверждается и расчетами для почв тяжелого механического состава, которым характеризуется исследуемая территория), то расход их на испарение и транспирацию будет незначительным и практически не будет оказывать действия на реставрацию статических запасов солей грунтовых вод и солей, вымытых в грунтовую воду и в глубокие горизонты почвы во время вегетационных поливов и промывок.

Добиться указанной величины снижения уровня грунтовых вод с помощью дальнейшего развития горизонтального открытого дренажа нецелесообразно, так как придется не только увеличивать его густоту в 1,5 раза, но и заглубить не менее, чем на 3,5 м.

В подобных гидрогеологических условиях задачи коренной мелиорации земель целесообразнее решать посредством вертикального дренажа.

С помощью насосных установок вертикального дренажа откачивается вода из нижнего водоносного горизонта, ликвидируется напорность последнего, в результате чего создаются условия снижения уровней грунтовых вод. Вертикальный дренаж позволяет регулировать пьезометрический напор во втором хорошо проницаемом пласте, подстилающем покровные суглинистые отложения. Своей работой он увеличивает дренированность покровных отложений, надежно гарантирует невозможность вертикального перемещения грунтовых вод снизу вверх, а в сочетании с агромелиоративными мероприятиями будет способствовать рассолению земель и созданию условий для необратимых процессов рассоления.

В пределах рассматриваемой территории четвертого отделения сооружено семь скважин вертикального дренажа. Шесть скважин оснащены насосами и двигателями. Одна скважина расположена в центре исследуемого массива, остальные — вокруг нее на расстоянии 860—1200 м одна от другой (рис. 1). Между основными скважинами на различных расстояниях заложены парные наблюдательные скважи-

ны-пъезометры. Каждая пара пьезометров состоит из одного мелкого для замеров уровней грунтовой воды в покровных отложениях и глубокого с фильтром в пределах второго водоносного горизонта, из которого и производится откачка. С помощью глубоких пьезометров замеряются пьезометрические напоры эксплуатационного горизонта.

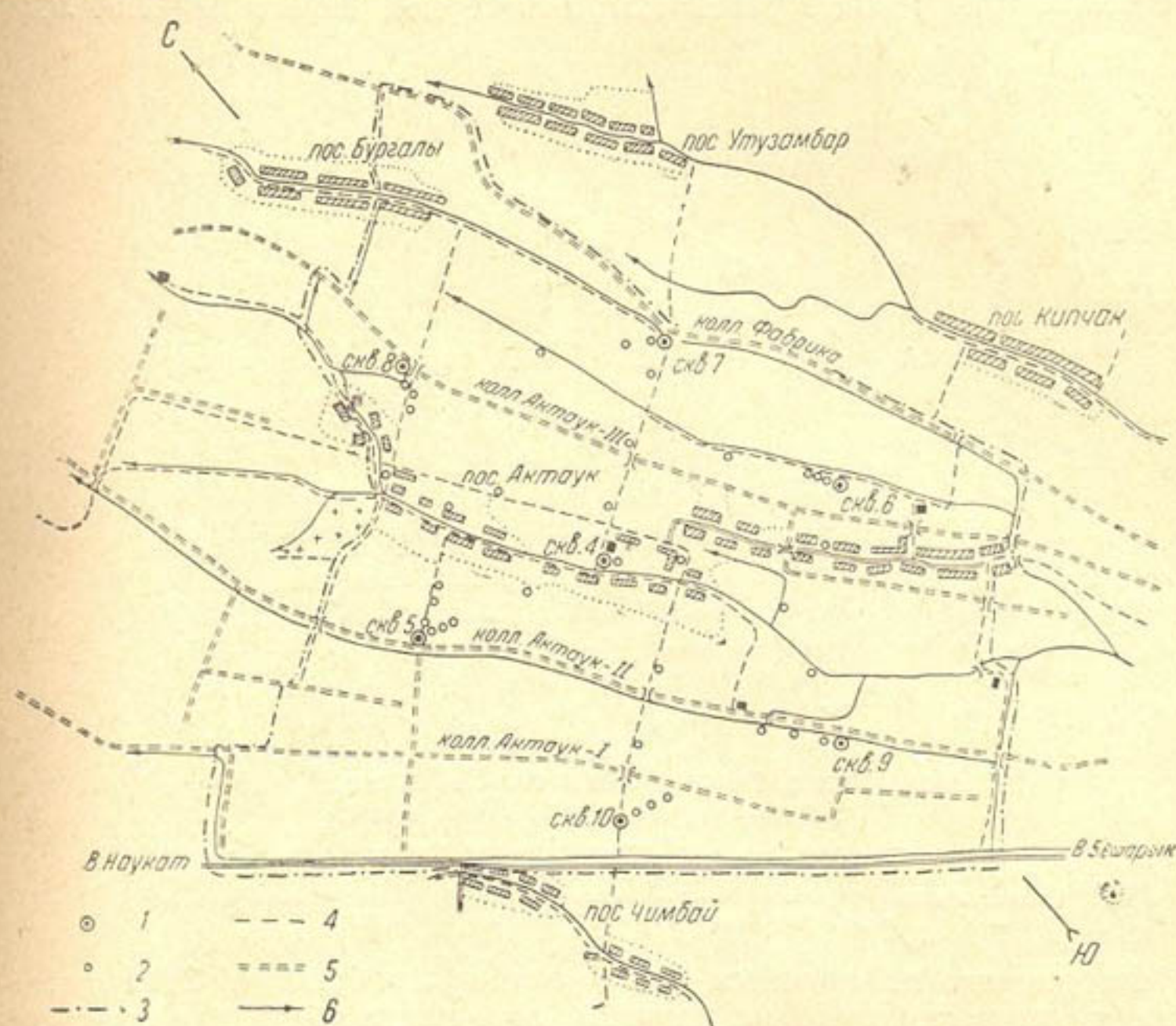


Рис. 1. Схема опытно-производственного участка вертикального дренажа;
1— эксплуатационные скважины; 2— пьезометры; 3— границы балансового участка; 4— дороги;
5— коллекторы; 6— оросители.

В течение 1962 г. по всей сети пьезометров участка мы наблюдали и исследовали изменения пьезометрических напоров и уровней грунтовых вод при различных режимах откачек.

Каково влияние вертикального дренажа на режим напорных и грунтовых вод, можно проследить по рисункам 2, 3 и 4. На рис. 2 представлена депрессионная кривая скважины Д-5 после 24 дней постоянной работы с расходом воды 37 л/сек (номинальный расход этой скважины 70 л/сек). При такой работе скважины радиус ее влияния на грунтовые воды распространяется на 550 м, причем в радиусе 400 м грунтовые воды удерживаются на глубине 2,8 м и более. Из рис. 4 видны колебания уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров в естественном режиме. Пьезометры № 69 и 70 находятся в пределах исследуемой территории, но вне зоны влияния вертикального дренажа. Здесь уровень грунтовых вод с марта по первую декаду июня понижается с глубины 1,10 м от поверхности земли до 2,05 м. Затем он в наиболее жаркие месяцы вегетационного периода вследствие поливов повышается и к середине августа устанавливается на глуби-

не 1,3 м, причем режим грунтовых вод такой же, как и напорных. Напорные воды постоянно подпитывают грунтовые. Со второй декады августа по первую декаду октября вновь происходит спад грунтовых и напорных вод до 2,05 м, а затем до апреля следующего года уровень их возрастает. Средне-годовой уровень залегания грунтовых вод в естественном режиме равен 1,57, а в период вегетации—1,64 м.

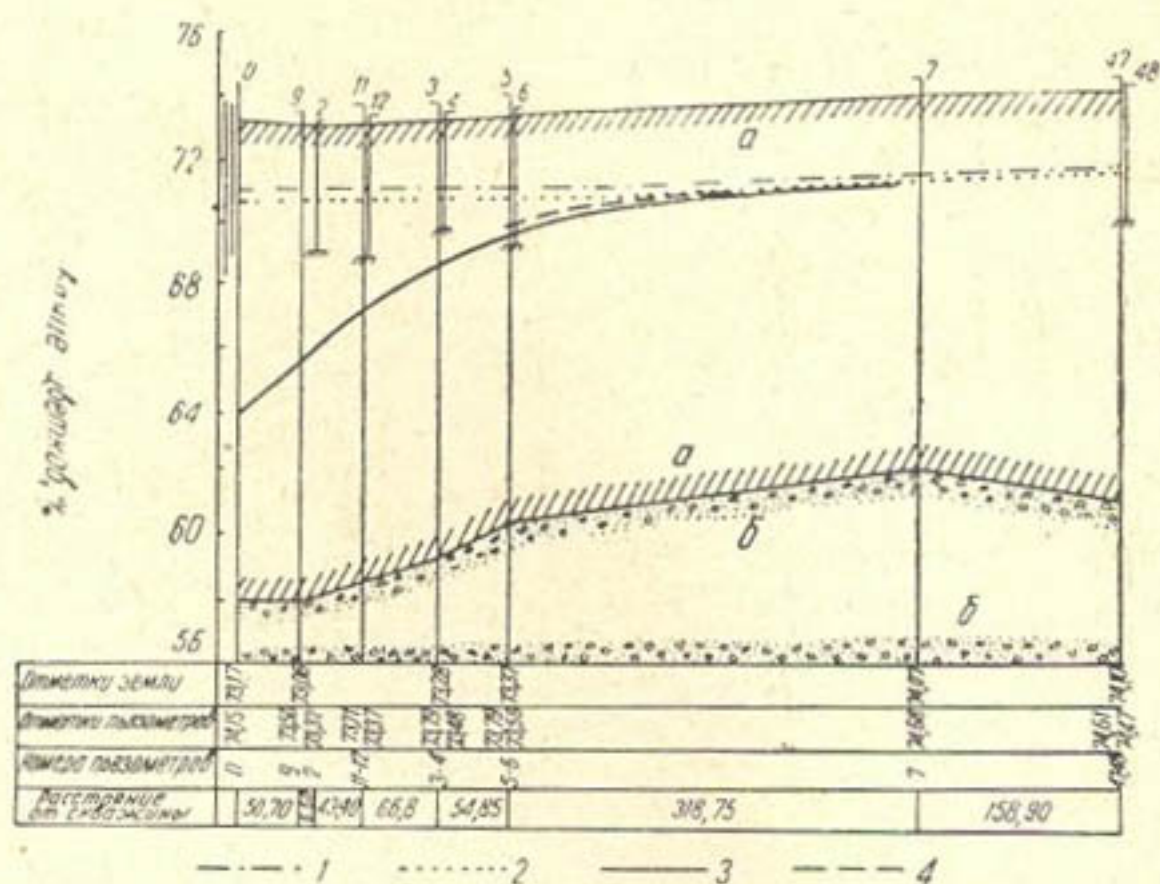


Рис. 2. Депрессионная кривая скв. Д-5 после 24 дней постоянной работы при $Q=37$ л/сек:

1—пьезометрический напор до откачек; 2—уровень грунтовых вод до откачек; 3—пьезометрические напоры во время откачки; 4—уровень грунтовых вод во время откачки. *а*—суглинок плотный с прослойками мелкозернистого песка; *б*—песок с включением гравия.

Иная картина наблюдается при рассмотрении рис. 4. Здесь представлены кривые колебания уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров под действием работы скважин вертикального дренажа. Пьезометры № 47 и 48 находятся на определенном расстоянии от

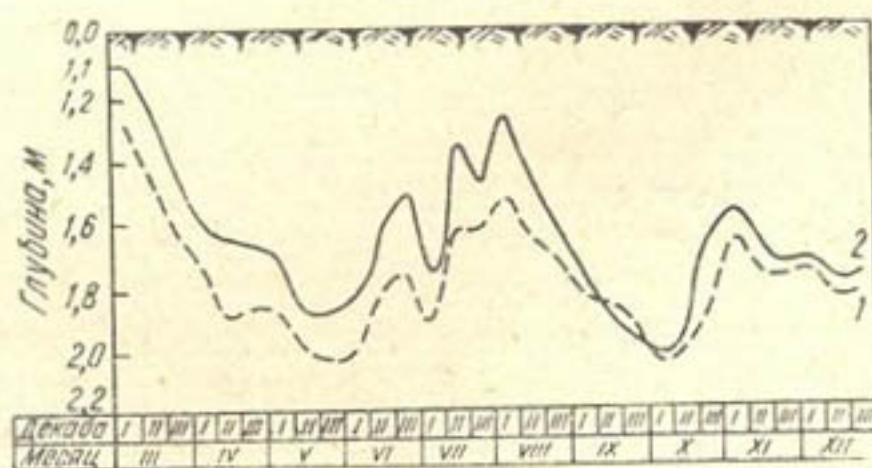


Рис. 3. Колебания уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров (естественный режим):

1—уровень грунтовых вод (пьезометр № 70);
2—пьезометрический напор (пьезометр № 69).

скважин: Д-7—950 м, Д-8—650 и Д-5—700 м, фактически в самом конце зоны действия этих скважин. Однако, несмотря на сравнительно большое удаление указанных пьезометров от скважин вертикального

дренажа, уровни грунтовых вод и пьезометрические напоры в них весь период исследований понижаются. Здесь уже не отмечается таких резких колебаний уровней, как при естественном режиме. Уровни грунтовых вод регулируются величинами откачек: чем больше суммарный коэффициент работы скважин, тем быстрее и на большие величины понижаются напорные и грунтовые воды (имеется в виду, что величины расходов скважин постоянные). Здесь уже среднегодовое залегание грунтовых вод равно 2,1 м, а в период вегетации — 2,4 м.

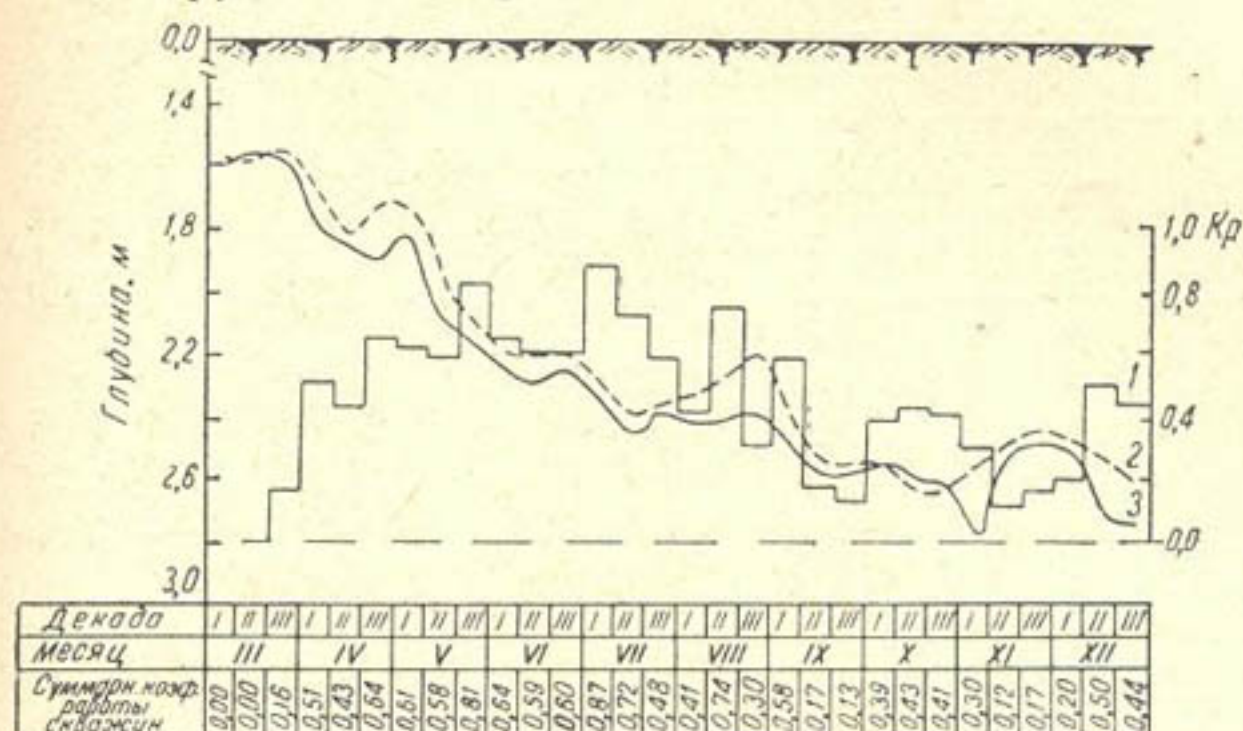


Рис. 4. Колебания уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров под действием работы скважин Д-5, Д-7, Д-8:

1 — суммарный коэффициент работы скважины; 2 — уровень грунтовых вод (пьезометр № 48); 3 — пьезометрический напор (пьезометр № 47).

В пьезометрах, расположенных ближе к эксплуатационным скважинам, среднегодовые уровни залегания грунтовых вод были намного ниже. Например, в пьезометре № 6, расположенном в 225 м от эксплуатационной скважины Д-5, за вегетацию средняя глубина залегания грунтовых вод составляла 3,2 м, а в пьезометре № 4, расположенном на расстоянии 170 м от Д-5, — более 5,0 м.

На землях вокруг скважины Д-5 культивировался хлопчатник, который в период вегетации четыре раза поливался при норме полива 1250—1300 м³/га.

Для выяснения влияния вертикального дренажа на рассоление почво-грунтов и грунтовых вод на расстоянии 25, 50, 100 и 200 м от скважины Д-5 весной (в начале марта) и осенью (конец октября) взяты образцы почв на химический анализ. Образцы почв брались с горизонтов 0—10, 10—20, 30, 50, 70, 100 см и далее до глубины грунтовых вод через 50 см.

Грунтовая вода для химического анализа отбиралась из всех пробуренных скважин и мелких пьезометров, находящихся вблизи скважин вертикального дренажа. Кроме того, на анализ брали пробы воды (тоже весной и осенью) из глубоких пьезометров и из эксплуатационных скважин (табл. 1, 2, 3 и 4).

Из табл. 1 видно, что под действием вегетационных поливов (орошительная норма составляла 5100 м³/га) на фоне вертикального дренажа произошло рассоление метрового слоя почво-грунтов, в среднем на 16,5 т/га.

Данные табл. 2 и 3 показывают, что концентрация воды второго — эксплуатационного горизонта увеличивается. Это говорит о том, что

между слабоминерализованной водой эксплуатационного горизонта и грунтовой водой с повышенной минерализацией существует гидравлическая связь. Из скважины вертикального дренажа откачивается смесь этих вод.

Минерализация откачиваемой смеси вод незначительна (как видно из таблиц, не превышает 0,7 г/л за исключением скважины Д-7) и вполне пригодна для орошения.

Таблица 1

Изменение запасов солей в метровом слое почвы вокруг скважины Д-5

Номер выработки	Расстояние между выработкой и скважиной Д-5, м	Запасы солей, т/га при солевых съемках		Разница, т/га
		весенней	осенней	
I	25	151,49	141,44	—10,5
II	50	241,18	199,23	—41,95
III	100	23,95	250,20	+15,25
IV	200	316,99	287,78	—29,21
Среднее на орошаемую площадь в радиусе 200 м, т/га	—	236,1	219,6	—16,5

Таблица 2

Изменение минерализации воды, откачиваемой из скважин вертикального дренажа

Номер эксплуатационной скважины	Минерализация, г/л					
	весной			осенью		
	Cl'	SO ₄ "	плотный остаток	Cl'	SO ₄ "	плотный остаток
Д-4	0,015	0,028	0,215	0,020	0,038	0,255
Д-5	0,020	0,057	0,302	0,025	0,134	0,458
Д-6	0,020	0,115	0,417	0,025	0,172	0,500
Д-7	0,070	0,691	1,334	0,080	0,883	1,571
Д-8	0,020	0,057	0,339	0,015	0,096	0,369
Д-9	0,025	0,326	0,553	0,030	0,364	0,650
Д-10	0,020	0,140	0,440	0,025	0,268	0,602

В периоды изменения режима работы или остановок скважин часть объема откаченной грунтовой воды замещается слабоминерализованной водой второго горизонта. Ввиду периодического смешивания этих вод наблюдается опреснение грунтовой воды (см. табл. 4).

Результаты анализов точек А и Б (см. табл. 4) представляют собой среднеарифметические величины пяти анализов проб, взятых по площади отдельных участков. В зонах действия скважин Д-7 (для точки Б) на расстоянии 150 м и для Д-6 (для точки А) на расстоянии 80—100 м намечено два участка. Площадь каждого участка 1,0 га. Пробы воды для анализа отбирали весной и осенью по одним и тем же точкам — по углам участков и в середине их. Как по точечным

Т а б л и ц а 3

Изменение минерализации воды в глубоких наблюдательных пьезометрах

Номер пьезометра	Минерализация, г/л					
	весной			осенью		
	Cl'	SO ₄ "	плотный остаток	Cl'	SO ₄ "	плотный остаток
3	0,020	0,268	0,485	0,025	0,268	0,568
5	0,020	0,172	0,362	0,015	0,192	0,451
11	0,015	0,115	0,343	0,010	0,144	0,423
21	0,020	0,144	0,439	0,015	0,238	1,239
35	0,020	0,451	0,864	0,090	0,845	1,489
41	0,030	0,345	0,858	0,050	0,556	1,049
47	0,035	0,384	0,949	0,040	0,480	0,998
51	0,025	0,326	0,553	0,030	0,364	0,650
53	0,025	0,207	0,628	0,025	0,345	0,784
57	0,020	0,288	0,524	0,035	0,326	0,615

Т а б л и ц а 4

Изменение минерализации грунтовой воды в пьезометрах

Номер мелких пьезометров	Минерализация, г/л					
	весной			осенью		
	Cl'	SO ₄ "	плотный остаток	Cl'	SO ₄ "	плотный остаток
12	0,070	1,497	2,442	0,015	0,326	0,789
36	1,010	6,064	13,063	0,810	6,835	11,396
52	0,030	1,900	2,929	0,020	1,670	2,415
54	0,015	0,731	1,294	0,010	0,288	0,667
58	0,195	2,784	4,558	0,060	0,614	1,230
48	0,120	2,074	3,072	0,090	1,804	2,170
А	0,164	2,366	3,160	0,065	1,420	2,270
Б	0,388	8,555	12,496	0,230	5,432	7,920

анализам, так и по небольшим площадям, находящимся в зоне влияния скважин вертикального дренажа, отмечалось уменьшение концентрации грунтовых вод.

На основании изложенного выше, можно сделать выводы.

1. На площадях, где сравнительно небольшие по мощности (6—15 м) верхние суглинистые отложения (с плохими фильтрационными свойствами) подстилаются гравийно-галечниково-песчаными отложениями, имеющими напорные воды с плохим оттоком, задачи мелиорации земель целесообразнее решать с помощью вертикального дренажа.

2. Вертикальным дренажем можно регулировать режим грунтовых вод в требуемых пределах.

3. В зоне влияния вертикального дренажа при прерывистых откачках вследствие периодического смешивания напорных слабоминерализованных вод эксплуатационного горизонта с грунтовыми происходит рассоление последних.

4. На фоне работы вертикального дренажа под действием только вегетационных поливов наблюдается рассоление почво-грунтов.

Г. В. ЕРЕМЕНКО

РАССОЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ДРЕНАЖЕМ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ ФЕРГАНЫ

В интенсификации сельскохозяйственного производства, осуществляемой по решениям мартовского Пленума ЦК КПСС (1965 г.), большая роль отводится вопросам мелиорации засоленных и подверженных вторичному засолению земель.

В рассолении почв скрыты значительные резервы по увеличению урожая хлопка-сырца и повышению плодородия орошаемых земель. На засоленных почвах теряется не менее четверти урожая хлопка. Борьба с засолением почво-грунтов ведется главным образом с помощью грузных вегетационных поливов и промывок на фоне горизонтального дренажа.

Материалы производственных исследований (институты СоюзНИХИ и САНИИВПиГ), проведенных в Ферганской области, показали, что в зависимости от густоты, глубины и технического состояния коллекторно-дренажной сети, норм и качества промывок, степени и типа засоления почв и т. д. с грунтовой водой коллекторов выносятся 8—27 *т* солей в год с каждого гектара мелиорируемой площади.

В результате балансовых расчетов отмечено, что с территории Кокандской группы районов с коллекторно-дренажной водой построенного открытого горизонтального дренажа отводится в год 2 млн. 818 тыс. *т* солей. Если отнести весь этот сброс солей к орошаемой площади (148,21 тыс. *га*), то получим, что в среднем за год вымывается и сбрасывается в р. Сырдарью по 19 *т/га*. Приняв в основу расчетов данные по минерализации коллекторно-дренажных и грунтовых вод определенных контуров территории и по дренажному модулю, подсчитали, что ежегодный вынос солей за пределы орошаемых земель в зоне слабого руслового выклинивания и с центральных частей конусов выноса рек Исфары и Соха составляет 8—12 *т/га*, а с периферийных частей конусов выноса, межконусных понижений и аллювиальной долины р. Сырдарьи — 25—27 *т/га·год*.

Двукратная, сравнительно детальная (на каждую выработку приходилось 50 *га*) солевая съемка, проведенная (1959—1963 гг.) работниками Ферганского областного управления оросительных систем и экспедицией САНИИВПиГ под руководством Р. А. Гейнца показала, что значительные площади рассматриваемой территории пока находятся в неблагоприятном мелиоративном состоянии. Из 228,48 тыс. *га* только 22,25 тыс. не требуют мелиорации. Вся остальная площадь в различной степени засолена, вследствие чего она нуждается в регулярных агротехнических и мелиоративных мероприятиях. На 128,73 тыс. *га*, или 56,4%, почвы имеют среднюю и сильную степень засоления.

Коллекторно-дренажная сеть здесь развита довольно густо. Глубина ее в основном 2,2—3,0 м (табл. 1).

Густота коллекторно-дренажной сети в зависимости от гидрогеологических особенностей местности варьирует в значительных пределах.

В зоне выклинивания грунтовых вод Исфаринского гидрогеологического района общая протяженность коллекторно-дренажной сети равна 20,4 км, что в среднем составляет 6,7 м/га брутто.

Таблица 1

Удельная протяженность дренажа по районам

Район	Общая протя- женность сети	Протяженность первичных дрен	Орошаемая площадь брут- то, га	Удельная про- тяженность, м/га	Первичные дрены, % от общей протя- женности сети
	км				
Алтыарыкский (Куй- бышевская часть)	462,11	291,6	18932	24,4	63
Ленинградский	980	442,3	50365	19,5	45
Папский (Фрунзен- ская часть)	227	70,81	14104	16,1	31
Узбекистанский	615	228,0	32551	19	37
Кировский	676	209,0	32258	21	31
Всего по Коканд- ской группе райо- нов	2960,11	1241,71	148210	19,97	42

В зоне выклинивания грунтовых вод Сохского гидрогеологического района общая протяженность сети 175,1 км, или в среднем—5,7 м/га брутто. В отдельных местах этих зон удельная протяженность дренажа достигает 15—19 м/га.

В пределах аллювиально-пролювиальной долины р. Сырдарьи построена коллекторно-дренажная сеть длиной 181,5 км, что составляет всего 7,3 м/га брутто. Но здесь освоены площади неполностью. В тех местах, где осуществляется хозяйственное использование земель, удельная протяженность дренажа равна 28 м/га.

Вся остальная коллекторно-дренажная сеть (2583 км) расположена в зоне неглубокого залегания грунтовых вод, на периферии конусов выноса рек Исфары и Соха и в межконусных понижениях. Здесь удельная длина ее в основном варьирует в пределах 16—27, достигая в отдельных местах 40—45 м/га, а в межконусных понижениях—64 м/га дренируемой площади.

Однако, несмотря на сравнительно густо развитую коллекторно-дренажную сеть, рассоление земель проходит очень медленно. Статистические запасы солей в почво-грунтах большие. Данные исследований и расчетов показывают, что для опреснения почв Кокандской группы районов до пределов, требуемых хозяйствами (по плотному остатку до 0,6% и по иону хлора до 0,02% от веса сухой почвы), с помощью существующего горизонтального дренажа потребуется более 30 лет.

Перед мелиораторами стоит важная задача—в определенных гидрогеологических и хозяйственных условиях апробировать и разработать наиболее рациональные методы опреснения грунтовых вод и удаления солей из корнеобитаемого слоя почвы мелиоративно неблагоприятных территорий. В гидрогеологических условиях Кокандской

группы районов на площади более 60 тыс. га для мелиорации земель возможно применение вертикального дренажа.

В 1959—1961 гг. в Кировском районе на староорошаемых землях, занятых хлопчатником, был построен опытно-производственный участок вертикального дренажа из 7 скважин. На этом участке в 1962—1963 гг. мы проводили исследования по рассолению земель с помощью скважин вертикального дренажа.

Методика установления статических запасов солей и анализ изменения их в почво-грунтах под влиянием вертикального дренажа были следующие. На определенных расстояниях от эксплуатационных скважин (по створам между скважинами) намечали опытные деланки

Таблица 2

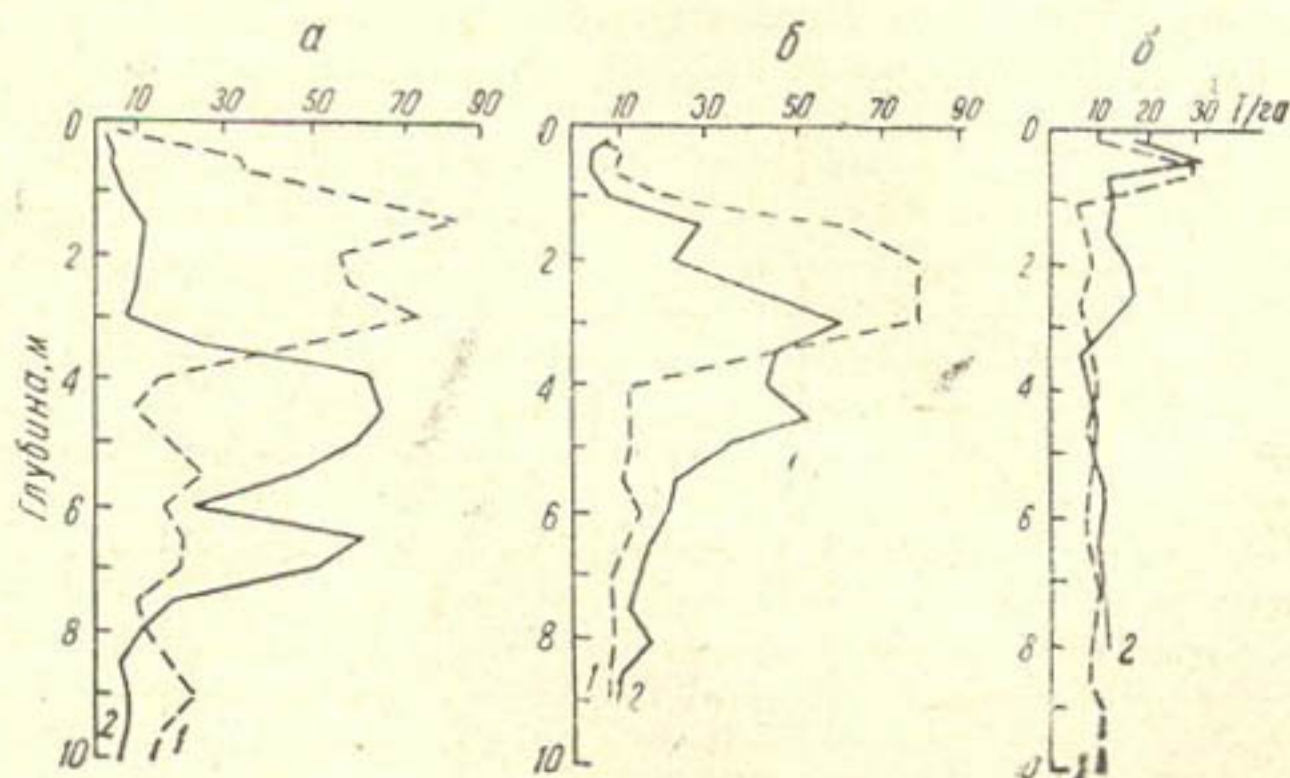
Динамика запасов солей почво-грунтов в створе скв. № 6 и 7

Номер выработки	Время отбора проб	Расстояние от скв. № 6 до места выработки, м	В первом метре слоя	Во втором метре слоя	Всего в двух метрах	В третьем метре слоя	Всего в трехметровом слое
			т/га				
1	Весна (апрель)	25	32,19	26,77	58,96	24,08	83,04
	Осень (октябрь)		15,85	20,86	36,71	20,86	57,57
2	Весна	50	17,12	17,17	34,29	16,46	50,75
	Осень		22,46	19,87	42,33	21,14	63,47
3	Весна	100	64,76	57,17	121,93	58,46	180,39
	Осень		69,99	30,57	100,56	37,84	138,40
4	Весна	200	35,28	123,36	158,64	161,99	320,63
	Осень		91,35	37,12	128,47	29,76	158,23
5	Весна	300	52,26	49,83	102,09	45,03	147,12
	Осень		40,06	41,21	81,27	57,43	138,70
6	Весна	460	54,26	52,30	106,56	21,35	127,91
	Осень		21,43	15,14	36,57	70,11	106,68
1'	Весна	895	16,52	16,26	32,78	33,54	66,32
	Осень		24,64	24,67	49,31	49,65	98,96
2'	Весна	870	78,65	94,20	172,85	79,98	252,89
	Осень		46,30	105,71	152,00	72,69	224,69
3'	Весна	820	28,29	63,48	91,77	68,16	159,93
	Осень		91,31	114,26	205,57	105,33	310,90
4'	Весна	720	40,09	63,45	103,54	57,89	161,43
	Осень		24,03	29,87	53,90	36,10	90,00
5'	Весна	620	157,79	135,37	293,16	59,63	352,79
	Осень		30,23	34,86	65,09	29,49	94,58
Итого	Весна	—	577,21	699,36	1276,57	626,57	1903,14
	Осень		477,73	474,14	951,87	530,40	1482,27
Среднее по створу	Весна	—	52,5	63,5	116,0	57,0	173,00
	Осень		43,4	43,0	86,4	48,2	134,60
Изменение в запасах	—	—	—9,1	—20,5	—29,6	—8,8	—38,4

размером 2×2 или 3×3 м, на которых проводили выработки (пробурки) с послойным отбором проб грунта на химический анализ. На каждой делянке делали три выработки. Пробы почво-грунта отбирали по горизонтам 0—5, 10, 20, 30, 50, 70, 100 см и далее через 50 см до 3 м, а по некоторым выработкам до 10 м. Там, где выработки проводили глубиной до 10 м, пробы отбирали для химического анализа (после 3 м) только по одной из скважин. Образцы каждой делянки смешивали по одинаковым горизонтам и затем проводили их химический анализ, в результате которого определяли плотный остаток, анионную и катионную части солей в процентах от веса сухого грунта.

Данные солевых съемок показали, что в зоне влияния скважин под действием только вегетационных поливов (поливная норма 1,1—1,3 $\text{т} \cdot \text{м}^3/\text{га}$, оросительная норма 4,5—6,5 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$) произошло значительное опреснение почво-грунтов.

Так, в зоне влияния скв. № 7 в среднем запасы солей в 3-м слое грунта уменьшились на 43 $\text{т}/\text{га}$ при исходных их запасах 437 $\text{т}/\text{га}$; вокруг скв. № 8 и 5—на 55 и 42 $\text{т}/\text{га}$ соответственно при исходных



Изменение и перераспределение запасов солей в почвогрунтах под влиянием вертикального дренажа:

а— на расстоянии 150 м от скв. № 5; б— 300 м от скв. № 5; в— вне зоны влияния скв. № 5. 1—по солевой съемке 1962 г. (апрель); 2—по солевой съемке 1963 г. (октябрь).

их запасах 210—170 $\text{т}/\text{га}$. Результаты динамики запасов солей в почвогрунтах по одному из створов между эксплуатационными скважинами (расстояние между ними 920 м) приведены в табл. 2.

Анализ всех солевых съемок глубиной до 3 м показал, что определенной закономерности в рассолении почво-грунтов с удалением от эксплуатационных скважин не наблюдается. По солевым же съемкам на глубину более 3 м прослеживается определенная зависимость: чем дальше от скважины вертикального дренажа, тем с меньшей интенсивностью проходит рассоление почво-грунтов. По глубоким солевым съемкам было выявлено, что с глубиной засоление грунтов уменьшается и в зоне влияния скважин происходит не только вынос солей, но и перераспределение их запасов по вертикальному профилю (рисунок). Чем ближе к скважине, тем интенсивнее проходит рассоление и соли опускаются на большие глубины.

В зоне влияния скв. № 5 по выработке, расположенной в 150 м

от скважины, вынос солей из 10-м слоя грунтов составил 124,5 *т/га* а по выработке, находящейся в 300 м от скважины — 40 *т/га*. Вне зоны влияния скв. № 5 (в 1200 м) наблюдается накопление солей. Здесь запасы солей в 8-м слое грунтов возросли на 44,5 *т/га*, из них в зоне аэрации — на 10,1 *т/га*. В период исследований работы вертикального дренажа (1962—1963 гг.) были попытки поддерживать определенный, периодический режим работы на двух (№ 5 и 8) скважинах. При непрерывной работе скважины № 5 с расходами воды 55—60 л/сек, через 10—12 суток отмечалась стабилизация воронки депрессии, причем уровень грунтовых вод в радиусе 150 м устанавливался на глубине более 5,5 м. На расстоянии же 300 м уровень воды снижался до 4—4,5 м. При остановке насосного оборудования на скважине происходило восстановление воронки депрессии. Через 6—7 суток уровень грунтовых вод устанавливался на глубине 1,0—1,2 м. Периодически проникая в верхние горизонты почвы, вода растворяла накопившиеся в них соли. Часть солей выносилась с водой скважин, а часть аккумуляровалась в более глубоких слоях грунтов. Так, в радиусе 150 м от скв. № 5 соль главным образом (после годичной эксплуатации) сосредоточилась на глубине 3,5—7 м (80% от общего запаса их в 10 м покровных суглинков), а на расстоянии 300 м основная масса солей переместилась из верхних почвенных горизонтов и сосредоточилась на глубине 2,5—5,0 м (60% от общего запаса их в 9 м покровных суглинков). Перед началом работы вертикального дренажа основная масса солей (64—70%) находилась на глубине до 3 м.

В пределах влияния скважин из года в год повышается урожайность хлопчатника. Так, в зоне влияния скв. № 6 в 1961 г. (до начала работы скважины) получен урожай хлопка 19,6 ц/га. В 1962 г. на этих же площадях хозяйство уже собрало хлопка по 25,6 ц/га, а в 1963 г. — по 31,3.

В зоне влияния скв. № 5 в 1961 г. получен урожай в среднем до 9,2 ц/га, а в 1963 г. — по 18,6 ц/га.

На повышение урожайности хлопчатника, наряду с улучшением агротехники и культуры возделывания сельскохозяйственных культур в хозяйстве, значительное влияние, безусловно, оказало рассоление почв на фоне вертикального дренажа.

И. А. ЕНГУЛАТОВ, Г. В. ЕРЕМЕНКО

ДРЕНАЖНЫЙ СТОК И МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

По схеме обоснования дренажа, предложенной И. А. Енгулатовым, изменение запасов грунтовых вод балансового участка за расчетный интервал времени (T) определяется зависимостью

$$\Delta W = K' - K - D + \Pi, \quad (1)$$

где K' — часть поверхностной воды, которая, просачиваясь, достигает уровня грунтовых вод;

K — количество грунтовой воды, расходующееся на испарение;

D — дренажный сток;

Π — разность между подземным притоком и оттоком.

Уравнение (1) для определенных проектных условий можно записать в виде

$$\Delta W_0 = K'_0 - K_0 - D_0 + \Pi_0. \quad (2)$$

Если по агротехническим условиям уровень грунтовых вод поддерживать на некоторой глубине, то условие стабилизации их на этой глубине может быть выполнено при соблюдении равенства $\Delta W_0 = 0$.

При этом условии уравнение (2) должно быть представлено так:

$$\Pi_0 = K_0 - K'_0 + D_0. \quad (3)$$

Вводя в последнее равенство выражение $\Pi_0 = \Pi + \Delta\Pi$, получаем

$$\Pi = K_0 - K'_0 + D_0 - \Delta\Pi. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) и (4), будем иметь

$$(D - D_0) = (K_0 - K'_0) - (K - K') - \Delta W - \Delta\Pi. \quad (5)$$

Если в уравнение (5) ввести обозначения

$$\Delta D = (D - D_0); \quad \Delta K_0 = (K_0 - K'_0); \quad \Delta K = (K - K'),$$

то получим уравнение в окончательном виде

$$\Delta D = \Delta K_0 - \Delta K - \Delta W - \Delta\Pi, \quad (6)$$

где $\Delta\Pi$ — изменение разности подземного водообмена (или напорности), которое может быть вызвано понижением уровня грунтовых вод;

ΔK и ΔK_0 — испарение грунтовых вод в бытовых и проектных условиях соответственно.

Таким образом, дренажный сток за пределы рассматриваемой земельной территории в проектных условиях будет определяться из суммы

$$D_0 = D + \Delta D.$$

Проектный же дренажный модуль за расчетный период (t) составит

$$q_0 = \frac{D + \Delta D}{86,4 \cdot t}.$$

Приведенные уравнения показывают, что для обоснований требуемых размеров дренажа необходимо знать наряду с прочими слагаемыми и размеры дренажного стока в бытовых условиях. Нахождение этого компонента баланса на староорошаемых землях связано с известными трудностями.

Эти трудности вытекают прежде всего из условий работы дренажных систем, которые нередко выполняют тройную роль: приемника грунтовых вод и оросительных, сбрасываемых в периоды поливов и промывок, а также дополнительного источника орошения.

Таким образом, устьевой расход дренажной системы или отдельной дрены представляет собой совокупность указанных компонентов, и расчленение этого стока на составные части имеет как научное, так и практическое значение. Учитывая важность и практическую необходимость расчленения устьевого расхода на составные части, в 1962 — 1963 гг. мы провели исследования в этом направлении в Ферганской области.

Исследования вели по трем методам: методом учета взвесей, гидрохимическим и прямым наблюдением.

1. Сущность метода учета взвесей состояла в систематическом отборе проб воды в устьях дренажных систем для определения содержания твердого стока.

Одновременно отбирали (эпизодически) пробы оросительной воды, сбрасываемой в дрены с полей и оросителей, по которым также определяли содержание наносов.

Дальнейшие операции по расчленению устьевого расхода на составные части выполняли по формуле, составленной на основании того, что секундный расход наносов, проходящих через створ гидрохимического поста, рассчитывался по зависимости

$$\Omega = Q_y \cdot \rho_y, \quad (7)$$

где ρ_y — мутность устьевой воды;

Q_y — устьевой расход, определяемый суммой

$$Q_y = Q_{гр} + Q_{сбр}; \quad (8)$$

$Q_{гр}$ — расход грунтовой воды;

$Q_{сбр}$ — расход сбросной воды.

Секундное количество наносов, поступающее в дренажную систему со сбрасываемой водой находится по уравнению

$$\Omega_0 = Q_{сбр} \cdot \rho_{сбр}, \quad (9)$$

здесь $\rho_{сбр}$ — мутность сбросных вод, поступающих в дренажную систему.

Предположим, что явления заиления и размывов на дренажной

системе взаимно компенсируются. Решая совместно уравнения (7), (8) и (9), получаем

$$Q_{сбр} \cdot \rho_{сбр} = (Q_{гр} + Q_{сбр}) \rho_y.$$

При введении в последнее равенство зависимости

$$Q_{гр} = \alpha \cdot Q_{сбр} \text{ и } \Delta \rho = \rho_{сбр} - \rho, \text{ будем иметь } \alpha = \frac{\Delta \rho}{\rho_y}, \quad (10)$$

где α — доля грунтовой воды в сбросной воде.

Если в уравнении (8) обозначить $Q_{гр} = \alpha \cdot Q_{сбр}$ и решить его относительно $Q_{сбр}$, то можно записать выражение

$$Q_{сбр} = \frac{Q_y}{\alpha + 1}. \quad (11)$$

Введя последнее равенство в уравнение (8), найдем долю грунтовых вод в устьевом расходе β :

$$Q_{гр} = \beta \cdot Q_y. \quad (11a)$$

Значение коэффициента β определяется из зависимости

$$\beta = \frac{\alpha}{\alpha + 1}. \quad (12)$$

Полевые исследования по этому методу в условиях Ферганы проводили на трех дренажных системах и в течение только трех летних месяцев (июль—сентябрь).

Осредненные значения коэффициента β по трем системам характеризуются следующими данными: за июль $\beta = 65\%$, за август $\beta = 60\%$ и за сентябрь $\beta = 85\%$.

2. Сущность полевых работ по расчленению устьевого расхода дренажных систем гидрохимическим методом состояла в систематическом определении минерализации устьевой и оросительной воды, а также в гидрохимической съемке территории. При этом гидрохимическая съемка имела целью районирование территории по размерам критической глубины грунтовых вод. По данным гидрохимических карт, устанавливалось среднее значение минерализации грунтовых вод для зон обслуживания каждой системой.

Дальнейшие операции по расчленению устьевого расхода на составные части выполняли, руководствуясь следующими соображениями.

Секундный устьевой расход солей определяется из суммы

$$Q_y \cdot \mu_y = Q_{гр} \cdot \mu_{гр} + Q_{сбр} \cdot \mu_{сбр}, \quad (13)$$

где μ_y — минерализация устьевой воды;

$\mu_{сбр}$ — минерализация оросительной (сбросной) воды;

$\mu_{гр}$ — минерализация грунтовой воды.

(Остальные значения прежние).

Решая совместно уравнения (8) и (13) и вводя обозначение

$$\alpha = \frac{\mu_y - \mu_{сбр}}{\mu_{гр} - \mu_y},$$

получаем $Q_{гр} = \alpha \cdot Q_{сбр}$.

Долевое содержание грунтовой воды в устьевом расходе определится, как и по первому методу, по формулам (11a) и (12).

Расчленение устьевого расхода на составляющие с помощью гидрохимического метода в Ферганской области осуществляли на девяти системах.

3. Сбросы оросительной воды в дренажную систему способом прямых наблюдений определяли только в Западной части Ферганской области, в пределах Кокандской группы районов, по 13 дренам и коллекторам. Сущность метода заключалась в замерах переносными водосливами сбросных и постоянными водосливами устьевых расходов воды.

Ниже приведены осредненные по всем методам результаты определений количества сбросных вод от устьевого сброса систем (%):

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средний процент сбросных вод от устьевого расхода	20	35	38	19	9	9,7	5,4	5	4,2	8,6	11,3	5,7

Эти данные показывают, что содержание сбросной воды в дренажной сети варьирует в широких пределах и зависит главным образом от водообеспеченности системы в отдельные периоды года и от хозяйственных условий. Большие сбросы в дренажную сеть еще объясняются и тем, что оросительная система специальных сбросных трактов не имеет и всякий избыток воды в ней сбрасывается в дрены и коллекторы.

Средняя величина грунтовой воды в устьевом расходе, которая может быть принята при расчетах, составляет 75—80%.

Остановимся еще на одном методе исследований, который нами был использован для проверки получаемых результатов. Сущность метода состояла в определении дебита выклинивающихся вод на отдельных участках опытных дрен, оборудованных водосливами. Работу эту проводили в 1962 г. по всей Ферганской области, а в 1963 г. лишь в западной ее части, более детально. Полевые работы в восточной части осуществляли в течение непродолжительного времени, и поэтому для выяснения динамики выклинивающихся вод в течение всего года был использован метод экстраполяции, по которому ниже даются пояснения.

В основу построения аналитической зависимости положена общеизвестная гипотеза, согласно которой дренажный сток зависит от глубины грунтовых вод. В качестве исходной формулы, взятой за основу построения метода экстраполяции, использовали формулу А. Н. Костякова, предложенную для расчета дренажа в условиях глубокого залегания водоупора

$$q = \frac{\pi \cdot k \cdot h}{\ln \frac{L}{d}}, \quad (14)$$

где q — дренажный модуль на единицу длины;
 k — коэффициент фильтрации;
 h — рабочий напор в междренном расстоянии;
 d — ширина дрены по дну;
 L — расстояние между дренами.

Возьмем два случая, отличающихся между собой размерами q , h и L .

Вводя отношение $n = \frac{q_1}{q}$ и используя уравнение (14), получаем

$$n = \frac{h_1}{h} \cdot \alpha, \quad (15)$$

здесь коэффициент α определяется из зависимости

$$\alpha = \frac{\ln \frac{L}{d}}{\ln \frac{L_1}{d}}.$$

Принимая во внимание существование между h и h_1 зависимости вида $h_1 = h + \Delta h$, имеем

$$n = \alpha \left(1 + \frac{\Delta h}{h} \right). \quad (16)$$

Кроме того, между напором h и глубиной дрен t существует также зависимость вида

$$h = t - H,$$

где H — глубина грунтовых вод исходного месяца, для которого установлен дренажный модуль полевым способом.

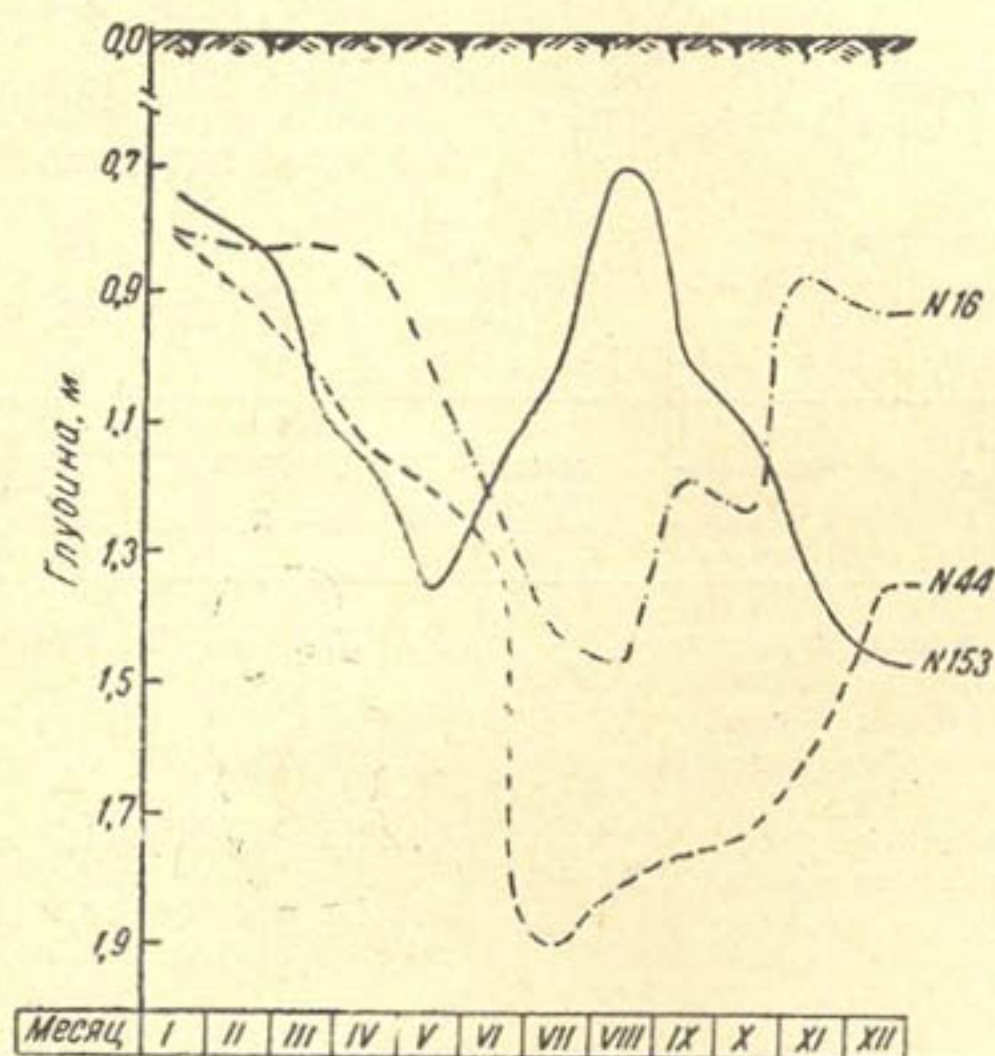
Вводя эту зависимость в уравнение (16), получаем

$$n = \alpha \left(1 + \frac{\Delta H}{t - H} \right), \quad (17)$$

где значение ΔH определяется из разности

$$\Delta H = H - H_1;$$

Здесь H_1 — глубина грунтовых вод того месяца, для которого пересчитывается дренажный модуль.



Среднемесячные глубины грунтовых вод по скважинам
№ 16, 44, 153.

Таким образом, имея значения n , α и q , за один месяц можно найти значения q_1 для любого месяца по зависимости

$$q_1 = n \cdot q.$$

Как видно, важным условием использования приведенной схемы экстраполяции является знание величины коэффициента α . По обработ-

кам многочисленных фактических материалов исследований, в том числе и материалов Федченковской опытно-мелиоративной станции, для условий Ферганской области осредненная величина этого коэффициента равна 0,9.

Из всего сказанного выше следует, что при известных среднем дренажном модуле, хотя бы за один месяц (q), и среднемесячных глубинах грунтовых вод, а также средней глубине дренажа можно рассчитать дебит дрен (q_i) для остальных месяцев года.

Изложенный метод экстраполяции проверялся по нашим фактическим материалам полевых исследований, проведенных за длительное время в условиях западной части области.

Данные фактических полевых определений величин дренажного модуля и полученные пересчетом с использованием для сравнения рисунка помещены в табл. 1.

Таблица 1

Дренажный модуль в условиях Кокандской группы районов, л/сек·км

Гидрогеологические условия	Способ определения дренажного модуля	Глубина опытных дрен, м	Месяц						
			I	II	III	IV	V	VI	VII
Зона руслового и слабого руслового выклинивания грунтовых вод	Расчетом Фактический (полевой)	2,2—2,5	42	41	42	40	33	28	22
			—	—	35,3	33,8	28,5	23	25
Зона рассеивания—вторичного погружения грунтовых вод	То же	2,5—3,0	15,5	14,7	14	12,8	12,4	11,5	7,3
			13,6	12,9	13,2	12,3	11,2	10,3	7,3
Аллювиальная терраса долины Сырдарьи	То же	2,5—2,7	65	63	56	52	45	52	56
			—	—	53	50	52	56	60

Гидрогеологические условия	Способ определения дренажного модуля	Глубина опытных дрен, м	Месяц					Максимальный и минимальный процент отклонения	Номер расчетного графика и автор наблюдений
			VIII	IX	X	XI	XII		
Зона руслового и слабого руслового выклинивания грунтовых вод	Расчетом Фактический (полевой)	2,2—2,5	23	30	28	40	38	+18	Створ 9 скв. 16 (Сох. УМРКа)*
			23	26	23,5	36	34	—12	
Зона рассеивания—вторичного погружения грунтовых вод	То же	2,5—3,0	7,4	7,8	8	9	11,7	+12,2	Участок вертикального дренажа, скв. № 44 (САНИИВ-ПыГ)
			7,7	7,6	8,4	9,5	10,2	—5	
Аллювиальная терраса долины Сырдарьи	То же	2,5—2,7	67	56	53	45	46	+13	№ 153 (Ферганская гидрогеологическая экспедиция)
			59	49	46	41	46	—13,5	

* Сохское управление мелиоративных каналов.

Результаты табл. 2 дают удовлетворительную сходимость, поэтому предлагаемая схема экстраполяции может быть использована для практических целей.

Располагая величинами удельного дренажного расхода по месяцам и зная фактическую длину коллекторно-дренажной сети по зонам, можно установить общую потенциальную способность современной дренажной системы в срабатывании грунтовых вод (табл. 2)

Таблица 2

**Потенциальная способность построенной дренажной системы
в срабатывании грунтовых вод, $\text{м}^3/\text{сек}$**

Гидрогеологические условия	Протяжен- ность дре- нажа, км	Месяц					
		I	II	III	IV	V	VI
Зона выклинивания грунто- вых вод	195,5	8,2	8	6,9	6,6	5,57	4,5
Зона рассеивания и межко- нусные понижения	2583	35,6	33,3	34,1	31,75	28,9	26,6
Аллювиальная терраса до- лины Сырдарьи	181,5	11,8	11,4	9,6	9,06	9,42	10,1
Всего по Коканд- ской группе райо- нов	2960	55,6	52,7	50,6	47,41	43,89	41,2

Гидрогеологические условия	Протяжен- ность дре- нажа, км	Месяц					
		VII	VIII	IX	X	XI	XII
Зона выклинивания грунто- вых вод	195,5	4,88	4,5	5,08	4,6	7,04	6,64
Зона рассеивания и межко- нусные понижения	2583	18,85	19,87	19,6	21,7	24,5	26,3
Аллювиальная терраса до- лины Сырдарьи	181,5	10,88	10,7	8,87	8,16	7,43	8,34
Всего по Коканд- ской группе райо- нов	2960	34,61	35,07	33,55	34,46	38,97	41,2

Как уже отмечали, дренажная сеть вследствие создаваемых подпоров широко используется как дополнительный источник орошения, в силу чего дренирующая способность сети понижается. На участках с подпертыми горизонтами воды происходит сложное явление водообмена. Перед перегораживающим сооружением из-за создаваемого подпора грунтовые воды подпитываются. Этот процесс замедляется по мере удаления от сооружения, и на некоторой длине дрена переходит к дренированию с возрастающей интенсивностью. Указанное явление в значительной степени осложняет выяснение размера дренирования на подпертых участках дрен.

Предположим, что для приблизительных расчетов подпитывание и дренирование грунтовой воды на подпертых участках количественно одинаково, поэтому дренаж на этих участках выключается из действия. При таком допущении суммарная потеря способности дренирования на системе будет определяться общей протяженностью подпертых

участков. В связи с этим в 1962 г. на ряде пунктов (17 пунктов) Исфайрам-Шахимарданской оросительной системы и в 1963 г. по Кокандской группе районов (36 пунктов) проведены работы по нахождению дальности распространения подпора перед сооружением и по учету количества подпорных сооружений.

При осреднении полученных результатов дальность распространения кривой подпора от одного перегораживающего сооружения (в разрезе выделенных зон) можно принять следующих размеров:

Гидрогеологические условия	Дальность подпора, м
Зона выклинивания грунтовых вод	600
Зона рассеивания	1200
Межконусные депрессии	2100
Аллювиальная долина Сырдарьи	1800

Таким образом, принимая во внимание данные по распространению кривых подпоров и зная фактическое число перегораживающих сооружений по Кокандской группе районов, можно установить протяженность бездействующей сети (табл. 3)

Т а б л и ц а 3

Протяженность бездействующей сети по зонам

Гидрогеологические условия	Число перегораживающих сооружений, шт.	Общая длина коллекторно-дренажной сети, км	Длина бездействующей сети за счет подпоров, км	Бездействующая длина дрен, %
Зона выклинивания грунтовых вод	32	195,5	19,2	9,8
Зона рассеивания и межконусные понижения	55	2583	94,6	3,6
Аллювиальная долина Сырдарьи	19	181,5	34,2	18,8
Всего по Кокандской группе районов	106	2960	148	5

Число перегораживающих сооружений изменчиво по времени и зависит главным образом от водообеспеченности того или иного периода года. Наиболее интенсивное использование дренажной воды на орошение начинается с конца мая и продолжается до сентября. Поэтому данные табл. 3 наиболее правильно отражают картину только в этот период. Как видно из приведенной таблицы, 5%, или 148 км, построенных коллекторов и дрен в вегетацию выключаются из работы.

Определив длину бездействующей сети дрен за счет подпоров в период вегетации сельскохозяйственных культур, можно выяснить величину снижения потенциальной способности дренажной сети в срабатывании грунтовых вод (см. табл. 4, пункт 3). Полевые исследования показали, что дренирующая способность существующей коллекторно-дренажной сети в силу ее неудовлетворительного технического состояния снижается на 20—25%. Принимая в расчетах величину снижения дренирующей способности сети в 20%, определяем потенциальную способность дренажной системы в срабатывании грунтовых вод с учетом технического состояния (см. табл. 4, пункт 2).

За сбросом коллекторно-дренажной воды за пределы Кокандской группы районов (в р. Сырдарью) ведутся регулярные наблюдения Сохским управлением оросительных систем (см. табл. 4, пункт 4). Но так как устьевой расход коллекторов складывается из грунтовой и поверхностной воды (сбросная поливная и промывная), то, пользуясь

данными среднего процента сбросных вод от устьевого расхода, можно определить сток чисто грунтовых вод (см. табл. 4, пункт 5).

Часть коллекторно-дренажной воды в период вегетации сельскохозяйственных культур используется на орошение. Численные величины ее приведены в табл. 4, пункт 6.

Т а б л и ц а 4

Баланс коллекторно-дренажных вод Кокандской группы районов, $\text{м}^3/\text{сек}$

Номер пункта	Элементы баланса	Месяц					
		I	II	III	IV	V	VI
1	$Q_{п. д.}$	55,6	52,7	50,6	47,41	43,89	41,2
2	$\varphi \cdot Q_{п. д.}$	11,12	10,54	10,12	9,46	8,76	8,24
3	$\beta (Q_{п. д.} \cdot \varphi)$	0	0	0	0	0	7,12
4	$Q_{п. д.} - \varphi Q_{п. д.} - \beta (Q_{п. д.} \cdot \varphi)$	44,48	42,16	40,48	37,95	35,13	25,84
5	Q_y	45,38	59,44	71,34	55,67	42,63	27,92
6	$\gamma \cdot Q_y$	9,05	20,8	27,00	10,55	3,79	2,71
7	Q_o	0	0	0	0	0	5,2
8	$Q_y - \gamma \cdot Q_y + Q_o$	36,33	38,64	44,34	45,12	38,84	30,41
9	Ошибка, %	18	6	5,4	5,1	8,7	16,5

Номер пункта	Элементы баланса	Месяц					
		VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	$Q_{п. д.}$	34,61	35,07	33,55	34,46	38,97	41,28
2	$\varphi \cdot Q_{п. д.}$	6,92	7,02	6,7	6,89	7,79	8,25
3	$\beta (Q_{п. д.} \cdot \varphi)$	5,72	5,84	5,66	0	0	0
4	$Q_{п. д.} - \varphi Q_{п. д.} - \beta (Q_{п. д.} \cdot \varphi)$	21,97	22,21	21,19	27,57	31,18	33,03
5	Q_y	21,45	17,52	18,88	35,09	35,35	41,96
6	$\gamma \cdot Q_y$	1,16	0,87	0,79	3,02	4,0	2,39
7	Q_o	5,5	4,0	3,6	0	0	0
8	$Q_y - \gamma \cdot Q_y + Q_o$	25,79	20,65	21,69	32,07	31,35	39,57
9	Ошибка, %	17,7	8,6	0	13	0	10

Используя все данные полевых наблюдений, приведенных выше, и расчеты, можно подсчитать баланс коллекторно-дренажных вод рассматриваемой территории за определенный период по уравнению (18) и проанализировать, какова точность всех проведенных исследований:

$$Q_{п. д.} - \varphi \cdot Q_{п. д.} - \beta (Q_{п. д.} \cdot \varphi) \simeq Q_y - \gamma Q_y + Q_o, \quad (18)$$

где $Q_{п. д.}$ — потенциальная способность построенной дренажной системы в срабатывании грунтовых вод, $\text{м}^3/\text{сек}$;

φ — процент снижения $Q_{п. д.}$ за счет технического состояния коллекторно-дренажной сети;

- β — процент снижения ($Q_{п. д.} \cdot \varphi$) вследствие подпоров (туганов и других перегораживающих сооружений), устраиваемых на коллекторах и дренах;
- Q_y — устьевой сброс воды коллекторов за пределы балансовой площади, $м^3/сек$;
- γ — процент снижения Q_y за счет сбросов воды с полей орошения и во время промывок;
- Q_0 — количество дренажной воды, используемой на орошение во время вегетации культур, $м^3/сек$.

Все балансовые расчеты сведены в табл. 4.

Вопросы об определении дренажного стока и о расчленении его на составляющие для староорошаемых земель являются весьма актуальными. Решение их позволяет уточнить фактические размеры дополнительных водных ресурсов при планировании водопользования и выявить влияние неинженерных устройств на дренирующее действие системы для правильного планирования инженерных мелиоративных мероприятий.

Различные методы исследований, которые были использованы для расчленения устьевого расхода на составные части, дают сходимые результаты, и среднее значение грунтовой воды в составе устьевого расхода можно принять в пределах 70—85%.

Баланс, составленный для всей дренажной системы, дает погрешность, не превышающую 5—18% от общего стока в р. Сырдарью.

Эти обстоятельства показывают, что принятые методы исследования приемлемы и полученные результаты могут быть использованы при проектировании водохозяйственных мероприятий.

З. П. ПУШКАРЕВА

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ СОЛЕЙ ПО ПОЧВЕННО-ГРУНТОВОМУ ПРОФИЛЮ И ИХ РОЛЬ ПРИ ОСВОЕНИИ ЗЕМЕЛЬ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

В истории освоения Голодной степи имеется немало примеров, подтверждающих, что уже на второй-третий год после начала орошения большие площади освоенной территории выпадают из севооборота в связи с интенсивным вторичным засолением верхних почвенных профилей и поднятием уровня высокоминерализованных грунтовых вод. Поэтому основной задачей при мелиорации этих земель является предупреждение вторичного засоления земель и проведение комплекса мероприятий по рассолению их, для чего важно знать первичные запасы солей и особенности их распределения по активному профилю почво-грунтов.

В Институте водных проблем и гидротехники под руководством Н. М. Решеткиной с 1960 г. систематически наблюдается характер глубинного засоления почво-грунтов и грунтовых вод по всей Голодной степи. С этой целью бурили глубокие скважины (20—40 м) с отбором проб керна и грунтовых вод (рис. 1).

Исследования показали, что глубинное засоление почво-грунтов указанной территории очень разнообразно. Однако это разнообразие форм глубинного засоления имеет свою закономерность, связанную с историей формирования Голодной степи. В зависимости от того, как шло создание той или иной ее части, складывался и характер распределения запасов солей по профилю почво-грунтов. В районах, прилегающих к основным дренирующим трактам — Сырдарье и Арнасаю — и сложенных более легкими породами (суглинками, супесями, песками) с обеспеченным естественным подземным стоком, как правило, больших запасов не наблюдается. В бессточных центральных частях равнины, сложенных тяжелыми породами, количество солей очень велико, причем разница не только в запасах солей, но и в их составе, а также в особенностях распределения их по профилю.

Голодная степь представляет собой межгорную равнину, полого понижающуюся на север и северо-запад от Туркестанского хребта к р. Сырдарье и Арнасаю. Подземные и поверхностные воды, стекающие с Туркестанского хребта и со стороны Чирчик-Ангренского бассейна, при своем движении растворяют воднорастворимые соли, обогащаются ими и откладывают их в зоне слабого подземного стока и рассеивания, где они расходятся на испарение.

Количество и состав солей различны в зависимости от условий стока и источника приноса. В более сточных частях долины (например, в Шурузякской депрессии) накапливаются в основном сульфаты. В

слабо сточных частях долины (новоорошаемая зона, совхоз № 5, 4, 8 и др.) резко возрастает количество хлоридов натрия и магния.

Хотя вся новоорошаемая зона относится к зоне слабосточных равнин, однако соответственно с изменениями в литолого-гидрогеологических условиях здесь наблюдаются свои закономерности в процессах соленакопления. В частности, в юго-восточной части, прилегающей к Южному Голодностепскому каналу, прослеживается ярко выраженная смена характера солевого профиля почво-грунтов, связанная с деталями литологического строения равнины. Более западная ее часть (совхозы № 5, 4, 8) сложена очень тяжелыми породами межконусного понижения с коэффициентами фильтрации менее 0,1 м/сутки. С почвенно-гидрогеологической точки зрения это так называемая „сазово-солончаковая“ зона, или зона разгрузки подземных вод. Подземные воды, уже в какой-то мере обогащенные солями, расходуются здесь главным образом на испарение. Этот процесс шел в течение многих тысячелетий при формировании подгорной равнины. Новейшие тектонические движения определили новое гипсометрическое положение базиса эрозии, что оказало непосредственное влияние на первичное засоление данной области.

В связи с гидрогеологической зональностью первичное засоление почво-грунтов начиналось почти с поверхности или с глубины 0,6—0,8 м. С поднятием уровня грунтовых вод соли подтянулись в верхние горизонты почвенного профиля и сделали его практически бесплодным. Так, на юге территории, близ ЮГК в верхнем 5-м слое сейчас содержится до 1490 т/га солей (табл. 1), в 15-м толще их уже накопилось до 4770, а в 20-м—6066 т/га. Уровень грунтовых вод находится на глубине 2—4 м.

Совершенно иная картина в распределении солей по профилю почво-грунтов наблюдается в восточной части этой зоны (ближе к Янгиеру, совхозы № 2, 3). Зона эта сложена более легкими породами и представляет собой краевую часть Зааминского конуса выноса с коэффициентами фильтрации до 1—2 м/сутки. В этой части был слабый подземный сток и вынос солей. Поэтому накопление солей здесь шло в меньшей степени и лишь близкое залегание грунтовых вод вызвало подтяжку солей в верхние слои почво-грунтов и образовало солевой максимум на глубине 2—4 м с запасами солей в 5-м толще до 990 т/га. Глубже профиль почво-грунтов опреснен и величина плотного остатка не превышает 0,2—0,3% к весу сухого грунта. Таким образом, общие запасы солей в этой части зоны в 3—4 раза меньше, чем в описанной выше части (совхозы № 5, 4, 8), и составляют на 20-м толщу всего 1482—1861 т/га.

Аналогичны описанным профили почво-грунтов юго-западной части. Однако здесь солевой максимум растянут на глубину до 8—10 м.

Центральная часть Голодной степи имеет в естественном состоянии глубокие грунтовые воды (глубже 15—20 м). Засоленность почво-грунтов в общем невысокая и увеличивается к северо-востоку. Западная часть равнины более всего опреснена, и по всему профилю величина плотного остатка не превышает 0,2—0,6% с запасами солей: в 5-м толще до 283—322 т/га, 15-м—1152, 20-м—до 1924 т/га.

Засоленность северо-восточной части в два раза больше. Это связано с дренирующей ролью Арнася, куда выносились с грунтовыми водами главная масса солей.

Совершенно иная картина в распределении солей по профилю почво-грунтов в староорошаемой зоне аллювиального бассейна, например в районе Шурузякской депрессии. Как известно, последняя

Таблица 1

Послойные запасы солей в почво-грунтах Голодной степи, т/га

Номер скважины	Содержание солей в слое, м						
	0—5	0—10	0—15	0—20	0—30	0—50	0—100
Староорошаемая зона							
Северо-западная часть							
1-а	434,6	837,2	1014,4	1123,7	—	—	—
2-а	441,1	623,0	723,6	806,1	—	—	—
3-а	310,1	854,6	1213,1	1396,1	2068,6	—	—
Центральная							
К-1	262,3	737,3	914,6	1085,9	1484,3	2127,6	—
К-14	394,7	784,2	1442,9	2088,0	2549,0	3182,6	—
Юго-восточная							
К-19	748,0	1544,0	2410,2	2607,5*	—	—	—
К-15	613,0	1385,5	2144,3	—	—	—	—
2	575,0	699,3	832,7	978,2**	—	—	—
1	408,3	587,8	742,8	953,5	—	—	—
Новоорошаемая зона							
Юго-восточная часть							
а. Грунтовые воды на глубине 3—4 м							
Ю-5	1491,3	2906,1	4157,7	5277,0	—	—	—
Ю-9	1476,7	3218,2	4770,5	6066,2	—	—	—
б. Грунтовые воды на глубине 4—6 м							
Ю-7	990,7	1214,4	1366,4	1482,3	—	—	—
Ю-10	838,8	1088,5	1293,9	1861,6	—	—	—
Северо-западная, северная, северо-восточная части							
Ю-1	432,4	1040,6	2146,5	—	—	—	—
Ю-15	404,3	1020,0	1872,4	3180,9	—	—	—
В-1232	1037,4	1918,8	2548,1	2920,3	3948,3	5982,7	7594,3
В-1273	142,9	424,0	709,5	1498,1	3624,7	7877,8	14872,1
Ю-17	264,4	955,6	1956,1	—	—	—	—
Юго-западная							
Ю-23	900,2	1301,4	1584,6	1754,6	—	—	—
В-48	1548,4	2051,3	2347,8	2655,2	3227,8	3942,4	6509,9
Центральная							
Ю-19	283,5	686,6	1152,9	1924,2	—	—	—
Ю-20	322,9	675,4	1026,6	1176,5	—	—	—
Ю-2	661,0	1277,0	2240,0	—	—	—	—

* Гулистан; ** Шурузяк.

представляет собой пологое руслообразно вытянутое понижение в теле третьей террасы р. Сырдарьи. Здесь сказывается дренирующее влияние как Сырдарьи, так и коллектора Шурузяк.

В связи с тем, что в Шурузякской депрессии в течение длительного времени из песчано-галечниковых отложений возникали восходящие токи пресных подземных вод, подпитывающихся из Чирчик-Ангренского бассейна, засоление сосредоточено в верхней толще почво-грунтов с соевым максимумом на глубине в 2—3 м, с запасами солей в 5-м толще до 400—575 t/ga . Однако уже с глубины 2—3 м засоление резко падает и на всю 20-м толщу составляет—953—978 t/ga .

Северо-западная часть староорошаемой зоны Голодной степи дренируется с одной стороны р. Сырдарьей, а с другой—на западе—Арнасаем. В этой части, как и в описанной выше юго-восточной части новоорошаемой зоны, до развития орошения верхняя зона почво-грунтов не была засолена. Орошение способствовало поднятию грунтовых вод, и соли под влиянием испарения начали концентрироваться в верхних горизонтах.

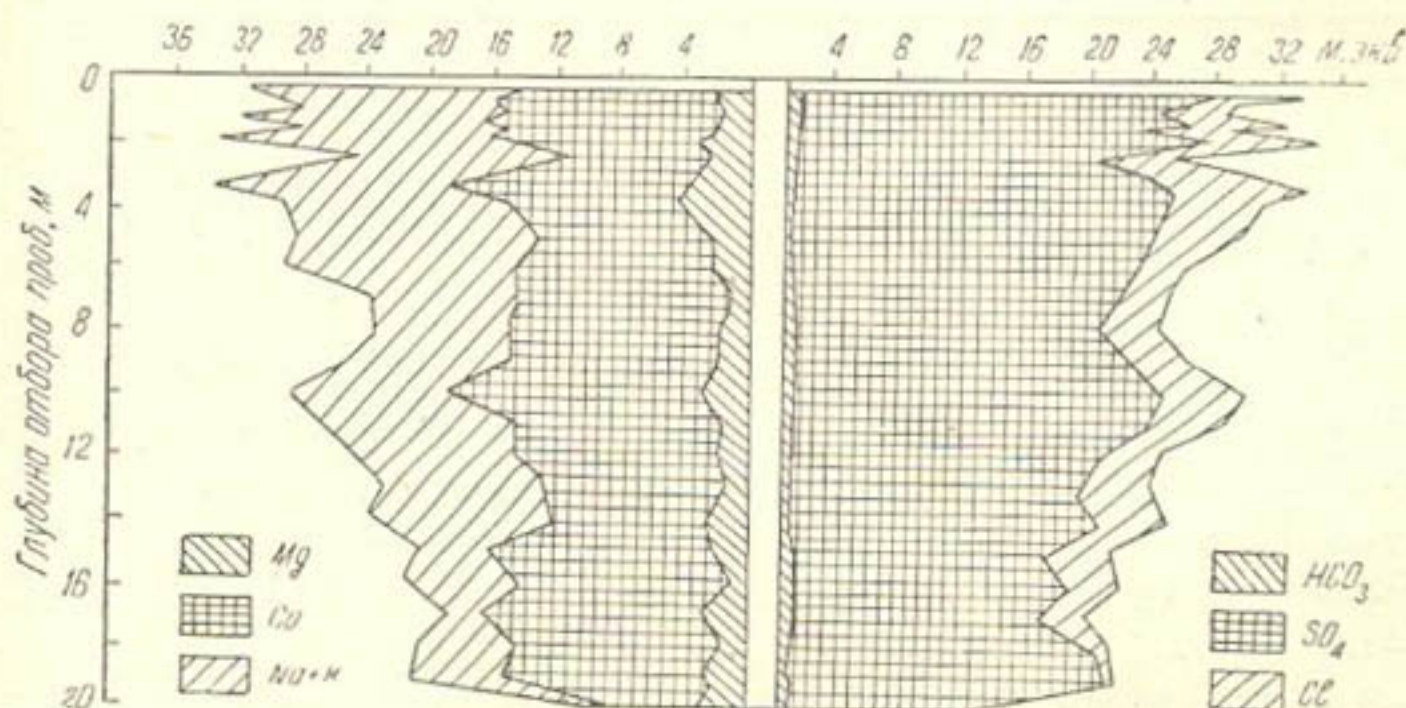


Рис. 2. Распределение легкорастворимых солей в совхозе № 5 (новоорошаемая зона).

Засоление в основном распространено на глубину до 8—10 м, с запасами солей в 10-м толще 623—854 t/ga . Более глубокие слои почво-грунтов опреснены; содержание солей там в слое 15—20 м составляет 80—100 t/ga , т. е. в 3—4 раза меньше, чем в верхних горизонтах. Солевые профили по характеру засоления аналогичны юго-западной части новоорошаемой зоны.

Таким образом, из сказанного ясно, что при проектировании и проведении тех или иных мелиоративных мероприятий нельзя опираться на исследования только верхней толщи почво-грунтов. От характера глубинного первичного засоления почво-грунтов зависят процессы почвообразования при орошении земель. Особенно это важно учесть при освоении новых, бессточных земель, там, где уровень грунтовых вод до орошения еще достаточно глубок.

Рассмотрим подробнее два конкретных солевых профиля.

Профиль № 1. Зона нового орошения, совхоз № 5. Характеризуемая точка заложена на солончаке, на территории III агроучастка, где после года освоения (без промывок и недостаточного объема дренажных устройств) земли подверглись вторичному засолению и на большой площади всходы хлопчатника в 1962 г. не появились.

Как видно из рис. 2, легкорастворимые соли насыщают почво-грунты на десятки метров и распределены по всему профилю в больших количествах. Величина плотного остатка с поверхности составляет 4,8% к весу сухого грунта. По всей остальной толще почво-грунтов до 20 м плотный остаток колеблется от 1,5 до 2,0%. Запасы солей в 20-м толще, составляют 5300 *т/га*, в 5-м толще их содержится около 1491 *т/га*.

Почво-грунты содержат большое количество хлористого натрия — от 0,2 до 0,3—0,4% по всему профилю (табл. 2). Для растений эта соль очень токсична. Присутствие ее в почво-грунтах до 0,04% вы-

Таблица 2

Состав солей, рассчитанных по водной вытяжке, на 10 сентября 1963 г.
Точка Ю-5, совхоз № 5, новоорошаемая зона

Глубина отбора проб, м	Содержание солей, %					
	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄ (воднорастворимый)
0,0—0,2	1,542	2,131	—	0,485	0,041	0,699
0,2—0,4	0,313	0,914	—	0,124	0,034	0,786
0,4—0,6	0,264	0,742	—	0,193	0,034	0,801
0,6—0,8	0,222	0,604	—	0,168	0,024	0,860
0,8—1,0	0,239	0,597	—	0,109	0,020	0,893
1,0—1,2	0,289	0,654	—	0,124	0,034	0,897
1,2—1,4	0,346	0,629	—	0,247	0,036	0,815
1,4—1,6	0,295	0,548	—	0,123	0,036	0,860
1,6—1,8	0,330	0,706	—	0,168	0,024	0,842
1,8—2,0	0,438	0,733	—	0,208	0,028	0,823
2,0—2,5	0,297	0,554	—	0,168	0,024	0,540
2,5—3,0	0,365	0,555	—	0,207	0,021	0,762
3,0—3,5	0,510	0,384	—	0,317	0,036	0,894
3,5—4,0	0,346	0,576	—	0,277	0,028	0,697
4—5	0,321	0,670	—	0,153	0,045	0,712
5—6	0,231	0,550	—	0,138	0,041	0,810
6—7	0,173	0,444	—	0,054	0,031	0,900
7—8	0,206	0,350	—	0,123	0,036	0,863
8—9	0,206	0,479	—	0,124	0,037	0,852
9—10	0,289	0,372	—	0,193	0,037	0,974
10—11	0,272	0,540	—	0,109	0,024	0,857
11—12	0,280	0,480	—	0,124	0,027	0,713
12—13	0,255	0,521	—	0,094	0,027	0,616
13—14	0,239	0,481	—	0,153	0,031	0,691
14—15	0,239	0,207	—	0,247	0,036	0,595
15—16	0,174	0,221	—	0,138	0,049	0,819
16—17	0,122	—	0,030	0,131	0,042	0,905
17—18	0,057	0,373	—	0,094	0,020	0,863
18—19	0,082	0,312	—	0,168	0,034	0,851
19—20	0,145	—	0,050	0,068	0,028	0,391

зывает гибель культурной растительности. Содержание хлора в этом случае превышает допустимое количество больше чем в 8—10 раз.

Кроме хлористого натрия, по всему профилю содержится большое количество сернокислого натрия (0,5—0,6—0,7%). Соли эти менее вредны и действуют губительно только при концентрации 0,3—0,8% от веса грунта.

Помимо этих двух основных по токсичности солей, по профилю почво-грунтов встречается значительное количество воднорастворимого гипса (рассчитывался по данным водной вытяжки).

Грунтовая вода на этой точке вскрыта на глубине 3—4 м при минерализации ее до 41,7 г/л. Из легкорастворимых солей в ней содержится до 17,5% хлористого натрия, до 9,0 сернокислого натрия, до 6,8 сернокислого магния, до 1,2% гипса.

С глубины 12 м минерализация грунтовой воды снижается, но величина ее все же достаточно велика и до глубины 20 м колеблется от 18 до 19 г/л. В составе солей сохраняется большое количество хлористого натрия (до 6—8%).

Такой характер распределения солей по профилю почво-грунтов, а также степень минерализации грунтовых вод аналогичны для всей юго-восточной части, где грунтовые воды залегают на глубине в 3—4 м.

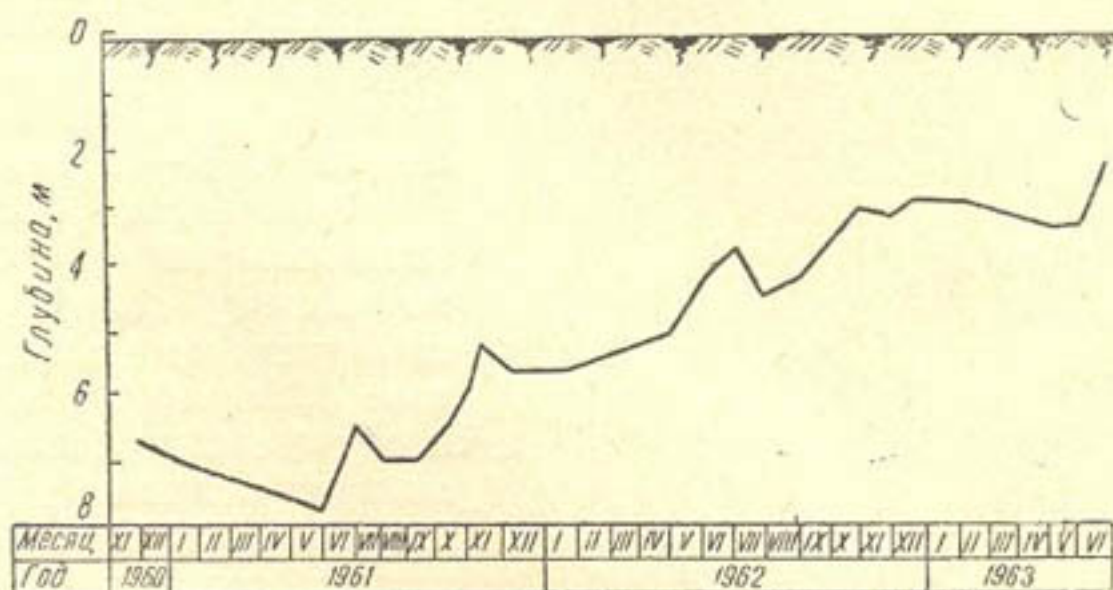


Рис. 3. Положение уровня грунтовых вод в совхозе № 6 (3-я бригада, новоорошаемая зона Голодной степи).

Большие запасы солей при орошении этой территории могут, если не создать определенных условий дренирования при помощи густого дренажа и прочих мер, вызвать интенсивное вторичное засоление почво-грунтов. Примером могут служить не только совхозы № 4, 5, но и совхоз № 6, где почвы в начале орошения считались хорошими и развития процессов вторичного засоления в них не ожидалось. Однако уже к 1962 г. около 500 га пахотной земли в I и II отделениях пришлось исключить из сельскохозяйственного оборота.

Повсеместному засолению (если не предпринять соответствующих мер) в настоящее время угрожает подъем уровня грунтовых вод, который катастрофически растет и составляет 2,5—3,0 м/год (рис. 3). При такой скорости подъема через 3—4 года после начала орошения уровень грунтовых вод, очевидно, достигнет критической величины, что неизбежно повлечет за собой интенсивное развитие процессов вторичного засоления.

Такому быстрому подъему уровня грунтовых вод способствует и высокая влажность почво-грунтов, которая ниже 3—4 м достигает 20—25%, а иногда—30% от веса сухого грунта (рис. 4).

Профиль № 2. Зона старого орошения, совхоз „Социализм“. Точка наблюдения расположена на солончаковом пятне на опытно-производственном участке вертикального дренажа.

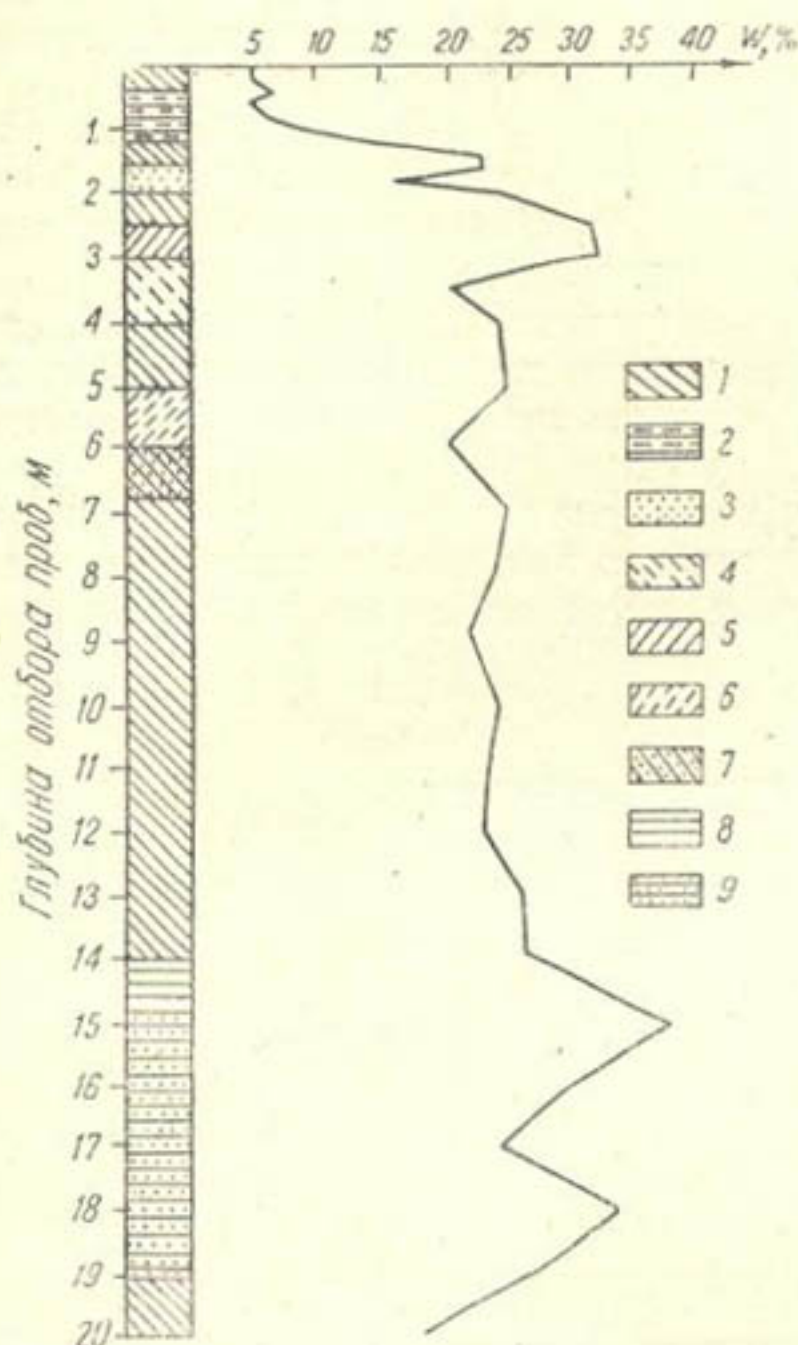


Рис. 4. Распределение влажности в почво-грунтах совхоза № 9 (точка Ю-11) по данным на 24—26 июня 1963 г. (Голодная степь, новоорошаемая зона):

1—средний суглинок; 2—легкий суглинок; 3—песок; 4—легкая супесь; 5—тяжелый суглинок; 6—средняя супесь; 7—средний суглинок с прослойкой песка; 8—глина; 9—глина с прослойкой песка.

Запасы солей здесь сосредоточены в верхней 2—3 м толще почво-грунтов (рис. 5). Величина плотного остатка с поверхности составляет 1,5—1,8%. Приблизительно такое же засоление идет до глубины 2—3 м, глубже засоление резко снижается и величина плотного остатка по всему профилю не превышает 0,2—0,3% от веса сухого грунта. Содержание солей в 20-м толще составляет 700—800, редко 1000 т/га, в 5-м слое — 400—575 т/га.

Таким образом, количество солей в новоорошаемой зоне больше чем в староорошаемой в 8—10 раз.

Совершенно иной характер засоления в этой зоне и по составу солей. Основным компонентом воднорастворимых солей здесь являются сернокислые соли (табл. 3). Так, по нашим данным, в 2-м толще содержание сернокислого натрия составляет 0,2—0,3%, сернокислого магния — приблизительно столько же, гипса — 0,8—0,9%.

Наиболее токсичного для растений хлористого натрия содержится 0,04—0,06%, т. е. почти в 10 раз меньше, чем в почво-грунтах зоны нового

орошения. Хотя количество хлора здесь сравнительно небольшое, однако его вполне достаточно, чтобы вызвать гибель культурной растительности.

Грунтовая вода на участке вскрыта на глубине 3,0 м с минерализацией ее 4,0 г/л; с глубиной минерализации несколько снижается (до 3,3 г/л на глубине 17 м). Состав воды хлоридно-сульфатный, с содержанием сернокислого натрия до 1,0% и сернокислого магния до 1,5%; хлористого натрия отмечено тоже немалое количество (до 0,6—0,7%).

Таким образом, для Шурузякского массива, где соли в основном сосредоточены в верхней 2—3-м толще почво-грунтов, а глубже профиль рассолен, к задачам мелиорации следует отнести полное рассо-

ление всего профиля, необходимо вымыть и отвести соли из этой толщи за пределы орошаемой территории.

Ввиду того что в составе солей здесь преобладают сернокислые соли, растворимость которых увеличивается с повышением температуры, промывать почву надо в более теплое (по возможности) время года, а так как эти соли сравнительно малорастворимы (сернокислый натрий 48,5 г/л, гипс около 2 г/л), промывные нормы для этих земель должны быть увеличены по нашим подсчетам — до 15—17 тыс. м³/га.

Итак, на мелиоративный период для староорошаемой зоны (Шурузяк) необходимы промывки и временный дренаж с использованием существующей коллекторно-дренажной сети для отвода солей в Сырдарью и вертикальный дренаж для снятия напора глубинных подзем-

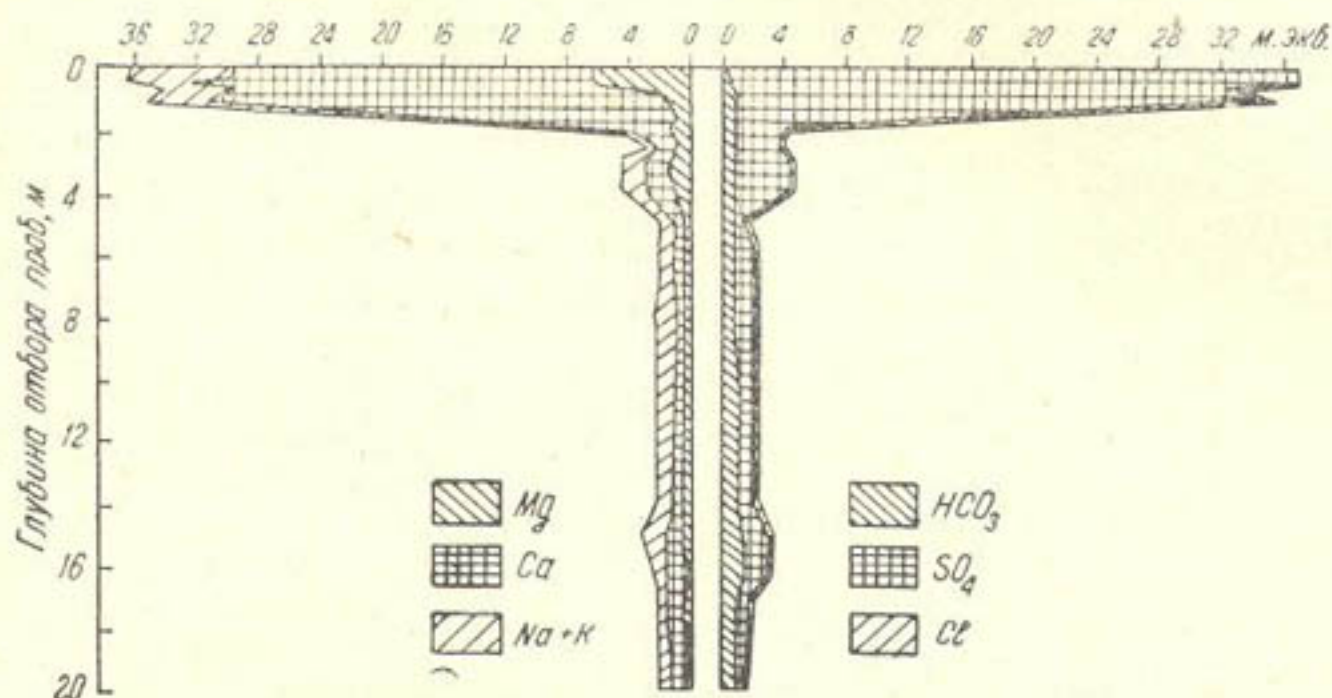


Рис. 5. Распределение легкорастворимых солей на Шурузякском участке (староорошаемая зона).

ных вод. В дальнейшем (эксплуатационный период) должен применяться вертикальный дренаж для поддержания оптимального водно-солевого баланса.

Для новоорошаемой зоны (совхоз № 5, 4, 8) задачу полного рас-солнения почво-грунтов трудно разрешить. Основные мелиоративные мероприятия здесь должны быть направлены: на рассоление верхнего слоя почво-грунтов и грунтовых вод, а также на снижение уровня высокоминерализованных грунтовых вод.

Для того чтобы вымыть такое большое количество солей (до 700 т/га), потребуются грузные промывные нормы более 20—30 тыс. м³/га. Приурочить эти промывки надо также к теплему периоду времени, что позволит наиболее скоро вымыть сернокислый натрий, содержащийся в этих грунтах тоже в больших количествах.

Растворение и вымыв огромного количества солей, естественно, займет большой промежуток времени. Поэтому промывки здесь надо начинать с летнего периода, лучше под покровом культуры освоителя.

Необходимо поддерживать промывной режим орошения и повторные промывки для сохранения опресненного верхнего слоя почво-грунтов и грунтовых вод, мощность которого желательно довести до 4—6 м.

В тех районах, где уровень грунтовых вод залегает еще достаточно глубоко, на 10—20 м и ниже, в задачу мелиорации входит комплекс мероприятий по сохранению сероземного процесса почвообразования и поддержанию глубокого залегания уровня грунтовых вод, при сохранении 1,5—2,0-м почвенного слоя опресненным, что

Состав солей, рассчитанных по водной вытяжке на 27 апреля 1962 г.
Шурузяк, точка № 1

Глубина отбора проб, м	Содержание солей, ‰					
	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄ (воднорастворимый)
0,0—0,2	0,074	0,321	—	0,079	0,049	0,176
0,2—0,4	0,066	0,195	—	0,296	0,038	0,803
0,4—0,6	0,041	0,300	—	0,242	0,036	0,866
0,6—0,8	0,041	0,049	—	0,296	0,028	0,873
0,8—1,0	0,041	0,314	—	0,148	0,042	0,921
1,0—1,2	0,041	0,244	—	0,163	0,036	0,866
1,2—1,4	0,025	0,236	—	0,148	0,060	0,827
1,4—1,6	0,025	—	0,006	0,264	0,045	0,927
1,6—1,8	0,049	0,057	—	0,079	0,038	0,230
1,8—2,0	0,013	—	0,017	0,073	0,045	0,084
2,0—2,5	0,025	0,038	—	0,094	0,042	0,025
2,5—3,0	0,025	0,084	—	0,094	0,036	0,017
3,0—3,5	0,025	0,050	—	0,109	0,036	0,031
3,5—4,0	0,025	0,152	—	0,039	0,042	0,011
4—5	0,041	0,012	—	0,025	0,014	0,095
5—6	0,025	0,066	—	0,079	0,038	0,015
6—7	0,033	0,053	—	0,094	0,049	0,020
7—8	0,025	0,081	—	0,094	0,049	0,020
8—9	0,033	0,142	—	0,054	0,092	—
9—10	0,033	0,053	—	0,148	0,045	0,037
10—11	0,041	0,046	—	0,039	0,053	0,048
11—12	0,033	0,099	—	0,094	0,045	0,070
12—13	0,033	0,142	—	0,069	0,045	0,023
13—14	0,033	0,226	—	0,015	0,066	0,005
14—15	0,296	0,040	—	0,069	0,063	0,055
15—16	0,033	0,164	—	0,054	0,056	—
16—17	0,413	0,044	—	0,054	0,063	0,134

можно осуществить только с помощью вертикального дренажа и системы мероприятий по повышению к. п. д. ирригационных систем и усовершенствованию техники полива (трубопроводы, дождевание, подпочвенное орошение).

Б. Ф. КАМБАРОВ

ЭРОЗИЯ ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ТЕХНИКОЙ БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА В ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНАХ ФЕРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

За последние годы опубликованы многочисленные работы по технике полива пропашных культур в условиях предгорий [6, 7, 12, 14, 15, 17, 20]. На первый взгляд, можно считать, что исследования этой темы завершены. Однако, занимаясь вопросами переустройства оросительных систем в Ферганской области и изучая литературные данные, мы натолкнулись на несоответствие рекомендаций и были вынуждены провести некоторые полевые опыты.

Большая несогласованность отмечается, например, в важнейшей рекомендации по размерам максимально допустимой струи воды в борозде при различных уклонах борозды $q_{\text{макс}}$. На рис. 1 дано графическое изображение $q_{\text{макс}}$ в зависимости от уклона по материалам разных авторов. Из рисунка видно, что различие рекомендаций особенно прослеживается для зоны больших уклонов, которая нас больше всего интересует. Это различие, по нашему мнению, появилось в результате двух причин:

1) неточности опытных данных и расчетных формул по взаимосвязи гидравлических элементов потока в борозде с разными уклонами (q , ω , v , h , λ , R , коэффициент шероховатости), так как $q_{\text{макс}}$ по большинству авторов определяется произведением допустимой скорости на площадь живого сечения при соответствующих q и i ;

2) неправомерности экстраполяции опытных данных и рекомендаций, полученных при средних уклонах в сторону больших уклонов предгорий.

В табл. 1 сведены расчетные формулы по взаимосвязи гидравлических элементов в борозде.

Коэффициенты шероховатости, определенные нами по формулам различных авторов, даны в табл. 2.

На основании гидравлических характеристик борозды указанные авторы закономерности равномерного движения в каналах применяют к „микротокам“ струйки в борозде. Прием этот, по-видимому, недостаточно обоснован. Большое значение мы придаем надежно установленной эмпирической зависимости $\omega = f(q, i)$, т. е. геометрическим размерам потока, гидравлическому радиусу и экспериментальным коэффициентам шероховатости. Предполагается, что при использовании этой зависимости можно дать более точные рекомендации по технике полива по сравнению с расчетами.

Достаточно точное установление величины $\omega = f(q, i)$ позволяет находить объем наполнения в борозде, который в уравнении баланса следует связывать с величинами q , v и ω , применяя уравнение неразрывности.

Для средних и особенно для малых уклонов с агротехнической точки зрения знание зависимости $\omega = f(q, i)$ совершенно необходимо как показатель допустимого наполнения борозд или недопустимого переполнения их, что ведет к снижению урожайности. К сожалению, имеющиеся зависимости $\omega = f(q, i)$ для зоны больших уклонов сильно отличаются друг от друга. Можно допустить, что эти различия и вызвали разноречивость в рекомендациях по максимальным расходам.

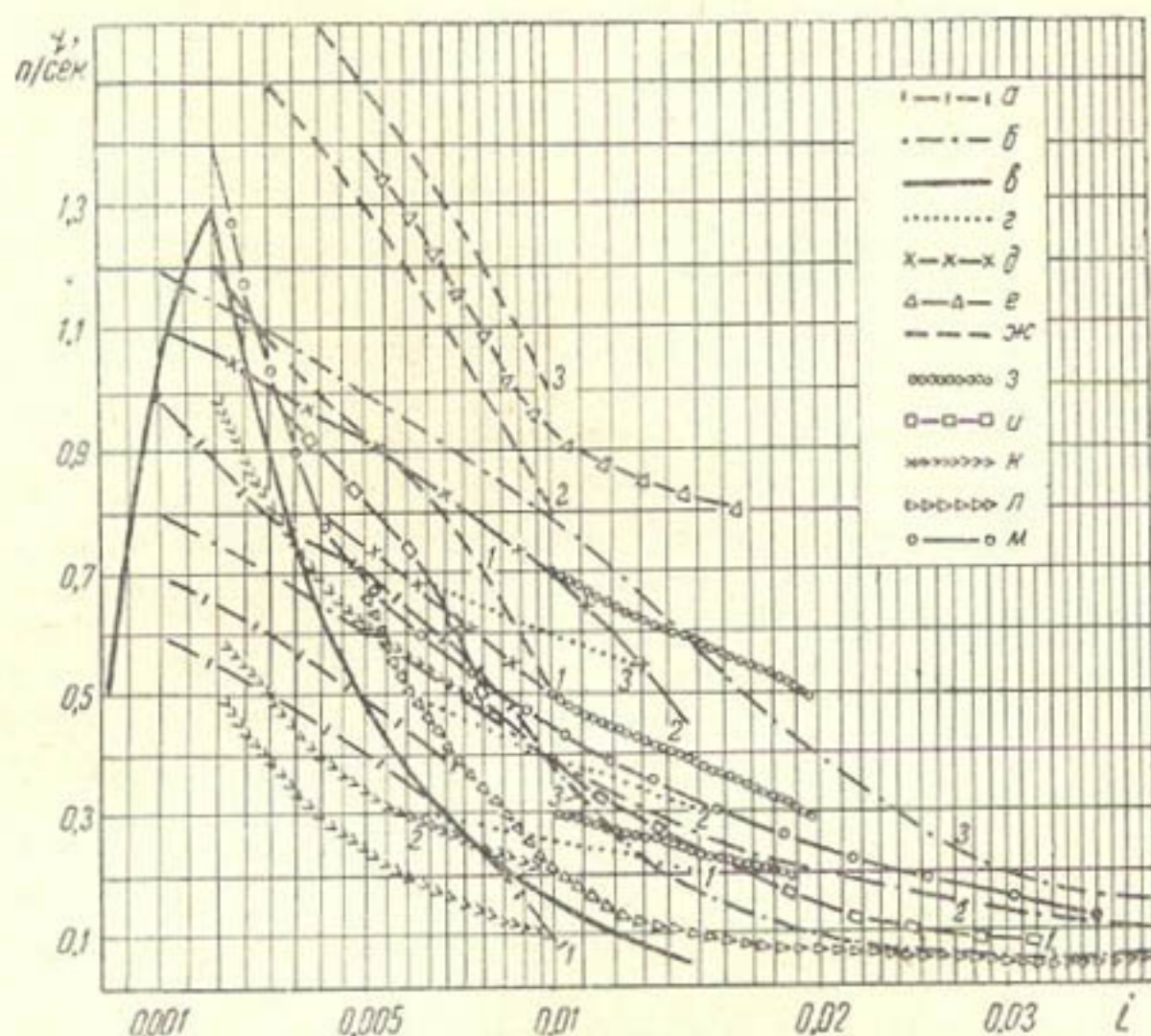


Рис. 1. Максимальные расходы воды в борозду при $q=f(i)$ по данным разных авторов:

а — Еременко (Ташкент); б — Чернецов (Киргизия); в — Кривовяз (Ташкент); г — Бехбутов (Баку); д — Аствацатрян (Ереван); е — АрмНИИГиМ; ж — Шумаков (ЮжНИИГиМ); з — Алиев (Баку); и — Носенко (Алма-Ата); к — Ибад-заде (Баку); л — Зайцев (Фергана); м — Жарова (Фрунзе). 1 — слабопроницаемые почвы; 2 — среднепроницаемые; 3 — сильнопроницаемые.

По данным большинства авторов, допустимые скорости определяются в пределах 0,15—0,20 м/сек (согласно рекомендации акад. А. Н. Костякова). Только С. М. Кривовяз отмечает, что в потоках с исключительно малой глубиной (от 1 до 3 см) допустимые скорости меньше 0,10 м/сек.

Н. Х. Бабаев, К. А. Жарова, В. Ф. Носенко пытались определить допустимый расход воды в борозде от второго аргумента — степени размываемости почв. К. А. Жарова конкретной оценки размываемости почвы не приводит. Н. Х. Бабаев [1], испытывая временную оросительную сеть предгорий Казахстана, впервые нормирует расходы воды в мелких временных каналах на больших уклонах в зависимости от свойств почво-грунтов (сила сцепления, верхний предел пластичности). В. Ф. Носенко [17] использует эти параметры для обоснования выбора допустимых струй в поливных бороздах.

Изучая работу Жаровой, мы подметили завышенность рекомендуемых допустимых расходов при размываемости. По-видимому, это получилось в результате применения неточной зависимости $Q=f(H)$ для треугольного водослива с вырезом в 45° (см. в работе [7], стр. 124).

Предгорья Ферганской области весьма обширны. Возможная к орошению площадь с уклонами больше 0,01 составляет в области 94620 га; из них сейчас орошается 28 тыс. га. Оросительная система предгорий требует коренной реконструкции, так как комплекс техники полива, применяемой на полях, вызывает эрозию почвы. В условиях предгорий — это основная причина систематического снижения плодородия почв, несмотря на применение в большом количестве минеральных удобрений.

Таблица 1

Гидравлические параметры поливной борозды по формулам разных авторов

С. М. Кривовяз	В. Ф. Носенко
а) $\omega = 0,0377 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,65};$ $\chi = 0,542 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,25};$ $B = 0,471 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,25};$ $h = 0,12 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,40};$ $R = 0,0695 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,40};$ —	б) $\omega = 0,147 \cdot \sqrt[3]{\frac{q^2}{i}};$ $\chi = 1,05 \cdot \sqrt[3]{\frac{q}{i}};$ — — $R = \frac{\omega}{\chi};$ —
А. Н. Ляпин	Н. Т. Лактаев
в) $\omega = 0,471 \cdot [0,821 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,29} + 0,009]^3;$ $\chi = 0,821 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,29};$ $B = 0,89 [0,821 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,29} + 0,009];$ $h = 0,79 \cdot [0,821 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,29} + 0,009];$ $R = \frac{\omega}{\chi};$ —	г) $\omega = 0,0316 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,60};$ $\chi = 0,575 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,24};$ $B = 0,451 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,24};$ $h = 0,105 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,36};$ $R = 0,0655 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,36};$ $C = 124 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,22};$

Примечание. Значения б, в приведены в готовом виде, остальные получены как производные. Во всех формулах q дано в $\text{м}^3/\text{сек}$.

Строительство Кампырраватского водохранилища и осуществление переброса воды из Кызылсу, притока Вахша, через Алайский хребет для подпитывания маловодной Исфайрам-Шахимарданской системы позволит освоить еще 63 тыс. га в зоне предгорий. Однако освоение этих земель следует проводить на базе новой техники, исключающей эрозию почв при поливе.

В связи с обстоятельствами, изложенными выше (противоречивость рекомендаций, недоработанность теории), а также актуальностью вопроса, связанного с орошением в предгорьях Ферганы, мы провели опыты по технике полива и эрозии на землях с большими уклонами.

Таблица 2

Коэффициент шероховатости, по Базену

Автор	Расход в борозду, л/сек.					
	0,10	0,40	0,10	0,40	0,10	0,40
	при уклонах					
	0,0530		0,0300		0,0135	
С. М. Кривовяз	0,11	0,079	0,095	0,077	0,089	0,055
В. Ф. Носенко	—	0,56	0,48	0,44	0,34	0,33
А. Н. Ляпин	0,34	0,14	0,36	0,32	0,39	0,83
Н. Т. Лактаев	0,18	0,15	0,17	0,14	0,15	0,13

Для этого мы выбрали полеводческую бригаду № 1 колхоза „Коммунизм“ Ферганского района, расположенную в типичных предгорных условиях, почти на вершине конуса выноса Шахимардансая. Рельеф сложный; общий уклон местности с юга на север. Уклоны полей изменяются от 0,01 до 0,08. Почвы типичные сероземы, разной мощности и степени оскелечивания. По механическому составу самый верхний слой, 0—15 см, представляет собой средний суглинок. Глубже механический состав отяжеляется, местами переходя в глины с включением гальки. Верхний слой почвы с различных глубин (от 0,3 до 2,5 м) подстиляется галечником в разнообразных смесях с песками. Грунтовые воды залегают ниже 10, а местами и 15 м.

Посевная площадь бригады 95 га; 20—25-летнего освоения. Средняя урожайность хлопчатника по бригаде за последние три года равнялась 19 ц/га, а по колхозу — 26 ц/га вследствие повышения урожайности на участках старого орошения, более плодородных ввиду большей мощности почв и уположения уклонов. Минеральные удобрения в почву вносятся порциями, три раза в год. Общая средняя годовая норма внесения минеральных удобрений 3,0 т/га, в том числе суперфосфат — 1,89; селитра — 1,11 т/га.

На площади бригады № 1 была визуально обследована применяемая техника полива, записан опыт поливальщиков.

Ежегодно перед началом первого вегетационного полива на поле нарезается густая сеть временных оросителей — ок-арыков. Оголовки поливных борозд армируются привозным чимом (дерном). Большое количество чима необходимо для поддержания (ремонт) сети ок-арыков. Заготовка и транспортирование чима — очень трудоемкий и дорогой процесс, связанный с поливом.

Поэтому, чтобы чим не разрушался при тракторных обработках,

оголовки поливных борозд уже более 10 лет устраивают не по оси борозды, а против рядков растений. В некоторых местах вместо чима используют камни и обрезки плотной бумаги.

Вызывные поливы проводятся почти ежегодно. За вегетацию хлопчатник поливают 6—12 раз в зависимости от водообеспеченности системы в данном году. На маломощных почвах число поливов увеличивается в 1,5—2 раза по сравнению с мощными суглинками. Длину борозд выбирают 60—100 м в зависимости от местных условий. Расходы воды, используемые для борозды, малы: от 0,02 до 0,20 л/сек. Так как подача воды по бороздам бывает нестабильной во времени, иногда расходы в бороздах внезапно увеличиваются против нормальных. Неожиданное повышение расходов воды способствует сильному увеличению эрозии почвы.

Временная вспомогательная оросительная сеть на поле сложна. Она состоит из нескольких звеньев: временная сеть, ок-арык, параллельная ему распределительная борозда на 8—15 оголовков, поливные борозды, сбросные канавки, идущие вдоль нижерасположенного ок-арыка, для последующего использования сброса „пайноу“ на полив крайних, расположенных ниже борозд. Последняя делянка борозд таких канавок не имеет. Вода идет в сброс. Общий размер сброса составляет 10—30% водоподачи. Сброс увеличивается к концу вегетационного периода. Продолжительность пуска воды в борозду от 48 до 72 час. Крупные участки по 10—15 га, состоящие из нескольких делянок, поливаются в течение 2,5—4 дней. Поливные нормы велики и составляют в среднем 1200—2000 м³/га, чаще — 1500 м³/га. Полив в таких условиях — очень сложная операция, требующая большого опыта, достаточной квалификации поливальщиков.

На первый взгляд техника поливов в бригаде осуществляется идеально. Однако при внимательном осмотре видны явления эрозии. Головные участки борозд, несмотря на поливы при малых расходах воды, размываются, примерно по осям борозд заметны узкие щели глубиной 4—10 см. Концевые части борозд заиливаются; в конце полива поверхность поля уполаживается; вода затопляет гребни борозд. Каналы, расположенные в конце участка, и придорожные канавы, куда поступает сбросная вода, заметно заиливаются до 81 т/га.

Для количественного определения показателей элементов техники полива и величины эрозии при поливе в бригаде № 1 выбраны два опытных участка.

Участок № 1. Почвы маломощные, толщина покровного слоя мелкозема 0,5 м. Этот слой представлен суглинком с включением каменистых частей до 50% по весу. Ниже 0,5 м доля каменистых частей все увеличивается. Уклон поля от 0,020 до 0,035 (крайние борозды). Данный участок сильно эродирован; урожайность хлопчатника на нем 12—13 ц/га.

Участок № 2. Поверхностный слой мелкозема от 1,5 до 2,5 м; слой 0—30 см — средний суглинок, ниже 30 см — тяжелый суглинок. Уклоны поля от 0,019 до 0,074. Участок № 2 имеет больший уклон по сравнению с участком № 1; плодородие его выше, урожайность прошлых лет 28—30 ц/га. Данные по механическому составу почвы см. в табл. 3.

На этих участках предполагалось установить величину эрозии и гидравлические элементы потока в борозде по нескольким вариантам в зависимости от уклонов и расходов (табл. 4).

Однако из-за недостатка наблюдателей опыты по всем вариантам задуманной схемы не были осуществлены. Некоторые отклонения от

схемы получились в уклонах. Варианты с расходами 0,20 и 0,25 л/сек оказались явно неприемлемыми. Часть опытных данных ввиду колебания расходов воды в голове борозды за время экспериментов пришлось забраковать. По той же причине (при осреднении фактических расходов) результаты опыта несколько изменились по сравнению со схемой: например, был задуман вариант при расходе, равном 0,1 л/сек, средний же расход составил 0,09 л/сек.

Таблица 3

Механический состав почв колхоза „Коммунизм“ Ферганского района,
% от веса сухой почвы

Номер шурфа	Группа почв	Глубина, см	Классификация почв по Н. А. Качинскому	Фракции, мм				
				на ситах			по Сабанину	
				1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01
1	Типичный серозем	0—20	Средний суглинок	3,037	10,248	8,388	10,910	31,828
2	То же	0—20	„	4,187	11,217	8,754	10,900	29,516
3	То же	0—20	„	0,819	4,309	9,364	10,498	31,636
4	То же	0—20	„	1,300	5,400	5,550	19,620	31,218

Номер шурфа	Группа почв	Глубина, см	Классификация почв по Н. А. Качинскому	Фракции, мм			Всего фракций 0,01	Гигроскопическая влажность, %
				по Робинзону				
				0,01—0,005	0,005—0,001	0,001		
1	Типичный серозем	0—20	Средний суглинок	11,950	14,740	5,899	32,589	0,934
2	То же	0—20	„	13,942	16,050	5,424	30,002	1,023
3	То же	0—20	„	16,962	14,436	11,959	43,357	0,908
4	То же	0—20	„	14,491	15,070	7,306	36,867	1,013

Примечание. Шурфы № 1 и 2 расположены на участке № 1; шурфы № 3 и 4—на участке № 2.

Опыты ставили на делянках, охватывающих 15 борозд и имеющих длину 60—110 м (до следующего ок-арыка). На командной стороне для каждого варианта был сделан ок-арык, служивший как бы „успокоительным“ бассейном. В головных частях 15 борозд были установлены водосливы Томсона, имеющие угол выреза 45° (для расходов 0,02—0,05 л/сек) и 30°. Воду во все борозды пускали практически почти одновременно в течение 30—40 сек. В пяти средних бороздах через каждые 10 м (до 50 м) устанавливали водосливы для замеров в этих створах расходов воды, изменяющихся во времени.

Учитывая влияние водосливов на гидравлику потока в бороздах и режим наносов, мы измеряли элементы живого поперечного сечения борозды и отбирали пробы воды на мутность в крайних бороздах 1—5 и 11—15. Пробы на мутность брали совком на специально построенных для этой цели перепадаках из плотной бумаги высотой в 5—6 см. Эта операция длилась не более 1—2 сек. Поперечные сечения измеряли микроинвентуркой. Скорости потока при разных q определяли делением расхода на площадь поперечного сечения. Кроме этого, эти

скорости контролировали, замеряя время добегания краски от створа к створу. Было измерено 137 живых сечений при разных уклонах и расходах. Формы поперечного сечения изменяются в широких пределах, они асимметричны. Более закономерны величины площади живого сечения потока в борозде.

Опытные данные по площадям живого сечения в зависимости от уклонов и расходов лучше всего подтверждают формулу Н. Т. Лактаева [13]

$$\omega = 0,0316 \cdot \left(\frac{q}{\sqrt{i}} \right)^{0,6},$$

где q — расход в борозде, $м^3/сек$;

i — уклон;

ω — площадь живого сечения, $м^2$, и другие его производные формулы, указанные в табл. 1, не только для средних уклонов, но и для диапазона больших уклонов предгорий Ферганской области.

Результаты опытов показали, что величина пути пробега лба струи (по сухой борозде) в логарифмической сетке изображается почти прямыми линиями в зависимости от времени, что подтверждает зависимость

$$l = \lambda \cdot t^{\alpha};$$

Таблица 4

Различные варианты расходов воды

Номер участка	Уклон борозды	Вариант расхода, л/сек.
1	0,022	0,20
		0,15
		0,10
	0,035	0,15
		0,10
		0,075
2	0,024	0,15
		0,10
		0,075
	0,035	0,10
		0,075
		0,05
	0,074	0,05
		0,025

Таблица 5

Величины параметров λ и α для предгорий Ферганской области

Номер участка	Уклон борозды	Расход, л/сек	Параметры	
			λ	α
1	0,0355	0,05	33,5	0,49
	0,0352	0,09	50	0,70
	0,0310	0,09	48	0,32
	0,0347	0,12	60	0,55
2	0,031	0,05	18	0,80
	0,024	0,03	32	0,53
	0,033	0,025	14	0,80
	0,024	0,03	25	0,46

здесь, l — путь, пройденный за время t ;

λ — путь, пройденный за первый час;

α — показатель степени, равный, по Н. Т. Лактаеву, показателю степени и формуле впитывания Н. А. Костякова.

По зависимости $l = \lambda \cdot t^\alpha$ были получены величины параметров λ и α (табл. 5).

Таким образом, степень мутности воды, подаваемой на опытные участки (в головных створах опытных борозд), совершенно незначительна и равна в среднем 0,5 г/л. Вода Шахимарданская прозрачна; подводящие тракты сложены галечником.

Результаты измерений мутности потока в борозде по пробам, взятым в створах +10, +20 м и т. п., отображены графически ($\rho = f(t)$) для $i = 0,024$ и $q = 0,105$ (рис. 2). Практически это самые большие расходы, применяемые для таких уклонов,

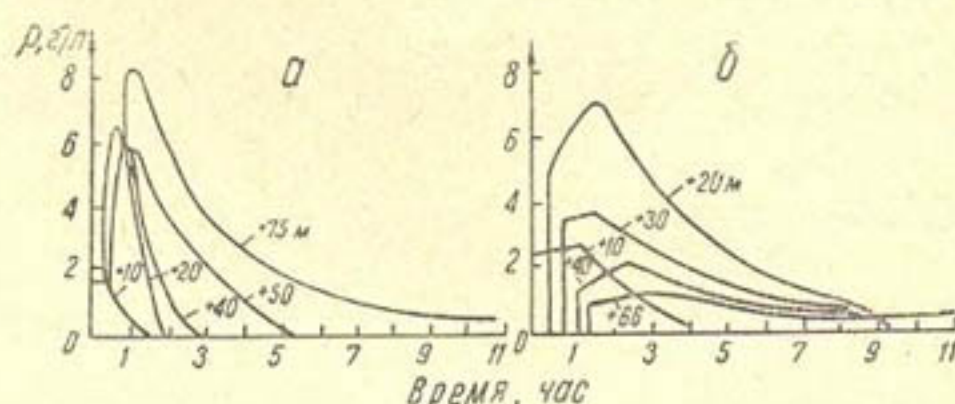


Рис. 2. Зависимость величины мутности от расхода воды и времени полива на агроучастках № 1 (а) при $q=0,107$ и $i=0,023$, а также № 2 (б) при $q=0,103$ и $i=0,0245$.

Из рисунка видно, что мутность воды по створам борозды сначала резко возрастает, а затем постепенно затухает, а эрозия зарождается (возникает) вследствие смыва потоком ложа борозды в головных участках, где по борозде отмечены самые большие расходы. На концевых участках борозды взвешенные струйные частицы незначительно аккумулируются и, кроме того, выносятся за пределы поля в потоке сбрасываемой воды. Максимумы мутностей, наблюдаемые в опытах в течение первых 5—6 час. полива, отмечены на участке № 1 в створах +40 и +60 м и на участке № 2 — в створах +20, +40 м.

На участке № 1, где тонкая прослойка поверхностного мелкозема включает много каменистых частиц, размыв головных участков борозды прекращается раньше, чем на участке № 2, где почвы без каменистых включений, т. е. скорости потока на участке № 1 примерно в 2 раза больше, чем такие же скорости на участке № 2.

По рис. 2,3 или по журнальным записям можно подсчитать величину интенсивности смыва при разных уклонах и расходах воды за время одного полива. Величина эта пересчитана в тоннах выносимого грунта с 1 га площади за один полив и представлена на рис. 3.

Из рисунка видно, что на больших уклонах размеры смыва особенно велики даже при совсем незначительных расходах. Одновременно также отмечается, что почва участка № 1 смывается в меньшей степени, чем почва на участке № 2.

Для уяснения годового размера смыва показатели рис. 3 надо умножить на число поливов, которое для наших условий равняется 8—12 поливам.

Вместе с частицами почвы поливной водой за пределы борозды выносятся и питательные вещества (табл. 6).

Основная задача наших исследований — установление допустимых расходов (скоростей) для конкретных условий выбранных участков. Задачу решали с помощью анализа балансов мутности по створам,

что описано выше, при непосредственном наблюдении за началом заметного передвижения частиц, слагающих русло крайних борозд при увеличенных и уменьшенных расходах. Сводка опытных данных о начале заметного перемещения грунта при разных уклонах и расходах дана на рис. 4 для участка № 1 (а) и для участка № 2 (б).

Сопоставляя кривые рис. 4, можно заметить, что почво-грунты участка № 1 из-за наличия большого числа каменистых включений более устойчивы к эрозии. Каменистые включения повышают шероховатость, уменьшают скорость и как бы защищают мелкозем от выноса. Однако надо учесть, что этот участок очень беден мелкоземом, урожайность на нем в 2,5 раза ниже, чем на участке № 2. Даже ежегодный небольшой смыл мелкозема через несколько лет обнажит галечник. Поэтому, вопреки установившемуся мнению поливальщиков и научных работников, участки с такими почво-грунтами должны поливаться возможно меньшими расходами в бороздах. Иначе намеченную границу, определяющую зону размываемых скоростей от зоны неразмываемых, в рекомендации не следует включать. Максимально допустимые расходы по условиям эрозии мы рекомендуем применять на участке № 2 (по данным рис. 4).

В результате сказанного выше можно сделать выводы и предложения.

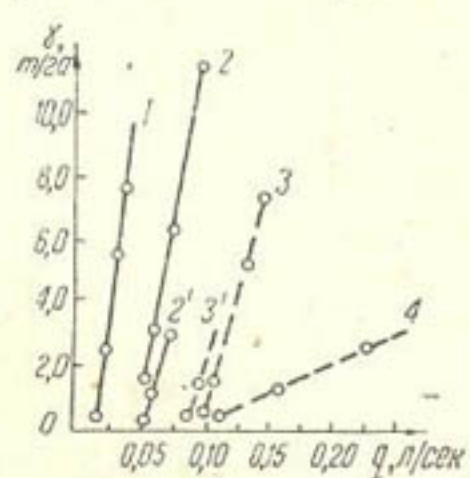


Рис. 3. Вынос почвогрунта в зависимости от расхода воды, уклона и длины борозды, а также времени полива на участках № 1 и № 2.

Первые поливы:

1— $i=0,074$; $l=20,0$ м, $t=10$ час;
2— $i=0,027$; $l=60,0$ м, $t=24$ час;
3— $i=0,035$; $l=110,0$ м, $t=24$ час;
4— $i=0,023$; $l=75,0$ м, $t=24$ час;
2' и 3'—предпоследние поливы.

Таблица 6

Зависимость выноса питательных веществ от расхода воды и уклона борозды

Номер участка	Уклон борозды	Расход, л/сек	Длина борозды или отрезков борозды, м	Вынос питательных веществ с мелкоземом за один полив, кг/га		
				азота	гумуса	карбоната
1	0,035	0,124	110	6,52	56,5	292,0
	0,035	0,090	0—60	2,62	22,4	116
	0,035	0,090	110	0,34	3,0	15,3
	0,022	0,164	75	2,28	16,6	81,5
	0,022	0,090	75	0,30	2,2	10,8
2	0,074	0,022	0—20	7,75	74,0	545,0
	0,074	0,016	0—20	2,92	27,8	205,0
	0,027	0,107	65	2,43	10,2	683,0
	0,027	0,042	66	0,52	3,0	220,0
	0,024	0,052	0—40	3,20	22,5	232,0
	0,024	0,026	0—40	0,11	0,7	7,4

1. Сочетание элементов техники полива, принятое в колхозе „Коммунизм“, не обеспечивает прекращения явлений эрозии при поливах, высокой производительности труда поливальщиков и приводит к большим потерям питательных веществ.

2. Для рассмотренных условий участка № 2 рекомендуется следующий комплекс элементов техники полива:

Уклон	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Расход, л/сек	0,050	0,035	0,025	0,016	0,012	0,010
Длина борозды, м	80	70	60	50	45	40

3. Желательно уже на современном этапе переходить на полив с применением гибких трубопроводов из полиэтилена, что дает возможность прекратить эрозию во временной и мелкой сети, и на выращивание пропашных культур по бороздам, идущим по наименьшему уклону.

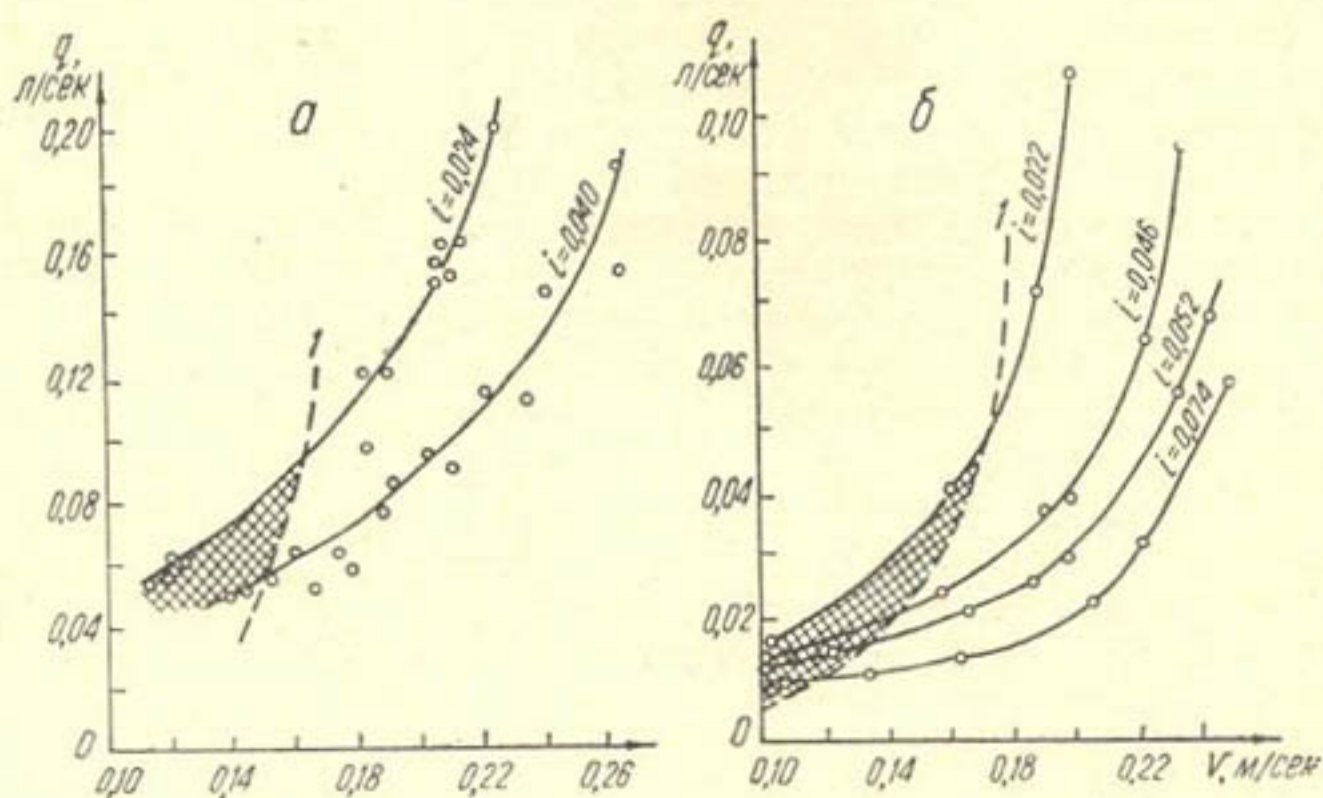


Рис. 4. Зависимость скорости потока от расхода воды и уклона борозды на участке № 1 (а) и № 2 (б);

I — граница допускаемых расходов.

4. Самым перспективным видом орошения для условий предгорий следует считать самонапорное дождевание [19, 20, 21], причем полоса от верхнего командного канала до границы, где уже создается необходимый напор, может поливаться системой гибких шлангов.

5. Необходимо быстрыми темпами вести опытно-исследовательские работы по вопросам, связанным с реконструкцией предгорных оросительных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев Н. Х. Ирригационная эрозия в элементах оросительной сети и приемы предупреждения ее в условиях предгорных районов Заилийского Алатау. Автореферат канд. дисс., Алма-Ата, 1956.
2. Газиев Х. К. Планировка поливных участков при переходе на новую систему орошения, Фрунзе, 1955.
3. Гильдиев С. А. Поливы хлопчатника, Ташкент, 1962.
4. Гуссак В. Б., Насыров Я. М., Скворцов Ю. А. Почвообразование на лесовых аккумуляциях разного возраста и плодородия сероземов, Ташкент, АН УзССР, 1961.
5. Давидов Д. Максимальные наклоны и оросительные струи при поверхностном способе ирригации, "Гидротехника и мелиорация" (Болгария), 1961, № 4.
6. Еременко В. Е. О технике полива хлопчатника, В сб. "Севообороты, удобрения и поливы хлопчатника", Ташкент, Союзнихи, 1949.

7. Жарова К. А. Техника полива по бороздам на больших уклонах Чуйской долины, Фрунзе, АН КиргССР, 1961.
 8. Ибад-заде Ю. А. Водопроводящие и водоизмерительные сооружения, Баку, АН АзербССР, 1961.
 9. Камбаров Б. Ф. Новый способ полива адырным землям, „Ўзбекистон қишлоқ хўжалиги“, 1962. № 1.
 10. Камбаров Б. Ф. Опыт полива гибкими поливными трубопроводами на сложном рельефе, „Механизация хлопководства“, 1961, № 8.
 11. Кривовяз С. М. О способах равномерного увлажнения почвы при поливе по бороздам, „Хлопководство“, 1961, № 1.
 12. Кривовяз С. М. О величине расхода в поливных бороздах, „Сельское хозяйство Узбекистана“, 1961, № 12.
 13. Махсудов Х. Ирригационная эрозия на типичном сероземе и принципы борьбы с ней, Автореферат канд. дисс., Ташкент, ТашГУ, 1963.
 14. Меднис М. Техника полива хлопчатника на крутых склонах, „Хлопководство“, 1958, № 12.
 15. Михайлов Д. Я. Эрозия почв в Киргизской ССР, Фрунзе, АН КиргССР, 1959.
 16. Михай Г., Хурезьяну Д. Мероприятия по защите почв от эрозии, 1962.
 17. Носенко В. Ф. Особенности и пути улучшения техники полива в предгорьях Казахстана, Труды КазНИИХВ, т. 11, Алма-Ата. 1960.
 18. Панков М. А. Почвы Узбекистана, т. 2, Ташкент, САГУ, 1957.
 19. Сладков Е. А. Самонапорное дождевание, Автореферат канд. дисс., Ташкент, 1962.
 20. Шапошников Д. Г. Горное орошение, Автореферат докт. дисс., М., Ин-т водного хоз-ва, 1957.
-

Х. А. КАДЫРОВ

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ И ЕГО РОЛЬ В ДИНАМИКЕ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Засоление земель связано с близким залеганием уровня минерализованных грунтовых вод. Для того чтобы понизить их уровень, применяется вертикальный дренаж.

Мы изучали влияние вертикального дренажа на уровень грунтовых вод в Каганском районе Бухарской области в 1960—1962 гг.

На этом участке дренаж, состоящий из трех скважин, построен в 1957 г. В 1958 г. был составлен проект по строительству дренажа на площади в 1830 га, по которому в 1960 г. пробурено девять скважин из намеченных 28 (включая три имеющиеся, рис. 1). Глубина скважин равна 25—45 м при диаметре их от 12 до 16 3/8 дюйма.

Рассматриваемый участок расположен на второй надпойменной террасе р. Зеравшан, на которой встречается множество бессточных впадин глубиной 1—4,5 м. Поверхность ее слабоволнистая с уклонами от 0,001 до 0,002. Терраса сложена породами четвертичного возраста, представленными переслаивающимися суглинками, супесями и песками в подошве. Мощность покровных мелкоземов достигает 8,0—12,0 м. Коэффициент фильтрации этих отложений колеблется от 0,5 до 4,0 м/сутки, водоотдача—0,1. Мелкоземы подстилаются галечниками в пересыпке с песком и гравием, средняя мощность пласта 4,5—6,0, наибольшая 12 м, коэффициент фильтрации 25—60 м/сутки. Ниже залегает мощная слоистая толща песчаников и глин, относящаяся к Туранской свите.

Песчаники и глины отличаются от покровных отложений малой водопроницаемостью и более высокой степенью минерализации воды в них, увеличивающейся с глубиной. Минерализация же воды в покровных мелкоземах с глубиной уменьшается: в галечниках вода в большинстве случаев пресная.

Покровный мелкозем на территории участка представлен луговыми (64,6%) и лугово-сероземными (16%) почвенными разностями, по механическому составу сложены средними и тяжелыми суглинками. Режим уровня грунтовых вод до строительства системы скважин вертикального дренажа отображен на рис. 2, где приводятся многолетние данные Бухарской гидрогеологической станции.

Из рисунка видно, что грунтовые воды в течение года залегают на глубине 1,5 м с максимумом в апреле (1—1,3 м) и минимумом в октябре (до 2 м); амплитуда колебания составляет 0,7—1,0 м.

Минерализация грунтовых вод покровных мелкоземов на рассматриваемом участке очень пестрая и варьирует в широких пределах в зависимости от освоенности земель: на интенсивно орошаемых землях она находится в пределах 1,5—5 г/л, на неорошаемых —4—20—40 г/л.

В условиях сухого и жаркого климата на фоне столь близкого залегания минерализованных грунтовых вод на территории участка отмечается процесс интенсивного засоления земель.

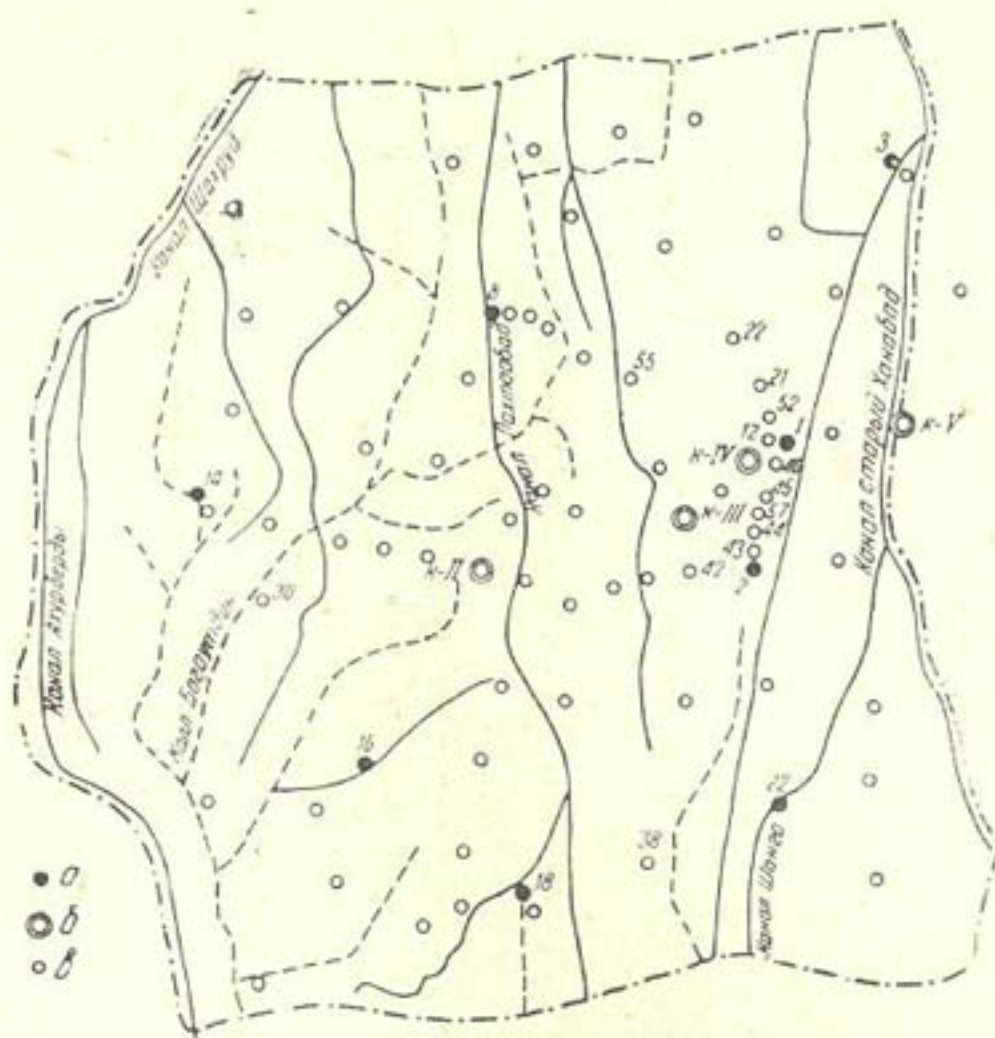


Рис. 1. Схема опытного участка вертикального дренажа в Каганском районе Бухарской области:

а — эксплуатационные скважины; б — кусты пьезометров;
в — пьезометры.

Одним из эффективных мероприятий по борьбе с дальнейшим засолением земель является понижение зеркала минерализованных грунтовых вод. Ниже рассмотрим роль вертикального дренажа в этой задаче.

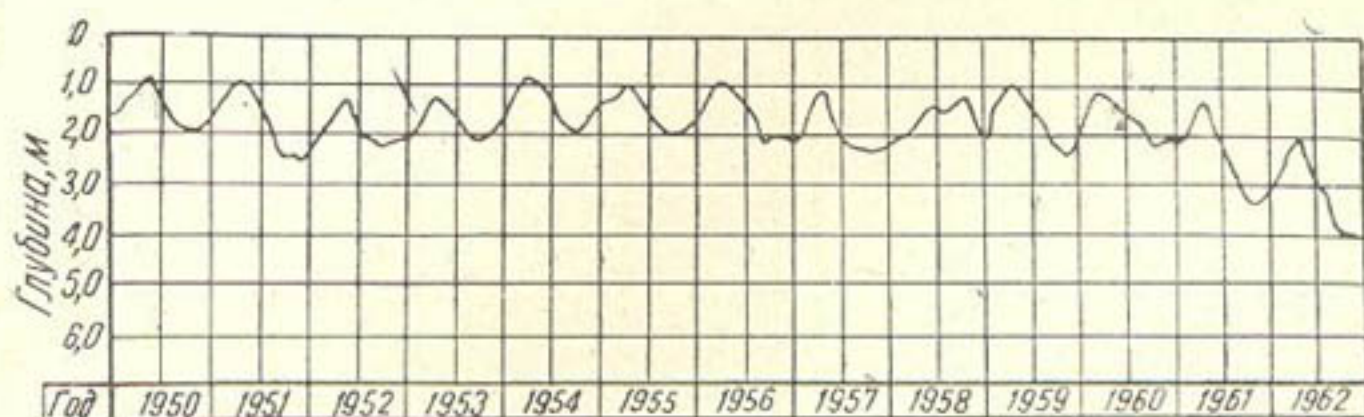


Рис. 2. Кривая колебаний грунтовых вод по скв. № 55 в Бухарском оазисе (по данным Бухарской гидрогеологической режимной станции).

В период исследований откачки велись с различным насосно-силовым оборудованием. Средний дебит скважин составил 25—30 л/сек, при максимуме 50 и минимуме 15 л/сек. Сложившийся режим грунтовых вод в результате откачек 1960—1962 г. отличается от описанного выше более глубоким положением грунтовых вод, особенно в периоды интенсивных откачек из системы. На рис. 3 приведена динамика грунтовых вод по пьезометрам и кустам опытного участка. Из

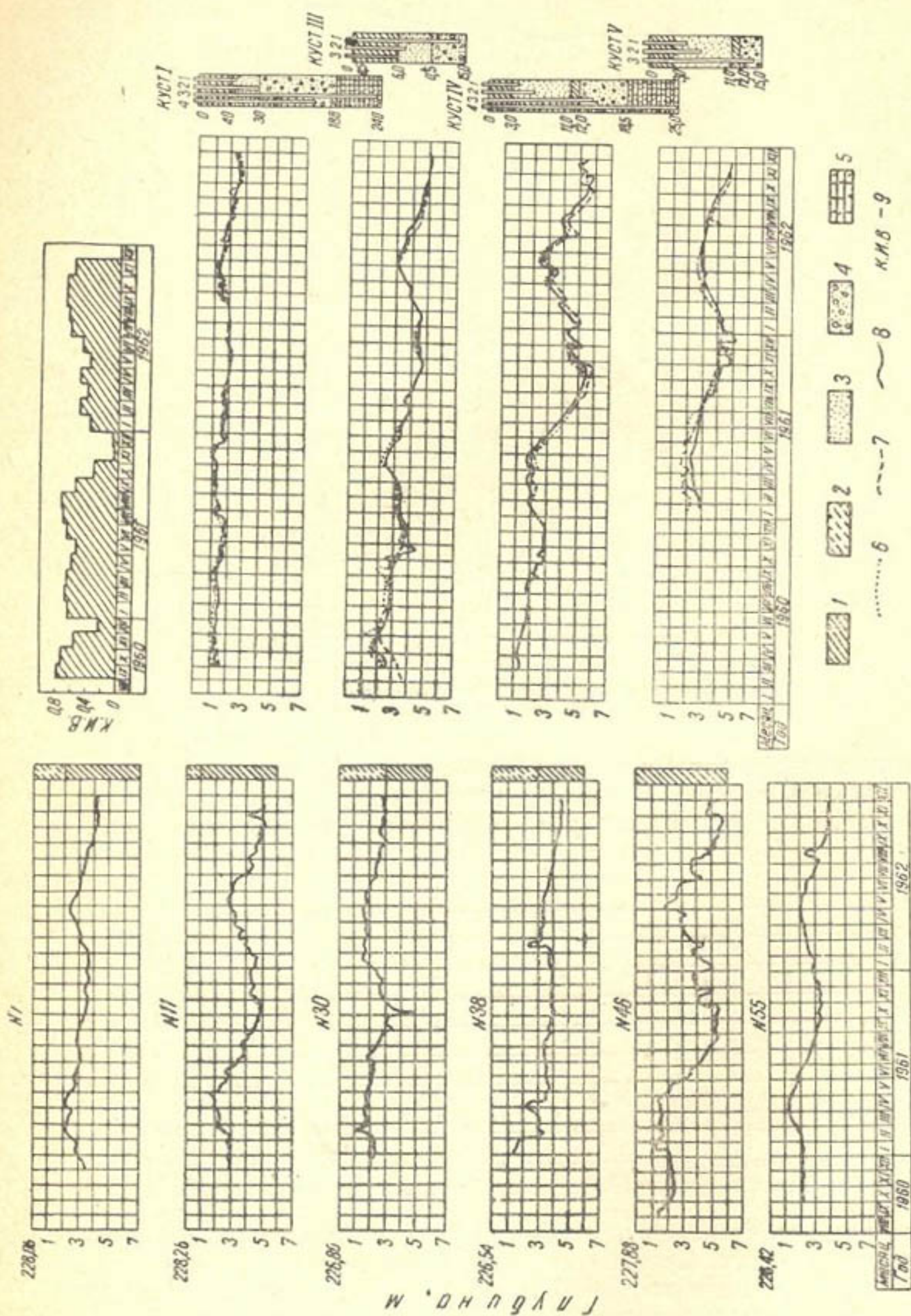


Рис. 3. Динамика уровня грунтовых вод по пьезометрам и кустам за 1960 – 1962 гг.:

1—суглинок; 2—супесь; 3—песок; 4—галечник с песком; 5—песчаник; 6—уровни грунтовых вод по кусту III-1; 7—то же, по III-2; 8—то же, по III-3; 9—коэффициент использования времени системой эксплуатации скважины; № 7, 11, 30, 38, 46, 55—пьезометры.

рисунка видно, что в течение года грунтовые воды залегали в среднем на глубине от 2 до 3,5 м с максимумом в апреле—мае (1,8—2,5 м) и минимумом в октябре (4,0—5,6 м); амплитуда колебания за год составила 2,2—3,1 м.*

Кривые колебаний грунтовых вод по кустам II, III, IV и V наглядно показывают, что положение грунтовых вод различных по водопроницаемости горизонтах (покровных мелкоземах и галечниках) почти не отличается друг от друга не только по форме, но и по величине. Это говорит о наличии и хорошей гидравлической связи между ними и отсутствии относительного напора грунтовых вод, т. е. все водоносные горизонты толщи четвертичных отложений можно считать единым водоносным бассейном.

Следовательно, любое возмущение в галечниковых горизонтах довольно скоро (через 1 сутки) отражается в толще покровных мелкоземов.

На рис. 4 приведена динамика уровня грунтовых вод по пьезометрам № 55 и 46, удаленным от эксплуатационной скважины № 1 (см. рис. 2) на расстояние 900 и 207 м соответственно, т. е. они расположены — один вне, а другой внутри зоны влияния скважины. За-

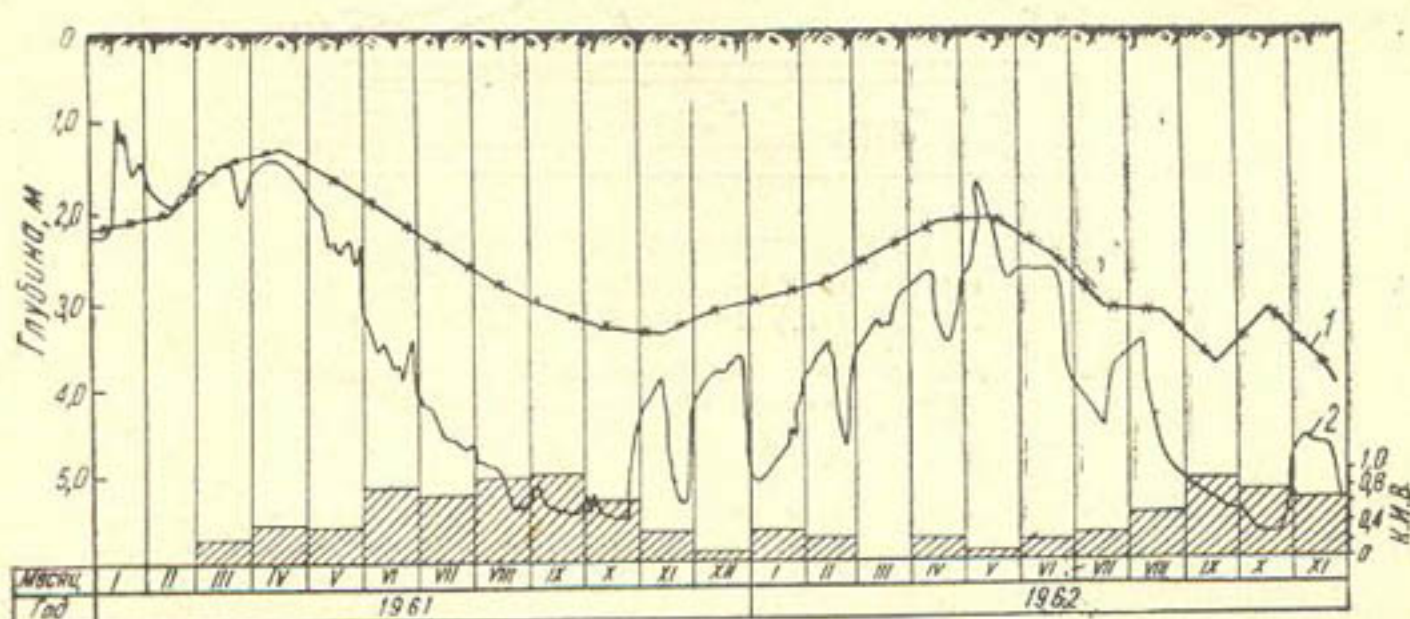


Рис. 4. Динамика уровня грунтовых вод по пьезометрам № 55 (1) и 46 (2) в зависимости от откачек.

штрихованная часть рисунка показывает режим работы скважины, выраженный в долях коэффициента использования времени (к. и. в.), определяемого отношением числа часов работы ее за месяц к общему числу часов в календарном месяце.

Как видно из рис. 4, динамика уровня грунтовых вод по пьезометру № 46 находится в полной зависимости от откачек на скважине. В моменты, когда откачка ведется с к. и. в., близким к единице, уровень грунтовых вод дополнительно понижается на 2,13—2,32 м по сравнению с уровнем, близким к естественному (см. рис. 4, пьезометр № 55 за IX. 1961 и X. 1962 гг.)

Возможность регулирования уровня грунтовых вод, как это видно из рис. 4, по заданному режиму является бесспорно большим достоинством системы вертикального дренажа перед другими видами его.

На рис. 5 наглядно показана динамика уровня грунтовых вод на опытно-производственном участке за 1957 г., по данным В. М. Плутницкого, и за 1962 г. — по нашим.

* Материалы наблюдений за уровнем грунтовых вод с августа 1960 по апрель 1961 г. заимствованы у Бухарской гидрогеологической станции.

Для сравнения берется именно 1957 и 1962 гг., так как по мало-водности, по размерам вододачи на территории участка и другим условиям они идентичны (сказанное нами доказано воднобалансовыми исследованиями). Кроме того, примечательно и то, что пьезометры № 16 и 25 в конце 1958 г. были аннулированы, а в 1960 г. институт Узгипроводхоз установил новые пьезометры, почти в тех же местах, но уже под № 45 и 42.

Из рис. 5 видно, что грунтовые воды в 1962 г. залегали гораздо ниже, чем в 1957 г. Например, по пьезометру № 45, удаленному от эксплуатационной скважины на 350 м, за 1962 г. уровень грунтовых вод дополнительно понижен в среднем на 2,0 м по сравнению с 1957 г. по пьезометру № 16, отстоящему на таком же расстоянии от

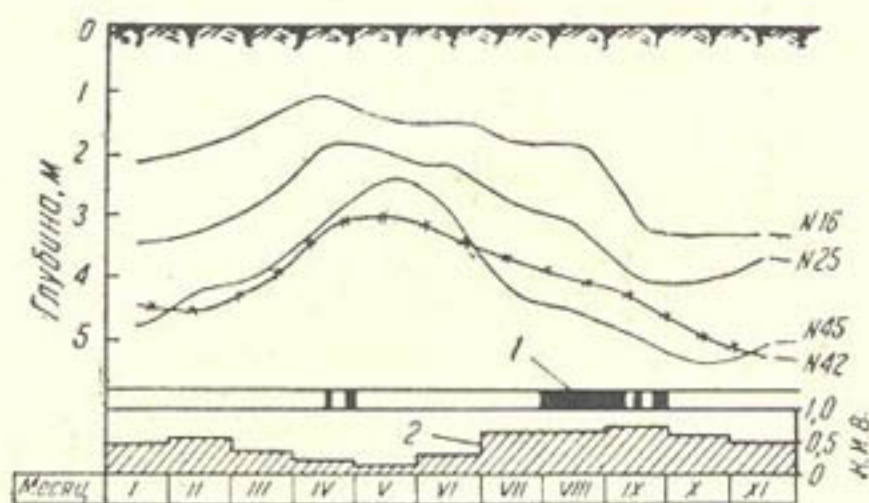


Рис. 5. Динамика уровня грунтовых вод на опытном участке по пьезометрам №№ 16, 25 (1957 г.) и 45 и 42 (1962 г.):

1 — откачка по скв. № 1 и 2-бис в 1957 г.; 2 — средняя величина к. и. в. по скв. № 1 и 2-бис.

той же скважины. То же, но в меньшей мере (1,04 м) отмечается и по пьезометру № 42 сравнительно с пьезометром № 25, расположенным на одинаковом удалении (350 м), но уже от скважины 2-бис. Такая разница в относительных понижениях грунтовых вод в 1957 и 1962 гг. при равной удаленности пьезометров от работающих скважин объясняется, во-первых, длительностью откачек и, во-вторых, литологическим строением водовмещающих пород рассматриваемой части участка.

Каково же пространственное влияние откачек на грунтовые воды по одной из скважин опытного участка? В ноябре 1961 г. на опытном участке мы провели специальные откачки. Перед началом опыта работа всей системы была приостановлена на 2,5 мес. для стабилизации статического уровня грунтовых вод.

Откачки производились при двух понижениях уровня: первое понижение с дебитом 40 л/сек, второе — с максимально возможным.

Во время специальных откачек за дебитом скважины наблюдали по водосливу и за уровнем воды — по затрубному пьезометру и по пьезометрам, окружающим данную скважину, через каждые 5 мин. в течение получаса с момента начала откачек и через 15 мин. последующие полчаса, далее через каждый час в продолжение 5 час., после чего наблюдения проводились 3 раза в сутки (табл. 1).

За уровнем грунтовых вод наблюдали в таком же порядке и после остановки скважины.

На основании табл. 1 и литологических данных института Узгипроводхоза, уточненных материалами ручного бурения 82 шурфов в

Таблица 1

Дата наблюдений, дни, часы	Дебит, л/сек	Глубина грунтовых вод (м) по наблюдательным пунктам															
		12	51	52	21	22	46	45	44	43	куст IV, скв.				куст III, скв.		
											1	2	3	4	1	2	3
14. XI, 11	Сухо	455	476	410	374	—	398	399	405	396	438	435	445	417	—	—	—
17. XI, 8	41	982	487	423	391	—	469	416	—	391	493	496	461	491	—	—	—
20. XI, 8	40	990	491	428	407	441	501	430	415	383	520	522	485	508	441	440	437
25. XI, 11	44	1128	500	443	430	445	536	450	426	385	556	560	529	540	447	445	442
25. XI, 18	Сухо	719	498	439	428	444	533	449	426	385	553	549	527	520	447	445	442
2. XII, 13	.	465	485	425	381	436	415	419	414	—	424	426	492	430	448	448	444

Примечание 14. XI в 11 час. начало откачек первого понижения; 20. XI в 11 час. конец первого и начало второго понижения; 25. XI в 11 час. конец второго понижения; 2. XII в 13 час. конец стабилизации уровня грунтовых вод.

районе скв. № 1, 2-бис и 3 (старая), проведенного в 1957 г. Узбекским гидрогеологическим трестом, построена расчетная схема (рис. 6) к определению радиуса влияния скважины.

На рассматриваемом участке (см. рис. 6) кровля песчаников с прослойками плотных глин находится на глубине 20—30 м от поверхности земли. Так как водообильность этих отложений незначительна, мы их приняли за относительный водоупор. Поэтому следующий ни-

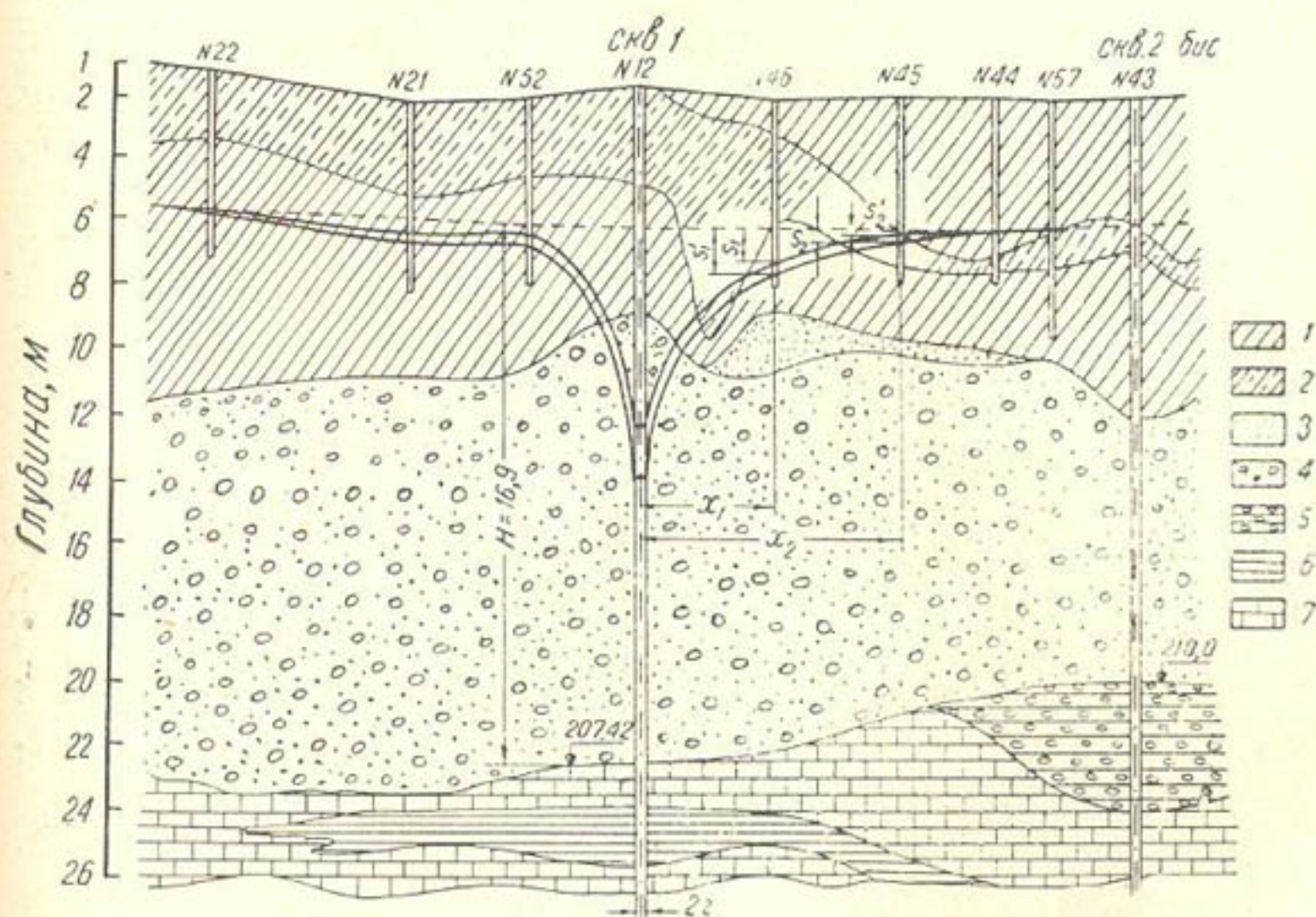


Рис. 6. Расчетная схема к определению радиуса влияния скважины по данным пьезометров № 44, 45, 46, 12, 52, 21, 22, удаленных от скв. № 1 на расстояние 551 м; 402; 207; 0; 168; 350; 650 м соответственно:

1—суглинок серый микропористый с корнями растений, местами плотный; 2—смесь серого цвета, проросшая корнями; 3—песок темно-серого цвета, мелкий среднезернистый; 4—гравий темно-серый средней и крупной фракции известково-кремнистый песчаный; 5—глина желто-серая плотная, тяжелая с включением гравия более 30%; 6—глина желтая; 7—песчаник прочный.

же расчет проведен как для совершенных колодцев в безнапорных условиях.

Радиус влияния скважины № 1 определяли по трем формулам. Наиболее полно условиям опытного участка отвечает формула Дюпюи, имеющая вид

$$\lg R = \frac{s_1(2H - s_1)\lg x_2 - s_2(2H - s_2)\lg x_1}{(s_1 - s_2)(2H - s_1 - s_2)},$$

где R — радиус влияния скважины, м;

H — мощность безнапорного водоносного горизонта, м;

s_1 и s_2 — понижение уровня в первом и втором наблюдательных пунктах, м;

x_1 и x_2 — расстояние от опытной скважины до первого и второго наблюдательных пунктов, м.

Согласно расчетной схеме при первом понижении $s_1 = 5,35$ м, радиус влияния скважины равнялся 519 м при дебите 40 л/сек, для второго же понижения $s_2 = 6,73$ м — 596 м при дебите 44 л/сек.

По двум другим формулам Дюпюи и Захардта получаются заниженные результаты, обусловленные тем, что в формулы входит величина понижения уровня в центральной скважине, последняя же в свою очередь во многом зависит от условий формирования искусственного гравийного фильтра и конструкции фильтровой колонны скважины.

Действительно, во время опытных откачек наблюдениями было установлено понижение уровня на расстоянии 546 м (пьезометр № 44) при расходе 44 л/сек, а практическое смыкание кривой депрессии со статическим уровнем грунтовых вод было отмечено на расстоянии 650 м от скважины (данные по пьезометру № 22).

В табл. 2 приведены результаты опытных откачек с 14 по 25 ноября 1961 г. по эксплуатационной скв. № 1.

Таблица 2

Номер наблюдательного пункта	Расстояние от экспл. скв. № 1, м	Понижение, м	
		первое	второе
46	207	1,03	1,38
21	350	0,33	0,56
45	402	0,30	0,51
44	551	0,10	0,21
22	650	0,00	0,04
Скв. № 2-бис	762	0,00	0,00

Наблюдаемые понижения следует отнести полностью к вертикальному дренажу, так как

а) горизонтальный дренаж в ноябре 1961 г. был сухим, т. е. не работал;

б) откачка велась при отсутствии инфильтрационных вод;

в) количество выпавших осадков за период опыта достигло 11,7 мм;

г) суммарное испарение и транспирация с 14 по 25 сентября составили 3,5 мм;

д) подземный отток за ноябрь равнялся 49 мм, за время же опыта — 17 мм.

Отсюда следует, что понижению грунтовых вод главным образом способствовал вертикальный дренаж и частично (на 1,7 см) подземный отток.

Суточное колебание грунтовых вод в естественных условиях, по нашим наблюдениям, находится в пределах 1—1,5 см, что подтверждается наблюдениями Н. И. Курелевой (Опытная станция СоюзНИХИ в г. Бухаре).

На основании данных специальных откачек мы определили коэффициент фильтрации галечникового горизонта. Для этой цели использовали формулу Дюпюи, преобразованную С. А. Кодем (по способу усовершенствованных погрешностей) и имеющую вид

$$k = \frac{0,000366(\lg R - \lg r)}{M \cdot B}, \text{ м/сек},$$

где M — мощность водоносных пластов;

B — угловой коэффициент или удельное понижение у внешней поверхности центральной скважины (пьезометр № 12, рис. 6), определяемое по выражению

$$B = \frac{\sum s_{\text{вн}}}{\sum Q}, \text{ м} \cdot \text{л/сек}.$$

В данном случае для первого понижения при дебите 40 л/сек имеем •

$$B = \frac{\sum s_{\text{вн}}}{\sum Q} = \frac{90,5}{677,3} = 0,1338 \text{ м} \cdot \text{л/сек}$$

и $k = 0,000572 \text{ м/сек}$, или 49,4 м/сутки; для второго понижения при $Q = 44 \text{ л/сек}$ $B = 0,153 \text{ м} \cdot \text{л/сек}$ и $k = 44 \text{ м/сутки}$.

Средняя величина коэффициента фильтрации равна 46,7 м/сутки.

В заключение следует сказать, что на опытном участке в результате откачек только из восьми эксплуатационных скважин (вместо 28 по проекту) было достигнуто районное понижение грунтовых вод, равное 0,51 м в 1962 г. по отношению к окружающей территории и 0,81 м в этом же году по отношению к 1957 г. (об идентичности этих лет упоминалось выше).

Мы считаем, что для достижения проектной нормы осушения (2,5 м) на территории опытного участка (площадью 1830 га по проекту) достаточно 17 скважин со средним дебитом 30—35 л/сек.

Результаты опытных работ показывают, что средний радиус влияния скважин можно принять 500 м и междренные расстояния 1000 м, учитывая, что участок будет дренироваться системой скважин.

С. М. ПАРШУТИН

ОПЫТ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ХЛОПЧАТНИКА НА ТАКЫРЕ

Освоение огромных земельных площадей в Тедженском оазисе, возможное в результате завершения строительства второй очереди Каракумского канала, внесет существенный вклад в развитие хлопководства Туркменской ССР.

Однако почвенный покров осваиваемой территории оазиса по сложившемуся мнению мало плодороден и труден для освоения. Он представлен преимущественно такыровидными, лугово-такырными, такырно-луговыми засоленными почвами и в меньшей степени — трудно осваиваемыми пустынно-песчаными почвами и такырами. Последние в оазисе занимают 98 тыс. га, а всего в республике площадь под такырами 1578 тыс. га. Такыры являются основными почвами на территории опорного пункта Туркменского научно-исследовательского института водных проблем и гидротехники.

На опорном пункте проводили многолетние опыты по выращиванию хлопчатника на лизиметрических делянках и в лизиметрах с такырными почвами. В 1958—1961 гг. опыты вели на делянке площадью 0,10 га и на шести лизиметрах (по два лизиметра с глубиной залегания грунтовых вод 1, 2 и 3 м), а в 1962 г. — на двух делянках (0,20 га) и в 12 лизиметрах.

Лизиметры представляют собой ящик с глухим дном из листового железа толщиной 5 мм. Площадь каждого лизиметра 0,6 × 1,0 м, глубина 1,6, 2,6 и 3,6 м.

Для замера уровня грунтовых вод, подлива или откачки воды в лизиметрах установлено по две трубы — контрольная и питательная. В лизиметрах постоянно поддерживался уровень грунтовых вод на глубине 1, 2, и 3 м. На делянках грунтовые воды залегали на глубине 5 м.

Среднегодовая минерализация грунтовых вод за период исследований по плотному остатку при глубине их залегания 1 м изменялась от 3,7 до 8,2 г/л, при 2 м — от 4,7 до 8,7, при 3 м — от 4,5 до 8,9 и при 5 м — от 37,1 до 45,3 г/л и по хлору 1,06—2,25 г/л, 1,42—3,43, 1,19—2,75 и 16,68—21,99 г/л соответственно.

Почва опытного участка имеет ясно выраженную плотную такырную корку толщиной 3—5 см, содержит мало питательных веществ, обладает плохими водно-физическими свойствами и сильно засолена.

Анализ водно-физических свойств такыра показывает, что объемный вес его в верхнем метровом слое изменяется от 1,26 до 1,50. Удельный вес более однороден по всем горизонтам: от 2,66 до 2,72.

Влажность почвы по горизонтам верхнего метрового слоя (% к весу почвы) варьирует от 2,0 до 17,1 при средней величине влажности в этом слое 8,8, а в слоях 0—200 см и 0—300 см она составляет 10,4 и 12,1 соответственно.

Содержание плотного остатка в метровом слое почвы до проведения мероприятий по освоению достигало 1,40%, а хлора и сульфата— 0,567 и 0,256% к весу почвы соответственно. В почве содержится значительное количество катиона натрия (10—15 м·экв в слое 0—100 см), главным образом в почвенном поглощающем комплексе, что дает основание относить почвы участка к солонцевато-засоленным.

Почво-грунты характеризуются большой слоистостью: в верхнем 58-см слое залегают тяжелые глины серого цвета, а затем до глубины 100 см — светло-коричневый и белый суглинок. Ниже расположен 25-см слой серого песка, после которого до глубины 160 см залегает слой светло-серой глины и суглинка. Нижние горизонты до глубины 5 м состоят из легких суглинков, супесей и песка с прослойкой тяжелого суглинка и глины на глубине 3,4—3,8 м.

Таблица 1

Содержание солей в верхнем метровом слое почвы при разной глубине грунтовых вод, % к весу почвы

Год	Срок полива	Плотный остаток				Хлор			
		глубина грунтовых вод, м							
		1	2	3	5	1	2	3	5
1958	Перед промывкой	0,92	0,96	0,56	—	0,298	0,292	0,062	—
	После промывки	0,64	0,63	0,31	—	0,146	0,161	0,044	—
	Среднее за год	0,82	0,72	0,44	—	0,167	0,144	0,059	—
1959	Перед промывкой	0,91	0,97	0,40	—	0,207	0,164	0,048	—
	После промывки	0,50	0,47	0,23	—	0,076	0,048	0,019	—
	Среднее за год	0,69	0,62	0,29	—	0,129	0,112	0,043	—
1960	Перед промывкой	1,06	1,14	0,80	0,77	0,235	0,235	0,187	0,114
	После промывки	0,76	0,72	0,48	0,48	0,102	0,114	0,047	0,093
	Среднее за год	0,80	0,82	0,51	0,59	0,126	0,139	0,080	0,100
1961	Перед промывкой	1,00	0,89	0,64	—	0,170	0,168	0,097	—
	После промывки	0,72	0,85	0,61	—	0,091	0,132	0,084	—
	Среднее за год	0,70	0,75	0,59	—	0,118	0,112	0,090	—
1962	Перед промывкой	0,87	0,80	0,57	0,48	0,150	0,122	0,091	0,082
	После промывки	0,35	0,36	0,38	0,37	0,052	0,045	0,051	0,072
	Среднее за год	0,67	0,58	0,50	0,43	0,105	0,083	0,073	0,077

В лизиметры почво-грунты укладывали по генетическим горизонтам на песчано-гравийный фильтр с последующим послойным (через 10 см) уплотнением ручной трамбовкой.

Для окончательного уплотнения и рассоления почво-грунтов подливали воду по трубкам и непосредственно сверху в каждый лизиметр из расчета создания запаса влаги в зависимости от глубины лизиметра 6670—15 000 м³/га.

В табл. 1 приведены данные по изменению содержания солей в верхнем метровом слое почвы в период возделывания хлопчатника.

По пятилетним материалам средняя влажность почво-грунтов в апреле—октябре (% к весу почвы) при глубине грунтовых вод до 1 м составила 20,3, до 2 м — 19,1, при 3 м — 16,8 и при 5 м — 15. В невегетационный период (ноябрь — март) средняя влажность при глубине грунтовых вод 1 м, 2 и 3 м возрастает на 1,5%, 1,0 и 0,5% соответственно, а при глубине 5 м уменьшается на 1,5%.

Основная обработка почвы под хлопчатник в первый год исследований проводилась весной (6 марта) на глубину 25—28 см с боронованием, а в последующие три года — осенью, в 1959—1960 гг. — в первой декаде ноября на глубину 10—15 см; в 1961 г. — в третьей декаде октября на глубину 27—30 см; в 1962 г. — весной на глубину 20 см.

В лизиметрах и на лизиметрических делянках почву промывали весной, причем в лизиметры, где глубина залегания уровня грунтовых вод была 1 м, 2 и 3 м промывные поливы подавали одинаковой нормой (табл. 2).

Таблица 2

Сроки и нормы промывных поливов

Год	Лизиметр			Лизиметрическая делянка		
	срок	количество	общая норма, м ³ /га	срок	количество	общая норма, м ³ /га
	промывок			промывок		
1958	9—27.IV	4	2200	7—27.IV	4	2000
1959	26.II—7.IV	5	4500	19.III—16.IV	6	2872
1960	7—16.III	4	1800	7—16.III	4	2500
1961	20—28.I	4	3000	7—28.II	5	5060
1962	14—24.III	7	4500	29.III—14.IV	3	1878

Органические удобрения (навоз) в лизиметры вносили каждый год в апреле — первой декаде мая из расчета 100—110 t/ga , кроме 1962 г., когда было внесено по 60 t/ga и на лизиметрические делянки — ежегодно по 70—80 t/ga . Кроме того, в 1961 г. под посевы проведено пескование почвы из расчета 200 t песка на 1 ga . Внесение навоза, а в 1961 г. и песка сопровождалось перепашкой (на делянках) или перекопкой (в лизиметрах) почвы на глубину 20—25 см с одновременным боронованием.

Предпосевные поливы производили только в 1959 и 1961 гг., причем в 1959 г. в лизиметры нормой 600 m^3/ga и на лизиметрические делянки — 300 m^3/ga , а в 1961 г. — 1000 и 850 m^3/ga соответственно.

Семена хлопчатника высевали в апреле — первой декаде мая вручную по гнездовому способу с шириной междурядьев 60 см. В 1958 г. посеян сорт хлопчатника С-450-555 и в 1959—1962 гг. — 2ИЗ. Массовые всходы появились 10—28 мая (в 1961 г. — 28 апреля). Подсев или подсадку проводили во второй и начале третьей декады мая, а прореживание всходов — в конце мая — начале июня при появлении 2—3 настоящих листочков. В гнездах оставляли по два растения, в лизиметрах было по 4 гнезда. Густота стояния хлопчатника в лизиметрах в пересчете на 1 ga в течение 5 лет составляла 133 тыс., а на лизиметрических делянках в 1958, 1960 и 1961 гг. — 100 тыс., в 1959 — 37 тыс. и в 1962 г. — 65 тыс.

Хлопчатник поливали по бороздам, которые как в лизиметрах, так и на лизиметрических делянках делали по обе стороны ряда растений. После каждого полива почву в лизиметрах и на лизиметрических делянках рыхлили на глубину 12—13 см. Только в 1961—1962 гг. рыхление почвы на делянках не производили. Сорняки, несмотря на внесение навоза, отсутствовали. Перед 4-м и 5-м вегетационными поливами вносили аммиачную селитру нормой 75—100 кг/га, а перед 6-м поливом — 50 кг/га или навоз 6 т/га и суперфосфат 70—100 кг/га.

Во второй половине июля — первой половине августа проводили чеканку хлопчатника.

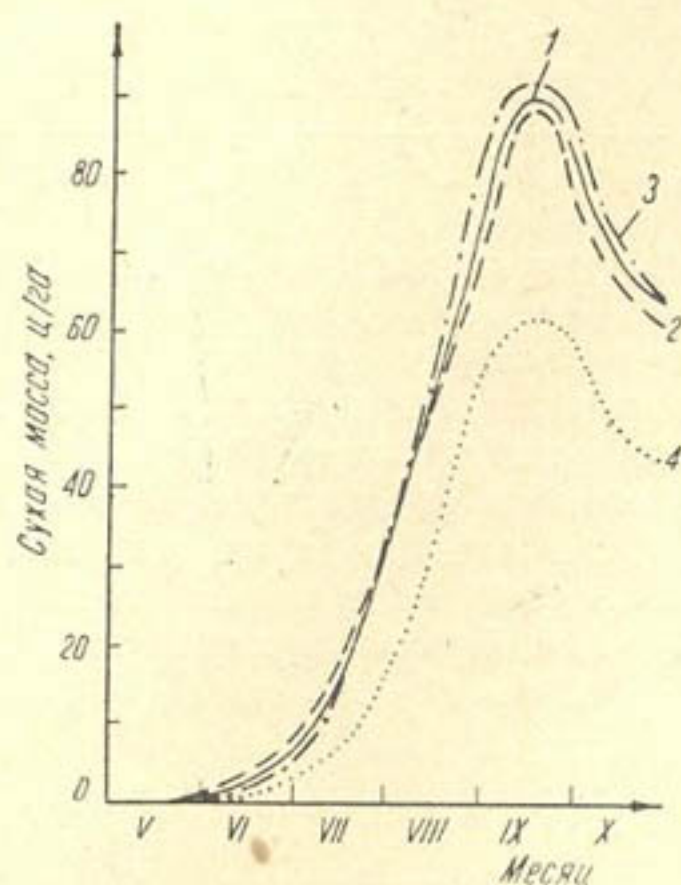
Оросительные нормы по годам были различны (табл. 3).

Таблица 3

Оросительные нормы хлопчатника, м³/га

Год	Лизиметр			Лизиметрическая делянка
	однометровый	двухметровый	трехметровый	
1958	5000	5533	5583	5000
1959	6200	7400	7400	3200
1960	6140	5945	5930	5985
1961	11833	11833	11584	9100
1962	6052	7370	6012	8636

Наблюдения за ростом и развитием хлопчатника показали, что массовая бутонизация в течение 5 лет отмечалась в последних числах



Динамика накопления сухой вегетативной массы хлопчатника (средние данные за 1958—1962 гг.) при глубине залегания уровня грунтовых вод 1 м (1), 2 м (2), 3 м (3) и 4 м (4).

июня и в первых числах июля, а начало цветения — 10—25 июля и только в 1959 г. первые цветы (на делянках) появились 15 августа.

Массовое раскрытие коробочек наблюдалось 1—15 сентября, но на делянках в 1959 г. оно задержалось до 16 октября.

Рост и развитие хлопчатника при разной глубине грунтовых вод (1, 2, 3 и 5 м) были одинаковыми.

Накопление сухой вегетативной массы (рисунок) возрастает от начала вегетации, достигая максимальной величины в середине сентября, после чего вес сухой массы из-за опадания листьев уменьшается и к концу октября составляет 68—72%, а после уборки урожая (конец ноября) — 55—59% от максимального.

Меньшее накопление вегетативной массы при глубине грунтовых вод 5 м вызвано изреженностью стеблестоя, особенно в 1959 и 1962 гг. Изреженность хлопчатника на лизиметрической делянке в 1959 г. произошла из-за недостатка воды, в связи с чем вместо оросительной нормы 6500 м³/га подано было только 3200 м³/га. Причиной изреженности в 1962 г. является недостаточная промывка верхнего 0—10-см горизонта почвы, вследствие чего не удалось добиться нормальной густоты всходов. В табл. 4 приведены данные по урожайности хлопчатника в лизиметрах и на делянке при разной глубине грунтовых вод.

Таблица 4

Урожай хлопка-сырца при разной глубине грунтовых вод, ц/га

Год	Глубина залегания грунтовых вод, м			
	1	2	3	5
1958	14,72	21,96	24,21	11,17
1959	23,68	18,10	14,12	3,22
1960	19,60	23,10	21,70	18,29
1961	16,42	17,17	18,00	26,00
1962	26,00	22,50	12,60	10,90
Среднее	20,08	20,54	18,13	13,91

Из табл. 4 видно, что средняя урожайность хлопчатника при глубине залегания грунтовых вод 1, 2 и 3 м была почти одинаковой. Урожай хлопчатника при глубине грунтовых вод 5 м был заметно ниже, что обусловлено меньшей густотой стояния и особенно значительной изреженностью стеблестоя в 1959 и 1962 гг., когда на 1 га (в пересчете) насчитывалось соответственно 37 и 65 тыс. растений.

Результаты опытов, проведенных на такырах Тедженского оазиса, свидетельствуют о том, что уже в первый год освоения такыра можно достигнуть хорошей урожайности хлопчатника. Таким образом освоение подобных земель позволит значительно увеличить производство хлопка-сырца.

Х. А. АМАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНОГО И СОЛЕВОГО РЕЖИМА
ПОЧВО-ГРУНТОВ
ПРИ БЛИЗКОМ ЗАЛЕГАНИИ ГРУНТОВЫХ ВОД
В ТЕДЖЕНСКОМ ОАЗИСЕ*

В программе Коммунистической партии Советского Союза, принятой на XXII съезде, перед сельским хозяйством поставлена задача об увеличении объема продукции в 3,5 раза и о повышении производительности труда в 5—6 раз.

В осуществлении этой задачи большую роль играет увеличение площадей орошения, улучшение использования орошаемых земель. Так, в Туркмении построен Каракумский канал от Амударьи до Ашхабада длиной 800 км. В зоне Каракумского канала осваиваются большие земельные площади и значительно увеличивается подача воды, уровень грунтовых вод в зоне орошения заметно повышается. От последнего зависит величина запаса влаги в почве и режим орошения сельскохозяйственных культур. Пресные и слабоминерализованные грунтовые воды, залегающие на глубину 1—2 м, хорошо используются растениями. При этом сокращаются число и норма вегетационных поливов, уменьшаются затраты труда на поливах и при послеполивных обработках.

Изучение общего запаса влаги в почве (доступной для растений), создаваемого подпитыванием грунтовых вод, и динамики солей в почве приобретает важное значение при рациональном использовании водно-земельных ресурсов, установлении наиболее целесообразных поливных режимов и расчета дренажа.

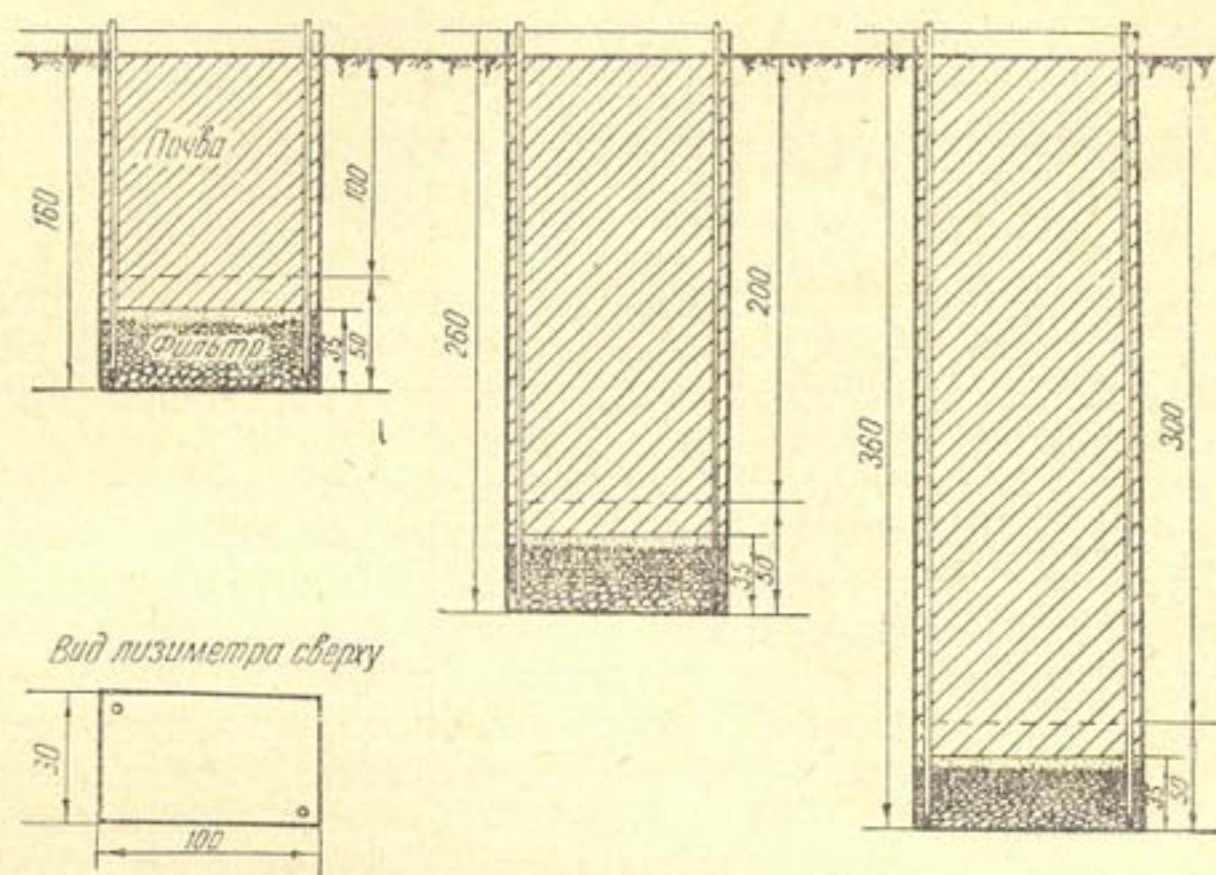
Для определения изменения водного и солевого режима почвы при близком залегании грунтовых вод в Тедженском оазисе Туркменской ССР проведены лизиметрические исследования на фоне хлопчатника, люцерны и перелога при различных уровнях грунтовых вод (1,2 и 3 м от поверхности земли). Всего установлено 18 лизиметров, представляющих собой ящики прямоугольного сечения с глухим дном, стенки и дно которых сделаны из железа толщиной 5 мм и соединены посредством внутренней и наружной автогенной сварки. Размеры лизиметров: длина 1,0 м, ширина 0,6, глубина 1,6 (6 шт.), 2,6 (6 шт.) и 3,6 м (6 шт.) (рисунок).

Лизиметры ставили на делянках площадью 40×25 м (1000 м^2), отводимых под хлопчатник и люцерну, а также на делянке, оставленной под перелогом (по 6 лизиметров на каждой делянке). Лизиметры устанавливали так, чтобы края их были на 8—12 см выше поверхности почвы. Для подлива и откачки воды, а также для наблюдений за ее уровнем в каждом лизиметре закрепляли две стальные газовые трубы

* Работа выполнена под руководством акад. И. А. Шарова.

диаметром 60 мм (питательная и контрольная). Длина каждой трубы на 5 см больше глубины лизиметра. Трубы закрываются крышкой с замком. Перед установкой все лизиметры и трубы покрывали внутри и снаружи битумом.

Для закладки лизиметра выкапывали яму на глубине, меньшей высоты лизиметра на 8—10 см. При копке ямы слои грунта, вынимаемого из нее, отсыпали отдельно. Сначала выбирали первый слой грунта на глубине 50 см и складывали в отдельный отвал, затем—второй слой на такую же глубину и складывали отдельно и т. д.



В каждую яму осторожно был установлен лизиметр. После этого в противоположные углы его на расстоянии 3—7 см от стенки прикрепили контрольную и питательную трубку. На дно лизиметров уложили гравийный фильтр, состоящий из пяти фракций толщиной 20—25 см, а около трубы 25—30 см. Поверх гравия насыпали песок слоем 10—15 см, после чего уложили вынутый из ямы грунт. Слои грунта накладывали в той же последовательности, что и при рытье ямы, т. е. нижние слои вниз, а верхние — вверх. Грунт в лизиметрах уплотняли ручной трамбовкой, слоями через 10 см.

По окончании укладки грунта в лизиметры для большего уплотнения его по трубкам и непосредственно сверху подливали воду. Подлив производился несколькими приемами, следующими один за другим. Общая норма подлива в зависимости от глубины лизиметров колебалась в следующих пределах: в однометровых лизиметрах—6235—7770 м³/га, в двухметровых 9720—11 186 и трехметровых 13 019—15 220 м³/га.

Воду из лизиметров откачивали одновременно из обеих труб один раз в сутки, до тех пор, пока в лизиметрах не устанавливался нужный уровень воды, который в дальнейшем поддерживался на постоянной глубине от поверхности почвы.

Количество откаченной из лизиметров воды ко времени установления требуемых уровней изменялось в разных пределах: в однометровых 73—167 м³/га, двухметровых 525—837 и трехметровых 1429—2349 м³/га.

Постоянный уровень грунтовых вод в однометровых лизиметрах установился через 1 мес., а в двухметровых и трехметровых — через 2 мес. после их закладки.

Для проверки достаточности уплотнения грунта, уложенного в лизиметры, где была засеяна люцерна, вырыли шурф сечением $1,1 \times 1,7$ м на глубину 3,0 м. В шурфе послойно через 20 см определяли объемный вес грунта с ненарушенной структурой. Затем произвели обратную укладку грунта в шурф в той же последовательности и с таким же уплотнением трамбовкой и поливами. В этих лизиметрах через три недели в центре и в 10 см от края шурфа определяли объемный вес почвы на глубине до 3 м. В табл. 1 приведен средневзвешенный объемный вес почвы в метровом слое с нарушенной и ненарушенной структурой.

Таблица 1

Объемный вес почвы, t/m^3

Горизонт, см	Структура		
	ненарушенная	нарушенная	
		в центре шурфа	в 10 см от края шурфа
0—100	1,42	1,42	1,37
100—200	1,42	1,47	1,46
200—300	1,44	1,45	1,47
0—300	1,43	1,45	1,43

Из табл. 1 видно, что объемный вес почвы с ненарушенной структурой незначительно отличается от объемного веса почвы с нарушенной после уплотнения.

Многолетние наблюдения в лизиметрах, заполненных насыпным грунтом в Гронингене и сооруженных вокруг монолитов в Ротамстеде, по данным Л. Тюрка, также показали сходные результаты. Отсюда следует важный в методическом отношении вывод об отсутствии существенных искажений в лизиметрах с нарушенным грунтом. Поэтому данные лизиметрических наблюдений можно распространять на почвы с ненарушенной структурой.

После окончания работ по закладке лизиметров на двух делянках и в установленных на них лизиметрах посеяли хлопчатник и люцерну. Третья делянка и лизиметры на ней остались под перелогом.

Лизиметрические исследования также проводили в 1957—1960 гг. на Тедженском опорном пункте в зоне орошения Каракумского канала. Опытный участок был расположен на расстоянии 2 км к югу от г. Теджена и по физико-географическому положению являлся типичным для большинства земель, которые будут осваиваться после окончательной постройки Каракумского канала.

Почвы участка в верхнем метровом слое сложены тяжелыми и средними глинами. Механический состав 2-го и 3-го метра — легкие суглинки и пески. Почвенный профиль отличается большой слоистостью; в 3-м толще количество слоев доходит до 9, а в 5-м до 15, преобладают тяжелые суглинки и глины (табл. 2).

Почвы участка сильно засолены, содержат мало питательных веществ (гумуса, азота, фосфора и др.), имеют плохую водопроницае-

мость и нуждаются в сложных мелиоративных мероприятиях по борьбе с засолением и коркообразованием.

Рельеф участка равнинный. Следов старого орошения почти не сохранилось, поверхность гладкая, сильно уплотнена. Древесных насаждений вблизи участка нет, травянистая растительность почти отсутствует, за исключением солянок и других эфемерных растений.

Климатические условия Тедженского оазиса характеризуются высокой температурой и продолжительным летом, большой сухостью воздуха, небольшим количеством атмосферных осадков и малой облачностью.

Т а б л и ц а 2

Механический состав, объемный и удельный вес почвы

Состав почвы	Горизонт, см	Вес, т/м ³	
		объемный	удельный
Тяжелая глина	0—60	1,40	2,66
Средняя глина	60—80	1,48	2,65
Тяжелый суглинок	80—100	1,44	2,67
Легкая глина	100—120	1,36	2,68
Тяжелый суглинок	120—140	1,55	2,65
Легкий суглинок	140—180	1,44	2,70
Супесь	180—220	1,42	2,68
Песок	220—300	1,43	2,68
Песок	300—340	—	2,69
Тяжелый суглинок	340—360	—	2,66
Суглинок и супесь	360—500	—	2,70

Среднемесячные температуры воздуха, по данным Тедженской метеорологической станции, находящейся в 2—3 км от опорного пункта, колеблются от 4 в декабре до 31° в июле. Период стояния высоких температур и интенсивного испарения влаги продолжается с середины марта до начала ноября, т. е. 7,5 мес.

В летние месяцы продолжительность солнечного сияния составляет 300—370 час., в зимние—130—150 час., в среднем за месяц. Среднемесячная облачность совершенно незначительна: в зимние месяцы она усиливается с 5 до 6 баллов. Самые ясные месяцы—июль-август (0,5—1,0 баллов). Чрезвычайно высок среднемесячный дефицит влажности воздуха с мая по сентябрь (20,3—34,8 мм). Количество атмосферных осадков за год составляет около 140 мм. Наибольшее число осадков приходится на весенние месяцы, и особенно дождливый месяц—март. Несколько меньше выпадает их в зимнее время и очень мало осенью. Летом дождей практически не бывает. В зимний период осадки выпадают преимущественно в виде дождей.

Годовая испаряемость превышает осадки в 15—25 раз. В таких условиях ни одно культурное растение не может существовать без искусственного орошения или без подпитывания грунтовыми водами.

В течение года преобладают северные ветры. Среднемесячные скорости ветра составляют 1,7—3,1 м/сек и мало меняются от месяца к месяцу. Минимальные скорости их наблюдаются в холодное время года, а максимальные—летом. В отдельных случаях максимальная

скорость ветра достигает 25—30 м/сек. Ветры со скоростью 20 м/сек чаще всего отмечаются весной и в начале лета.

Ветры, так называемые „афганец“ и „гармсиль“ (суховей) в теплый период года оказывают пагубное влияние на развитие хлопчатника, зерновых и огородно-бахчевых культур. Суховей угнетают растения, усиливают опадение бутонов, цветов и завязей у хлопчатника, что приводит к потере урожая.

Из табл. 3 видно расположение лизиметров по сроку в зависимости от глубины грунтовых вод.

Таблица 3

Расположение лизиметров по фону в зависимости от глубины грунтовых вод

Уровень грунтовых вод, м	Номер лизиметра по фону		
	хлопчатник	люцерна	перелог
1	4,4а	7,7а	1,1а
2	5,5а	8,8а	2,2а
3	6,6а	9,9а	3,3а

Водный и солевой режимы почв в лизиметрах изучали по определенной методике.

1. В лизиметрах, занятых хлопчатником, весной производилась перекопка почвы на глубину 25—27 см с последующим промывным поливом и рыхлением при созревании почвы. Перед посевом почву рыхлили на глубину 14—15 см. Сеяли хлопчатник в апреле. Рядок проводили в середине лизиметра по его длине. Хлопчатник прореживали при появлении 2—3 настоящих листочков. В лизиметрах делали по четыре гнезда с расстоянием между ними 25 см. В каждом гнезде оставляли по два растения (восемь растений на лизиметр). Растения (после прореживания) подкармливали при поливе.

Вторая подкормка проведена при высоте растений 10—15 см, третья—в фазу бутонизации, четвертая—после чеканки хлопчатника. Доза второй и последующих подкормок равна дозе первой подкормки. После поливов почву разрыхляли. Прочие агротехнические мероприятия—борьба с сельскохозяйственными вредителями, чеканка и т. д.—выполнялись в сроки, установленные для Тедженского района.

2. В лизиметрах, занятых люцерной, агротехнические мероприятия проводились в сроки, утвержденные для района исследований. Вспашку заменяли перекопкой на глубину 25—27 см, а боронование—мелким уравнильным рыхлением. В лизиметрах, занятых перелогом, никаких агротехнических работ не осуществляли. Данные всех проводимых наблюдений записывали в отдельный журнал.

Уровень грунтовых вод в лизиметрах поддерживали на постоянной глубине от поверхности почвы, 1, 2 и 3 м в зависимости от размеров лизиметров. Ежедневно в 9 час. утра в лизиметрах измеряли уровень грунтовых вод и подливали или откачивали воду до тех пор, пока в обеих трубках лизиметра—питательной и контрольной—не устанавливался нужный уровень грунтовых вод. Количество подлитой и откачанной воды учитывали с точностью до 0,1 л. Полив в лизиметрах производили с точным учетом поливной воды. Материалы по атмосферным осадкам взяты на Тедженской метеостанции.

Для определения влажности образцы почвы брали по горизонтам через 20 см в двукратной повторности. На делянках образцы отби-

рали от поверхности земли до грунтовых вод или на глубину до 3 м, а в лизиметрах—соответственно их глубине, т. е. до 1, 2 и 3 м.

Влажность почвы на делянках, занятых хлопчатником и люцерной определяли два раза в месяц (15-го и 30-го числа). За влажностью почвы на переложной делянке и во всех лизиметрах наблюдали в конце каждого месяца.

Образцы отбирали буром Негорелова (диаметр 12 мм). После отбора образцов скважины тщательно засыпали и утрамбовывали специальной штангой.

За уровнем грунтовых вод следили по шести скважинам через каждые 5 дней. Глубину залегания грунтовых вод измеряли хлопущей от устья скважины или от постоянной точки колодца и записывали в журнал. Затем в журнал вносили поправку на расстояние постоянной точки от поверхности земли и подсчитывали глубину грунтовых вод от поверхности земли.

Для определения динамики солей в почве наблюдения осуществляли на тех же делянках и лизиметрах, в те же сроки, что и наблюдения за влажностью почвы. Пробу воды для химического анализа брали в сроки определения динамики солей в почве.

Пробы почвы и грунтовых вод, взятые на делянках, а также и в лизиметрах, анализировали на содержание плотного остатка и хлора.

До апреля 1958 г. все лизиметры были заняты перелогом без покрова. В середине апреля двенадцать лизиметров промыли и засеяли хлопчатником (4,4а, 5—5а, 6,6а) и люцерной (7,7а, 8,8а 9,9а). В три лизиметра (1,2, 3) пересадили сорную растительность (солянки), а три лизиметра (1а, 2а, 3а) оставили под перелогом без покрова. В 1959 г. лизиметры 1,2 и 3 также оставили под перелогом без покрова.

Промывные поливы провели в марте—апреле (табл. 4).

Таблица 4

Средняя урожайность люцерны и хлопчатника за 1958—1960 гг. в зависимости от водоподачи на поля

Поливы, тыс. м³/га		Урожайность, ц/га	Глубина залегания грунтовых вод, м
промывные	вегетационные		
Лизиметры			
Хлопчатник			
2,83	5,78	19,3	1
2,83	6,29	21,0	2
2,83	6,30	20,0	3
Люцерна			
2,12	6,93	61,0	1
2,12	7,36	97,9	2
2,12	7,36	91,6	3
Лизиметрическая делянка			
Хлопчатник			
2,30	4,73	9,6	5
Люцерна			
2,50	4,50	71,2	5

В лизиметре и на лизиметрической делянке, занятых хлопчатником (в период вегетации), после поливов почву обрабатывали рыхлением на глубину 12—13 см.

В табл. 5 приведены данные по динамике влажности почвы в лизиметрах, занятых хлопчатником, люцерной и перелогом без по-

Таблица 5

Средняя влажность почвы в лизиметрах, % к весу (среднее за 1958—1960 гг.)

Уро- вень грун- товых вод, м	Слой почвы см	Месяц, число										Сред- нее за год
		27. II	30. III	28. IV	28. V	30. VI	31. VII	28. VIII	30. IX	30. X	28. XI	
Хлопчатник												
1	{ 0—100	19,0	26,5	16,8	21,8	20,0	19,2	19,6	20,1	16,5	18,4	19,8
	{ 0—100	15,3	22,3	20,8	19,7	18,0	16,6	15,8	17,4	13,0	17,7	17,7
	{ 100—200	18,7	21,7	21,0	20,8	18,8	17,9	18,4	18,8	17,1	17,4	19,1
	{ 0—200	17,0	22,0	20,9	20,2	18,4	17,2	17,1	18,1	15,1	17,6	18,4
2	{ 0—100	13,2	21,7	19,3	17,3	14,9	14,4	12,2	13,2	13,2	10,0	14,9
	{ 100—200	15,0	19,6	19,2	17,5	16,8	15,2	15,2	15,0	13,2	16,1	16,3
	{ 200—300	16,0	19,3	17,4	16,1	16,8	16,9	15,3	16,4	17,8	18,4	17,0
	{ 0—200	14,1	20,6	19,2	17,4	15,8	14,8	13,7	14,1	13,2	13,1	15,6
	{ 0—300	14,7	20,2	18,6	17,0	16,2	15,5	14,2	14,9	14,7	14,8	16,1
Люцерна												
1	{ 0—100	22,0	25,9	23,1	20,6	22,1	20,9	20,7	21,8	19,9	20,5	21,8
	{ 0—100	17,2	22,1	19,2	16,6	15,4	16,1	14,8	19,5	17,0	18,0	17,6
2	{ 100—200	20,5	23,2	22,1	21,5	20,6	19,5	19,8	20,7	20,4	19,6	20,8
	{ 0—200	18,9	22,6	20,6	19,1	18,0	17,8	17,3	20,1	18,7	18,8	19,2
	{ 0—100	18,0	21,5	18,6	17,8	16,2	15,5	13,9	16,5	14,4	17,5	17,1
	{ 100—200	17,4	19,5	19,4	18,7	15,5	15,3	15,9	17,2	15,3	17,0	17,1
3	{ 200—300	19,5	20,0	24,6	20,9	18,3	18,9	17,6	20,2	18,2	19,0	19,7
	{ 0—200	17,7	20,5	19,0	18,2	15,9	15,4	14,9	16,8	14,8	17,2	17,0
	{ 0—300	18,3	20,3	20,9	19,1	16,7	16,6	15,8	18,0	16,0	17,8	18,0
Перелог без покрова												
1	{ 0—100	24,0	24,7	21,4	19,4	20,2	20,8	21,1	22,4	19,9	21,0	21,5
	{ 0—100	20,0	21,2	18,2	14,8	15,3	14,2	16,6	17,3	14,8	18,2	17,1
2	{ 100—200	21,9	23,6	20,9	20,7	21,2	22,1	20,3	22,0	19,7	20,9	21,3
	{ 0—200	21,0	22,4	19,6	17,8	18,2	18,2	18,5	19,6	17,3	19,6	19,2
3	{ 0—100	18,3	20,2	16,9	13,8	14,0	12,7	13,4	14,0	14,3	15,7	15,3
	{ 100—200	17,6	18,4	15,3	14,6	16,6	14,4	14,4	17,9	15,2	15,5	16,0
	{ 200—300	17,6	20,1	18,3	16,4	17,0	15,6	16,8	18,6	17,3	19,8	17,8
	{ 0—200	18,0	19,3	16,1	14,2	15,3	13,6	13,9	15,9	14,8	15,6	15,7
	{ 0—300	17,8	19,6	16,8	14,9	15,9	14,2	14,9	16,8	15,6	17,0	16,4

крова при различной глубине залегания грунтовых вод. Из таблицы видно, что влажность почво-грунтов с увеличением глубины залегания грунтовых вод уменьшается и мало зависит от фона. Средняя влаж-

ность почвы в марте по сравнению со среднегодовой возрастает за счет промывных поливов и атмосферных осадков на 2—6%, а в апреле, мае и июне постепенно понижается вследствие повышения температуры воздуха и суммарного расхода воды полем. В июле и августе влажность почвы приближается к минимуму.

Среднегодовая весовая влажность почвы в зоне аэрации при глубине залегания грунтовых вод 1, 2 и 3 м по фонам составила (%):

Глубина, м	Хлопчатник	Люцерна	Перелог
1	19,8	21,8	21,5
2	18,4	19,2	19,2
3	16,1	18,0	16,4

Изменение влажности в отдельных слоях почвы на делянках хлопчатника, люцерны и перелога до глубины грунтовых вод 0,5 м приведено в табл. 6. Средняя влажность почвы хлопковой и люцерновой делянки во время поливного периода от сухого веса равняется 14—22%, (64—100% от ППВ) и 11,2—17,6% для слоев 0—100 и 100—200 см соответственно.

На перелогах влажность почвы изменяется незначительно, составляя к весу 5,7—9,5 и 4,0—5,9% для слоев 0—100 и 100—200 см соответственно.

Наименьшее количество влаги, приходящееся в среднем за год на делянки с хлопчатником 6,4%, с люцерной 10,0 и с перелогом 2,8%, содержится в горизонте 200—300 см, что объясняется, по-видимому, легким механическим составом грунта. Влажность в горизонте 200—300 см хлопковых и люцерновых делянок по сравнению с перелогом увеличилась на 3,6 и 7,2% в результате поливов.

Влажность почво-грунтов в слоях 300—400 и 400—500 см на всех фонах по времени мало меняется и средняя за год (соответственно по слоям) составляет 11,8 и 22,6% под хлопчатником, 17,0 и 23,4 под люцерной, 12,2 и 22,0% под перелогом.

В табл. 7 приведено среднее значение общего запаса влаги в почве за вегетационный, невегетационный периоды и за год при глубине залегания грунтовых вод 1, 2, 3 и 5 м. Запас влаги в почве увеличивается с повышением уровня грунтовых вод, а при залегании их до 3 м мало зависит от фона. При уровне грунтовых вод 5 м запас влаги на делянках, занятых хлопчатником и люцерной, по сравнению с делянкой перелога вследствие поливов больше, а при уровне грунтовых вод 2—3 м значительно меньше. Это свидетельствует о том, что уровень грунтовых вод при глубине их до 3 м сильно влияет на запасы влаги. Можно предполагать, что подъем грунтовой воды по капиллярам происходит с глубины 3—5 м.

Общие запасы влаги в почве хлопкового, люцернового и переложного полей при уровне грунтовых вод 1—3 м, по нашим данным, сравнительно одинаковы.

Пользуясь лизиметрическими данными для подсчета общего запаса влаги в верхнем метровом слое почвы (в зависимости от уровня грунтовых вод), мы получили следующие уравнения:

$$\text{за год } W_1 = \frac{360}{H^{1/2}};$$

$$\text{за вегетацию } W_2 = \frac{350}{H^{1/2}},$$

где W_1 , W_2 — общий запас влаги в слое 0—100 см, мм;

H — глубина залегания грунтовых, м (в пределах от 1 до 5 м).

Слой почвы, см	3. I	15. I	3. II	16. II	5. III	16. III	30. III	15. IV	27. IV	16. V	28. V	15. VI	30. VI	15. VII	29. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	29. IX	17. X	28. X	14. XI	4. XII	Среднее за год	
Хлопчатник																									
0-100	16,0	14,6	13,9	11,1	15,8	18,2	14,2	—	16,6	—	21,4	21,0	17,0	21,6	14,7	22,0	16,4	—	21,2	—	—	15,0	—	—	17,1
100-200	9,2	10,8	6,8	9,8	9,1	9,9	7,7	—	13,5	—	11,2	14,2	13,2	14,4	13,2	16,6	13,3	—	16,2	—	—	12,7	—	—	11,9
200-300	4,6	5,4	4,3	5,3	5,1	4,8	5,8	—	8,0	—	6,7	4,3	7,2	5,5	8,2	6,4	6,5	—	10,0	—	—	10,0	—	—	6,4
300-400	9,3	—	10,4	—	9,6	—	15,0	—	11,9	—	10,5	—	12,8	—	11,2	—	12,2	—	10,8	—	—	16,3	—	—	11,8
400-500	20,3	—	20,7	—	22,2	—	24,7	—	24,7	—	23,2	—	23,7	—	20,4	—	22,4	—	—	—	—	23,6	—	—	22,6
0-200	12,6	12,7	10,4	10,4	12,4	14,0	11,0	—	15,0	—	16,3	17,6	15,1	18,0	14,0	19,3	14,8	—	18,7	—	—	13,8	—	—	14,5
0-300	9,9	10,3	8,3	8,7	10,0	11,0	9,2	—	12,7	—	13,1	13,2	12,5	13,8	12,0	15,0	12,1	—	15,8	—	—	12,6	—	—	11,8
0-400	9,8	—	8,8	—	9,9	—	10,7	—	12,5	—	12,4	—	13,4	—	11,8	—	12,1	—	14,6	—	—	14,7	—	—	11,8
0-500	11,9	—	11,2	—	12,4	—	13,5	—	14,9	—	14,6	—	14,8	—	13,5	—	14,2	—	—	—	—	15,5	—	—	13,9
Люцерна																									
0-100	—	13,7	—	—	19,6	20,0	16,6	—	19,7	—	19,9	—	15,9	—	14,5	—	14,0	—	—	—	17,9	14,5	11,2	—	16,5
100-200	—	13,6	—	—	15,1	15,6	13,5	—	17,6	—	14,9	—	16,2	—	17,0	—	16,4	—	—	—	16,5	16,2	15,8	—	15,7
200-300	—	7,9	—	—	9,5	7,6	8,4	—	13,3	—	9,3	—	10,8	—	10,2	—	8,9	—	—	—	—	13,1	11,6	—	10,0
300-400	—	—	—	—	14,3	—	—	—	15,7	—	18,4	—	18,9	—	19,3	—	18,8	—	—	—	—	19,1	—	—	17,8
400-500	—	—	—	—	24,1	—	—	—	24,4	—	21,8	—	24,1	—	23,4	—	22,3	—	—	—	—	23,5	—	—	23,4
0-200	—	13,6	—	—	17,4	18,3	15,0	—	18,6	—	17,4	—	16,0	—	15,8	—	15,2	—	—	—	17,2	15,4	13,5	—	16,1
0-300	—	11,7	—	—	14,7	14,7	12,8	—	16,8	—	14,7	—	14,3	—	13,9	—	13,1	—	—	—	—	14,6	12,9	—	14,1
0-400	—	—	—	—	14,6	—	—	—	16,5	—	15,6	—	15,4	—	15,2	—	14,5	—	—	—	—	15,7	—	—	15,0
0-500	—	—	—	—	16,5	—	—	—	18,0	—	16,9	—	17,2	—	16,9	—	16,1	—	—	—	—	17,3	—	—	16,8
Перелог без покрова																									
0-100	8,2	7,2	8,0	9,3	7,4	9,2	9,2	9,0	9,5	7,2	7,3	6,2	7,6	7,4	5,7	6,6	6,8	6,2	—	—	7,0	5,9	7,6	8,5	7,8
100-200	5,0	4,6	4,8	4,5	5,0	4,6	5,0	5,9	5,6	5,5	5,0	4,0	5,1	5,3	5,4	4,7	5,1	4,6	—	—	5,2	4,6	5,4	4,7	4,9
200-300	2,6	2,7	2,7	3,4	2,5	2,6	2,7	2,6	2,8	3,1	3,3	2,0	3,2	2,5	2,2	2,5	2,5	2,5	—	—	2,6	3,0	3,0	3,5	2,8
300-400	11,2	—	13,4	—	15,2	—	13,6	—	10,9	—	11,0	—	10,9	—	10,2	—	11,0	—	—	—	—	13,4	—	13,5	12,2
400-500	21,7	—	22,5	—	20,6	—	23,8	—	22,8	—	19,0	—	22,5	—	20,8	—	22,7	—	—	—	—	23,4	—	22,5	22,0
0-200	6,6	5,9	6,4	6,9	6,2	6,9	7,1	7,4	7,6	6,4	6,2	5,1	6,4	6,4	5,6	5,6	6,0	5,4	—	—	6,1	5,2	6,5	6,6	6,4
0-300	5,3	4,6	5,2	5,7	5,0	5,5	5,6	5,8	6,0	5,3	5,2	4,1	5,3	5,1	4,4	4,6	4,6	4,4	—	—	4,7	4,5	5,3	5,6	5,2
0-400	7,0	—	7,2	—	7,5	—	7,6	—	7,2	—	6,6	—	6,7	—	5,9	—	6,4	—	—	—	—	6,7	—	7,5	6,9
0-500	9,6	—	10,3	—	10,1	—	10,7	—	10,3	—	9,1	—	9,9	—	8,8	—	9,6	—	—	—	—	10,0	—	10,5	9,9

Примечание. Степень влажности по делянкам люцерны приведена за 1959—1960 гг.

Таблица 7

Общий запас влаги (m^3/ga) в слоях почвы в зависимости от уровня
грунтовых вод
(среднее за 1959 - 1960 гг.)

Период	Уровень грунтовых вод (м), и слой почвы (см)													
	1		2		3					5				
	0-100	0-100	100-200	0-200	0-100	100-200	200-300	0-200	0-300	0-100	100-200	200-300	0-200	0-300
Хлопчатник														
Вегетационный	2890	2500	2740	5240	2140	2340	2400	4480	6880	2530	1960	1070	4490	5560
Невегетацион- ный	2790	2420	2710	5130	2010	2220	2530	4230	6760	1940	1580	980	3520	4500
За год	2840	2460	2720	5180	2070	2280	2460	4350	6810	2230	1770	1030	4000	5030
Люцерна														
Вегетационный	3050	2340	2900	5240	2310	2400	2700	4710	7410	2260	2280	1430	4540	5970
Невегетацион- ный	3120	2600	2990	5590	2490	2460	2710	4950	7660	2120	2060	1400	4180	5580
За год	3080	2470	2950	5420	2400	2430	2700	4830	7530	2200	2170	1410	4370	5780
Перелог без покрова														
Вегетационный	3020	2240	3010	5250	1920	2170	2420	4090	6510	960	700	410	1660	2070
Невегетацион- ный	3300	2740	3120	5860	2400	2400	2670	4800	7470	1120	700	410	1820	2230
За год	3160	2490	3060	5550	2170	2280	2540	4450	6990	1050	700	410	1750	2160

Для организации мероприятий по борьбе с засолением почвы и установления режима орошения необходимо знать не только запас влаги в отдельных слоях, но и характер ее распределения по горизонтам. Величина запаса влаги в корнеобитаемом слое почвы представлена в табл. 8.

Таблица 8

Динамика запаса влаги в слое почвы 0—100 см в зависимости от уровня
грунтовых вод, m^3/ga
(среднее за 1958—1960 гг.)

Глубина горизонта почвы, см	Период								За год			
	вегетационный (V—IX)				невегетационный (X—IV)							
	Уровень грунтовых вод, м³/га											
	1	2	3	5	1	2	3	5	1	2	3	5
0	424	255	215	149	535	444	397	272	481	351	308	218
20—40	608	383	377	237	658	507	475	251	630	446	427	245
40—60	647	475	455	222	693	559	517	226	669	516	486	225
60—80	658	543	453	171	712	612	521	189	686	577	493	181
80—100	680	580	419	181	703	616	487	182	691	598	455	184
0—100	3017	2236	1919	960	3301	2738	2397	1120	3157	2487	2169	1053

При уровне грунтовых вод 1—3 м значительное иссушение почвы происходит в 40-см слое почвы. Ниже этого слоя количество испаряющейся влаги компенсируется грунтовыми водами. Запас влаги в верхних слоях почвы (0—60 см) при 2—3-м глубине залегания грунтовых вод почти одинаковый, но значительно больший, чем при глубине 5 м. Это доказывает, что уровень грунтовых вод в 3 м влияет на запасы влаги в верхних слоях почвы.

Наблюдения за солевым режимом почвы в лизиметрах показали, что содержание плотного остатка и хлора увеличивается с уменьшением глубины залегания грунтовых вод. Количество солей в почве на фоне перелога значительно выше, чем в лизиметрах под хлопчатником и люцерной.

В лизиметрах, занятых перелогом, в верхнем метровом слое почвы с увеличением расхода воды полем происходит аккумуляция солей.

Среднегодовое содержание солей¹ за 1958—1960 гг. в зоне аэрации почв в лизиметрах по фонам составило (%):

Глубина грунтовых вод, м	Плотный остаток	Хлор
Х л о п ч а т н и к		
1	0,77	0,14
2	0,58	0,12
3	0,37	0,06
Л ю ц е р н а		
1	0,83	0,19
2	0,57	0,17
3	0,50	0,10
П е р е л о г		
1	1,34	0,31
2	0,88	0,27
3	0,62	0,14

В лизиметрах, занятых хлопчатником и люцерной, в слое 0—100 см с конца февраля до июня в результате выпадения весенних атмосферных осадков и промывных поливов среднее количество солей за 3 года уменьшилось.

Так, на поле под хлопчатником плотный остаток снизился до 32—37, а хлор до 9—25 т/га, на поле под люцерной — до 5,7—20,5 и 1,3—5,1 т/га соответственно (табл. 9, 10).

С повышением температуры и интенсивности суммарного расхода воды полем начиная со второй половины мая и июня верхние горизонты почвы засоляются. Однако общий солевой баланс остается почти неизменным.

Почвы в лизиметрах, занятые перелогам, рассоляются в зимне-весенние месяцы, когда выпадают атмосферные осадки. В верхнем метровом слое почвы соли аккумулируются с увеличением расхода воды полем.

¹ Химические анализы выполнены В. А. Мордвиновой, Г. Б. Симонян, Н. А. Каширской и др.

Изменение плотного остатка в лизиметрах (m/ga) в слое почвы
0—100 см по периодам

Поле	Уровень грунтовых вод, м	Содержание плотного остатка			Уменьшение (+) или увеличение (-) плотного остатка		
		в начале года (Фев- раль)	в середине года (июнь)	в конце года (ноябрь)	в июне по отношению к февралю	в ноябре по отноше- нию к июню	в ноябре по отноше- нию к фев- ралю
1958 г.							
Хлопковое	{ 1	134,3	65,8	158,3	+68,5	-92,5	-24,0
	{ 2	112,0	54,7	99,5	+57,3	-44,8	+12,5
	{ 3	84,0	36,4	79,8	+47,6	-43,4	+ 4,2
Люцерновое	{ 1	110,5	91,1	145,5	+19,4	-54,4	-35,0
	{ 2	71,5	64,4	107,8	+7,1	-43,4	-36,3
	{ 3	85,4	58,0	96,7	+26,5	-37,8	-11,3
Перелог	{ 1	158,3	177,8	199,0	-19,5	-21,2	-40,7
	{ 2	89,6	53,3	137,1	+36,3	-83,8	+47,5
	{ 3	98,0	71,5	106,4	+26,5	-34,9	- 8,4
1959 г.							
Хлопковое	{ 1	151,3	46,3	134,2	+105,0	-87,9	+17,1
	{ 2	130,0	71,4	89,7	+58,6	-18,3	+40,3
	{ 3	46,2	47,6	40,6	- 1,4	+ 7,0	+5,6
Люцерновое	{ 1	103,5	98,2	161,0	+ 5,3	-62,8	-57,5
	{ 2	63,1	65,8	140,0	- 2,7	-74,2	-76,9
	{ 3	81,2	54,7	120,3	+26,5	-65,6	-39,1
Перелог	{ 1	134,3	185,0	138,5	-50,7	+46,5	-4,2
	{ 2	92,5	127,2	300,5	-34,7	-173,3	-208,0
	{ 3	75,6	88,3	220,0	-12,7	-131,7	-144,4
1960 г.							
Хлопковое	{ 1	148,4	91,1	138,5	+57,3	-47,4	+ 9,9
	{ 2	160,0	103,5	117,8	+56,5	-14,3	+42,2
	{ 3	112,0	61,7	86,8	+50,3	-25,1	+25,2
Люцерновое	{ 1	137,1	116,0	98,0	+21,1	+18,0	+39,1
	{ 2	130,0	177,3	109,2	+12,7	+ 8,1	+20,8
	{ 3	114,8	106,3	95,3	+ 8,5	+11,0	+19,5
Перелог	{ 1	196,0	172,3	182,0	+23,7	-10,0	+14,0
	{ 2	232,4	291,0	249,5	-58,6	+41,5	-17,1
	{ 3	159,8	173,8	260,8	-14,0	-87,0	-101,0

Изменение хлора в лизиметрах (m/ga) в слое почвы 0–100 см по периодам

Поле	Уровень грунтовых вод, м	Содержание хлора			Уменьшение (+) или увеличение (-) хлора			
		в начале года (февраль)	в середине года (июнь)	в конце года (ноябрь)	в июне по отношению к февралю	в ноябре по отноше- нию к июню	в ноябре по отноше- нию к февралю	
1958 г.								
Хлопковое	{	1	42,0	9,8	43,4	+32,2	-33,6	- 1,4
		2	40,6	8,4	19,6	+32,2	-11,2	+21,0
		3	8,4	4,2	9,8	+ 4,2	- 5,6	- 1,4
Люцерновое	{	1	26,6	16,8	26,6	+ 9,8	- 9,8	0
		2	9,8	15,4	21,0	- 5,6	- 5,6	-12,2
		3	9,8	5,6	16,8	+ 4,2	-11,2	- 7,0
Перелог	{	1	39,2	39,2	39,2	0	0	0
		2	11,2	7,0	25,2	+ 4,2	-18,2	-14,0
		3	9,8	5,6	16,8	+ 4,2	-11,2	- 7,0
1959 г.								
Хлопковое	{	1	29,4	8,4	26,6	+21,0	-18,2	+ 2,8
		2	22,4	9,8	23,8	+12,6	-14,0	- 1,4
		3	7,0	4,2	5,6	+ 2,8	- 1,4	+ 1,4
Люцерновое	{	1	22,4	29,4	79,8	- 7,0	-50,4	-57,4
		2	15,4	19,6	22,4	- 4,2	- 2,8	- 7,0
		3	12,6	11,2	19,6	+ 1,4	- 8,4	- 7,0
Перелог	{	1	28,0	77,0	37,8	-49,0	+39,2	- 9,8
		2	18,2	63,0	89,6	-44,8	-26,6	-71,4
		3	11,2	16,8	64,4	- 5,6	-47,6	-53,2
1960 г.								
Хлопковое	{	1	33,6	11,2	23,8	+22,4	-12,6	+ 9,8
		2	32,2	12,6	23,8	+19,6	-11,2	+ 8,4
		3	26,6	7,0	14,0	+19,6	- 7,0	+12,6
Люцерновое	{	1	33,6	23,8	18,2	+ 9,8	+ 5,6	+15,4
		2	30,8	15,4	19,6	+15,4	- 4,2	+11,2
		3	23,8	14,0	12,6	+ 9,8	+ 1,4	+11,2
Перелог	{	1	46,2	30,8	33,6	+15,4	- 2,8	+12,6
		2	61,6	65,8	77,0	- 4,2	-11,2	-15,4
		3	39,2	64,4	75,6	-25,2	-11,2	-36,4

Содержание солей в грунтовой воде в лизиметрах, занятых хлопчатником и люцерной, под влиянием промывных и вегетационных поливов резко меняется. В период рассоления почв минерализация грунтовой воды в лизиметрах повышается.

Минерализация грунтовых вод в лизиметрах за 1958—1960 гг. в среднем составила: под хлопчатником 5,5—5,7 г/л плотного остатка и 1,6—2,0 г/л хлора; под люцерной — 2,8—3,6 г/л и 0,8—1,2 г/л соответственно; под перелогом — 1,9—3,5 г/л и 0,6—1,2 г/л соответственно.

На основании сказанного выше можно сделать выводы.

В лизиметрах, заполненных насыпным грунтом, под действием трамбования, поливов и обработки почва приобретает первоначальную плотность и структура ее восстанавливается. Поэтому наполнение лизиметров грунтом с нарушенной структурой можно считать допустимым и данные лизиметрических наблюдений можно распространять на почвы с ненарушенной структурой.

Общий запас влаги в верхнем однометровом слое почвы тем больше, чем ближе к поверхности залегают грунтовые воды.

Среднегодовая весовая влажность в зоне аэрации почв в лизиметрах при глубине залегания грунтовых вод 1, 2, 3 м составила 19,8—21,8%, 18,4—19,2 и 16,1—18,0% соответственно.

В зоне аэрации почвы в лизиметрах, занятых хлопчатником и люцерной, среднее содержание солей было следующее: плотного остатка — 0,37—0,83% и хлора — 0,06—0,19%. Оно уменьшалось по мере увеличения глубины залегания грунтовых вод.

В лизиметрах, занятых хлопчатником, с конца февраля до июня в результате выпадения весенних атмосферных осадков (130 мм) и промывных поливов (280 мм), среднее количество запасов солей снизилось на 32,77 и хлора — на 9—22 т/га; минерализация грунтовых вод возросла.

При повышении температуры и интенсивности суммарного расхода воды полем начиная со второй половины мая и июня верхние горизонты почвы засоляются. Однако общий солевой баланс остается почти неизменным.

Так как вопрос регулирования водного и солевого режима почвогрунтов при близком залегании уровня грунтовых вод очень важен, на опытных станциях, в колхозах и совхозах следует широко изучать динамику влаги и солей почвы при разном засолении ее и разной минерализации грунтовых вод в неодинаковых климатических, почвенных и сельскохозяйственных условиях. Это даст возможность установить потребность в воде данной площади и учесть во времени влияние влаги и солей на отдельные культуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еременко В. Е. Режим орошения и техника полива хлопчатника, Ташкент, 1957.
2. Рабочев И. С. Элементы водного баланса почвы, „Изв. Академии наук ТССР“, Ашхабад, 1955, № 3.
3. Киселева И. К. Опыт мелиоративного регулирования режима грунтовых вод Голодной степи на примере совхоза „Пахтаарал“, Вопросы мелиорации Голодной степи, Ташкент, 1957.
4. Сляднев А. Ф. Баланс влаги в почво-грунтах Голодной степи и его практическое значение в хлопковом хозяйстве УзССР, Труды VI сессии АН ТССР, Ашхабад, 1954.
5. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги (перевод с французского), Л., 1958.

Э. И. ГРИНЕВ, А. НИЯЗМУХАМЕДОВА

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ В ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

В настоящее время на землях нового орошения в Голодной степи ведется интенсивное строительство дренажных систем.

Материалы изысканий и исследований показали, что почво-грунты зоны нового орошения характеризуются значительной пестротой механического состава, водно-физических свойств, содержания солей, литологического сложения и гидрогеологических условий.

Отсутствие надежных и проверенных опытных данных для таких специфических условий не позволяет проектным и строительным организациям уверенно рассчитывать и строить дренажные системы. Характерным для новых дренажных систем является и то, что дрены, как правило, выполняются закрытого типа. В больших масштабах закрытые дренажные системы на засоленных землях орошаемой зоны нигде не применялись и поэтому особенностей работы закрытых дрен в проектах учесть было невозможно. Таким образом, проверка работы дренажа в производственных условиях совхозов непосредственно на построенных системах приобретает большой практический интерес.

Если методика изучения дренажа в условиях орошения на небольших опытных участках более или менее разработана, то для больших территорий и крупных дренажных систем многие методические вопросы еще недостаточно ясны, хотя необходимость изучения всей дренажной системы в разрезе каждого хозяйства не вызывает сомнений.

Исследования на небольших опытных участках обязательны и необходимы, так как именно они помогают познать сущность процессов, происходящих в толще почво-грунтов под влиянием поливов (промывных, вегетационных, влагозарядковых) и агротехники на фоне дренажа. Однако результаты, полученные на небольших опытных участках (площадью 50—200 га) нельзя механически переносить на всю территорию хозяйства (площадью до 10 тыс. га) или даже района, как это зачастую делается в практике. Совершенно неприемлем такой метод в сложных условиях Голодной степи.

Основанием для применения данных, полученных на опытных участках, помимо природных и хозяйственных условий, должен служить анализ действия всей коллекторно-дренажной системы для каждого хозяйства.

В 1963 г. отделом мелиорации САНИИВПиГ изучалась работа закрытого и открытого дренажа в зоне нового орошения Голодной степи. Исследования проводили в совхозе № 5 им. Ю. А. Гагарина по всей территории совхоза и частично в совхозе № 4.

Совхоз № 5 представляет собой наиболее интересный объект по сравнению с другими хозяйствами: в нем почти полностью построен дренаж, запроектированный по проекту Средазгипроводхлопка 1958 г. (рис. 1 и табл. 1); почво-грунты типичны для самых тяжелых условий зоны нового орошения; имеются участки промывки, поливные земли и неорошаемые земли с разной глубиной грунтовых вод.

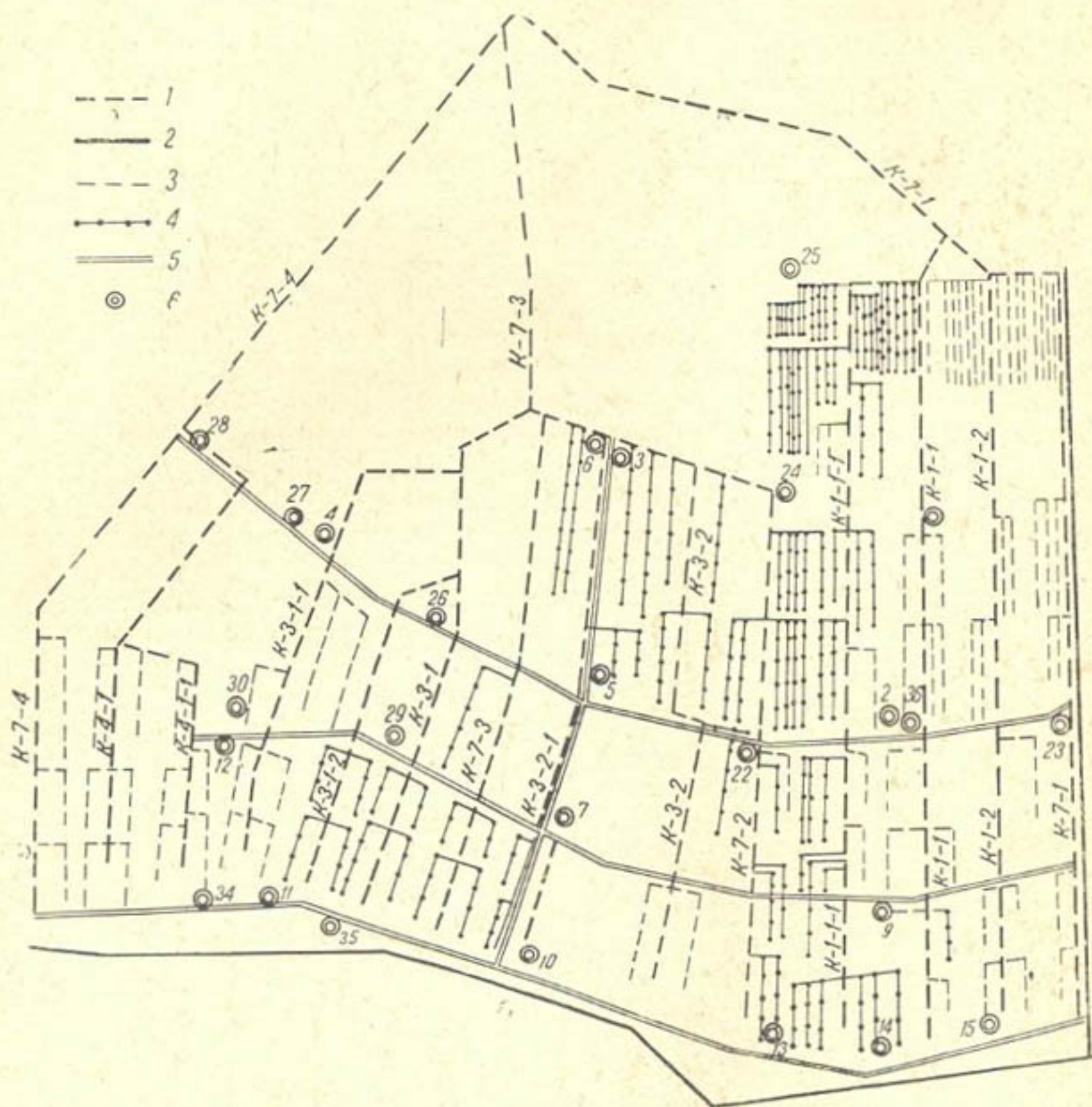


Рис. 1. Схема коллекторно-дренажной сети по совхозу № 5 на октябрь 1963 г.:

1—открытые коллекторы; 2—канал; 3—открытые дрены; 4—закрытые дрены; 5—дороги; 6—скважины.

Литология этой территории представлена мощной толщей переслаивающихся супесей, суглинков и глин с редкими прослойками песков и очень низкими фильтрационными свойствами.

Весьма ограниченное количество данных по фильтрационным свойствам почво-грунтов и полное отсутствие опыта работы дренажа в этих условиях привели к тому, что расчет дренажа производился неоднократно.

Протяженность коллекторно-дренажной сети по совхозу № 5
на октябрь 1963 г.

Номер расчетного агрозучастка	Площадь, га	Дрены						Коллекторы		Всего по дренам и коллекторам	
		открытые		закрытые		всего		длина, км	протяженность, м/га	длина, км	протяженность, м/га
		длина, км	протяженность, м/га	длина, км	протяженность, м/га	длина, км	протяженность, м/га				
I	3695	26,85	7,27	57,72	15,65	84,57	22,92	38,67	10,50	123,24	33,42
II	4578	13,82	3,02	62,35	13,60	76,17	16,62	47,23	10,30	123,40	26,92
III	1610	18,15	11,30	—	—	18,15	11,30	17,15	10,65	35,30	21,95
По все- му сов- хозу	9883	58,82	5,96	120,07	12,20	178,89	18,16	103,05	10,50	281,94	28,66

Основные размеры постоянного дренажа в совхозе № 5 по последнему проектному заданию Средазгипроводхлопка (1962 г.) следующие:

Глубина заложения, м	Коллекторов	4—5
	Дрен	3—3,5
Протяженность, м/га	Коллекторов	11,9
	Дрен	78,5
	Всего	90,4
Дренажный модуль, л/сек	Среднегодовой	0,256
	Средний за вегета- цию	0,384

Расчет дренажа производился по методу САНИИРИ (А. П. Вавилов), дополненному Средазгипроводхлопком. Постоянный дренаж рассчитывали для эксплуатационного периода с учетом необходимости поддержания уровня грунтовых вод с июня по сентябрь ниже критического (2,2—2,8 м) для предотвращения вторичного засоления.

В мелиоративный период проектом были предусмотрены капитальные промывки нормами 5—25 тыс. м³/га на фоне временного дренажа глубиной 1 м и протяженностью 70 м/га.

По фильтрационным свойствам территория совхоза № 5 по проекту отнесена в основном к району с $K_f = 0,7 \div 1,0$ м/сутки и часть территории имеет $K_f = 0,5 \div 0,3$ м/сутки.

Главной целью исследований 1963 г. была проверка проектных расчетов по дренажу. Изучался приток воды к коллекторно-дренажной сети совхоза № 5 в связи с динамикой уровня грунтовых вод и эффективность постоянных, а также временных дрен по отводу грунтовых вод при промывках в совхозе № 5 и 4.

Основное достоинство дренажа состоит в том, что он дает возможность управлять движением грунтовых потоков. Оперирова глубиной и густотой дренажа, можно добиваться нужных скоростей и отводить необходимое количество грунтовых вод. В последнее время все чаще высказывается мнение о том, что главным недостатком ме-

тогда расчета дренажа по „критической глубине“ грунтовых вод с учетом всех составляющих водного баланса является то, что он не учитывает необходимого рассоляющего действия дренажа, хотя косвенно засоление должно предотвращаться именно „критической глубиной“. Действительно, понятие „критической глубины“ при орошаемом земледелии является весьма условным, соответствующим какому-то неопределенному солевому режиму активного слоя почво-грунтов. Однако этим критерием вынуждены пока пользоваться проектные организации из-за отсутствия других методов.

Очевидно, при любых методах расчета рассоляющего действия дренажа нужно знать основные компоненты уравнения водного баланса. Регулировать скорость растворения солей, содержащихся в почво-грунтах, направление и скорость движения солевых растворов мы можем только с помощью поливной воды (в широком смысле этого слова) на фоне дренажа, который собирает и транспортирует солевые растворы.

Таким образом, в любом случае необходимо знать, какое количество воды может быть отведено дренажем и какая существует зависимость между притоком воды к дренам и режимом грунтовых вод. Поэтому основное внимание при изучении дренажа было уделено притоку воды к дренам и режиму грунтовых вод.

Работы проводили методом контурных исследований по всей территории совхоза № 5. Сущность этого метода заключается в единовременных замерах уровня грунтовых вод и расходов воды в устьях всех дрен и коллекторов по всей территории изучаемого объекта. Замеры должны проводиться в кратчайшие сроки (не больше 5—6 дней), так как это влияет на точность получаемой зависимости.

Основанием для применения такого метода является следующее: для каждого района существует определенная зависимость между притоком воды к дренам и положением зеркала грунтовых вод, при этом имеется в виду, что как приток к дренам, так и уровень грунтовых вод формируются в определенных природных и хозяйственных условиях под влиянием одних и тех же факторов (всех компонентов водного баланса), в том числе и напорности.

Так как под наблюдением находится вся территория объекта (в данном случае совхоза), автоматически учитывается взаимовлияние различных участков (без орошения, поливных, промываемых, с разной глубиной и разной напорностью грунтовых вод). Это взаимовлияние может выражаться в изменениях уровня грунтовых вод, напорности и величины притока к дренам.

Единовременные замеры сделаны 4 раза за сезон: в апреле—перед заполнением оросительных каналов; в июне—в середине вегетации; в конце августа—перед закрытием оросительной системы; в октябре—после стабилизации уровня грунтовых вод.

Уровень грунтовых вод замеряли по 37 скважинам, расположенным равномерно по всей территории совхоза. Расходы воды по дренам и коллекторам замеряли с помощью переносных водосливов с острым порогом треугольного и трапецеидального сечения. При больших расходах воды в коллекторах производили вертушечные замеры.

Для правильной оценки режима грунтовых вод и его влияния на динамику притока воды к дренам вся территория совхоза по природным и хозяйственным условиям была разбита на расчетные участки и агроучастки (рис. 2). Расчетные агроучастки привязаны к системам коллекторов и поэтому их границы и площади не совпадают с хозяйственными границами и площадями, т. е. названия „агроучастки“

в какой-то мере условны. Расходы воды по коллекторам замеряли не только в устьях, но и на границах расчетных участков.

Внутри расчетных агроучастков выделены расчетные участки.

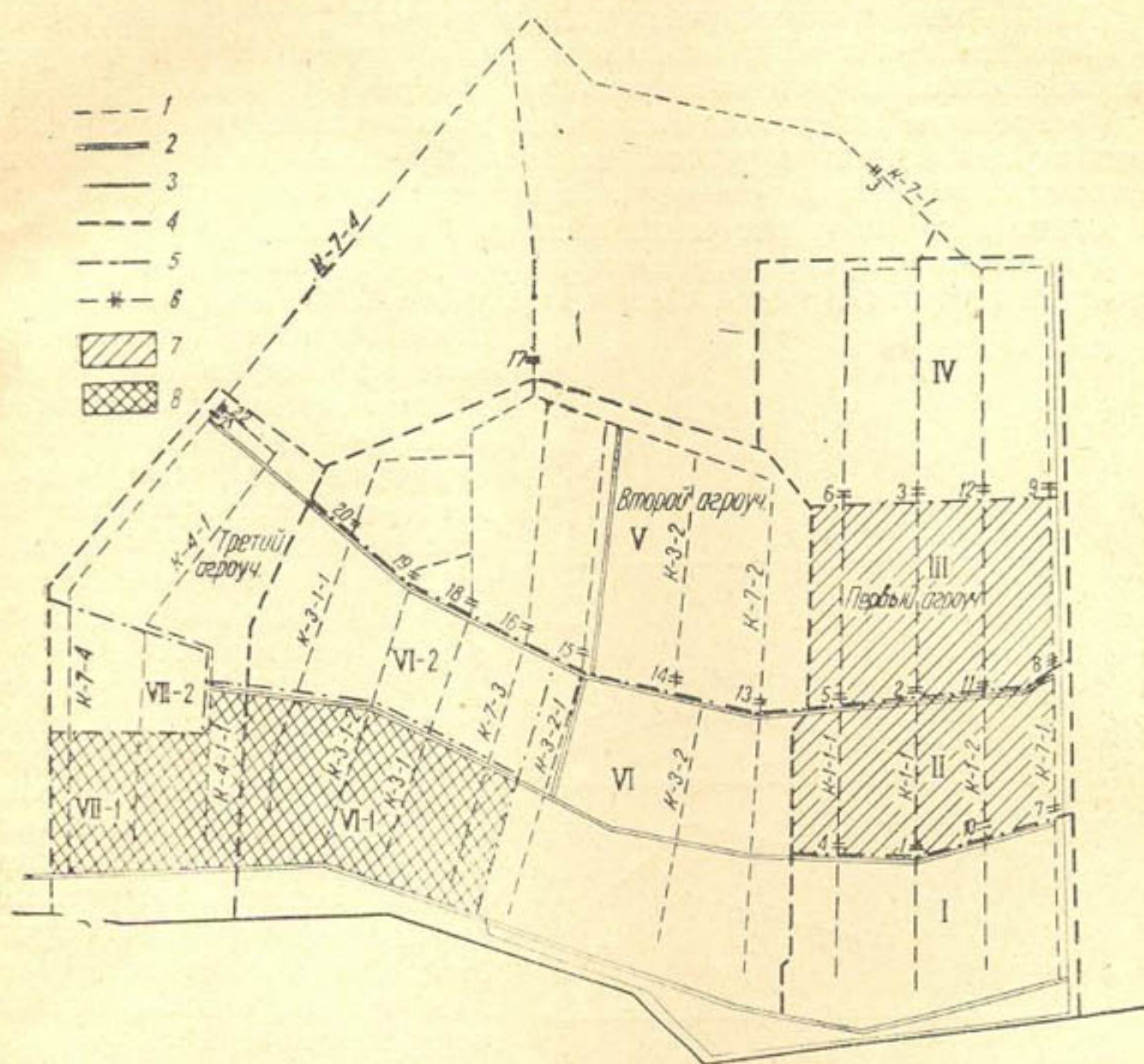


Рис. 2. Схема размещения расчетных участков и агроучастков по совхозу № 5 в 1963 г.

1 — коллекторы; 2 — дороги; 3 — канал; 4 — границы расчетных агроучастков; 5 — границы расчетных участков; 6 — гидросты на коллекторах; 7 — посевы хлопчатника; 8 — участки промывки. II, III, IV и т. д. — расчетные участки.

По первому агроучастку:

I — в зоне влияния ЮГК, неорошаемый участок;
II и III — орошаемые участки (посевы хлопчатника);
IV — неорошаемый участок с глубокими грунтовыми водами.

По второму агроучастку:

V — северная половина, неорошаемая;
VI — южная половина, частично под промывками;
VI-1 — участок промывки;
VI-2 — неорошаемый участок ниже по рельефу участка промывки VI-1.

По третьему агроучастку:

VII-1 — участок промывки;

VII-2 — неорошаемый участок ниже по рельефу участка промывки.

Участки VI-2 и VII-2 выбраны для выяснения влияния на них расположенных выше участков промывки VI-1 и VII-1.

Результаты замеров по скважинам использованы для построения карт глубин залегания уровня грунтовых вод по всей территории совхоза на каждую дату замера. Затем карты глубин были спланиметрированы в границах расчетных участков, агроучастков и всего совхоза и подсчитаны средневзвешенные глубины грунтовых вод. По всем расчетным участкам подсчитаны также расходы по коллекторно-дренажной сети на каждую дату замера. Непосредственными замерами определялись расходы воды по дренам и расходы суммарные (по дренам и коллекторам) по гидропостам на коллекторах. Приток воды к коллекторам получали вычитанием дренажного расхода из общего (суммарного).

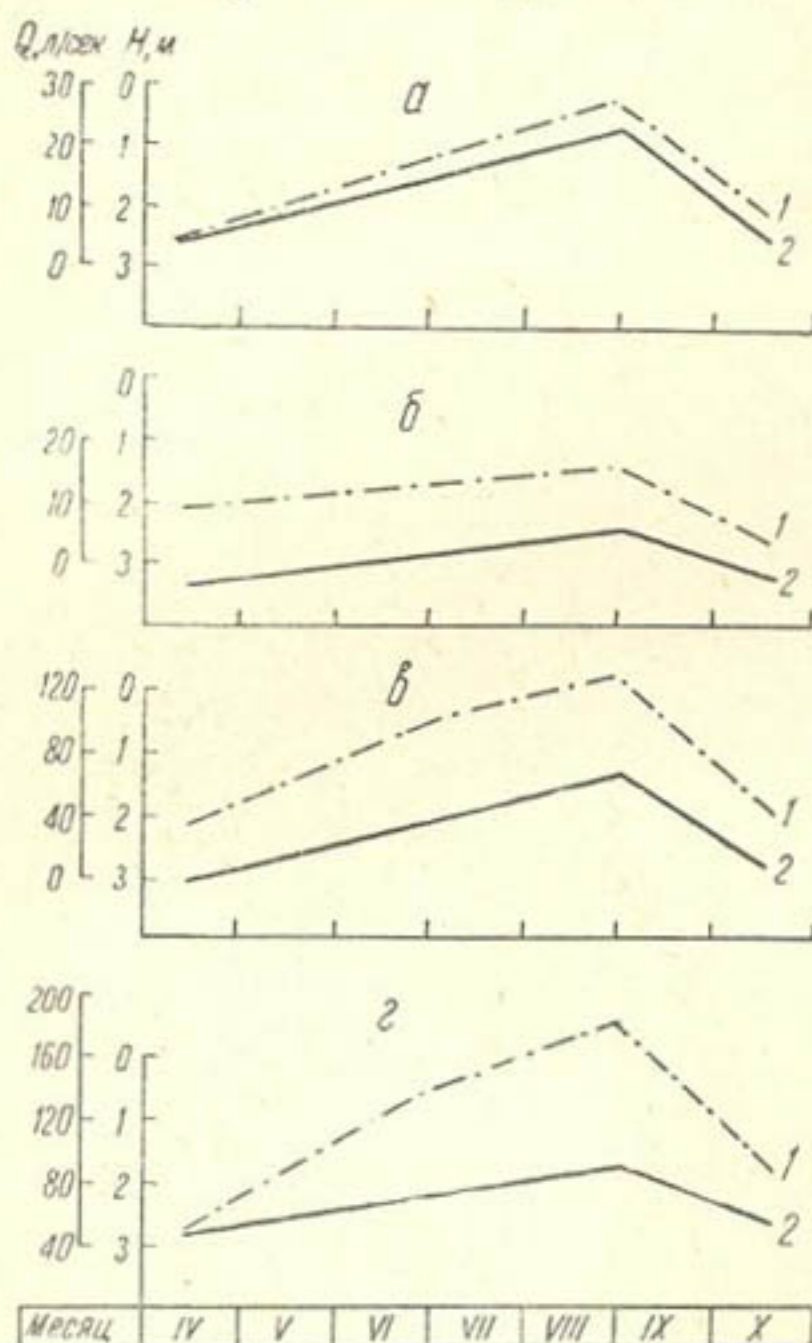


Рис. 3. Изменение глубины грунтовых вод и расходов воды в дренах:

а — орошаемый участок (II); б — неорошаемый участок (V); в — первый агроучасток; г — территория всего совхоза. 1 — расходы воды (Q) по дренам; 2 — глубина грунтовых вод (H).

тории под промывкой), составляла 2—4 м, увеличиваясь с юга на север. Эта глубина характеризует климатический максимум положения уровня грунтовых вод.

2. В течение вегетационного периода уровень поднимался особенно значительно на орошаемых участках и вблизи канала. Гораздо слабее был подъем на неорошаемой территории, удаленной от канала северная половина совхоза). С прекращением водоподдачи и падением

Для каждого расчетного участка, агроучастка и всего совхоза построены графики изменения средневзвешенных глубин грунтовых вод и притока к дренам. На рис. 3 приведены неорошаемые участки, орошаемые, первый агроучасток и территория всего совхоза. На рис. 4 для сравнения показан и приток к отдельной дрине; на рис. 5 дано изменение глубин грунтовых вод на участках под промывкой и соседних участках, расположенных ниже. Динамика средневзвешенных глубин приведена в табл. 2.

Анализ материалов по глубинам позволил сделать некоторые выводы.

1. Глубина грунтовых вод по совхозу в апреле при отсутствии поливов (за исключением незначительной терри-

горизонтов в магистральном канале уровень стал опускаться. Амплитуда колебания уровня составила 0,8—2,0 м.

3. На участках, соседних с промывными и орошаемыми землями, но расположенных ниже по уклону, т. е. в наиболее неблагоприятных

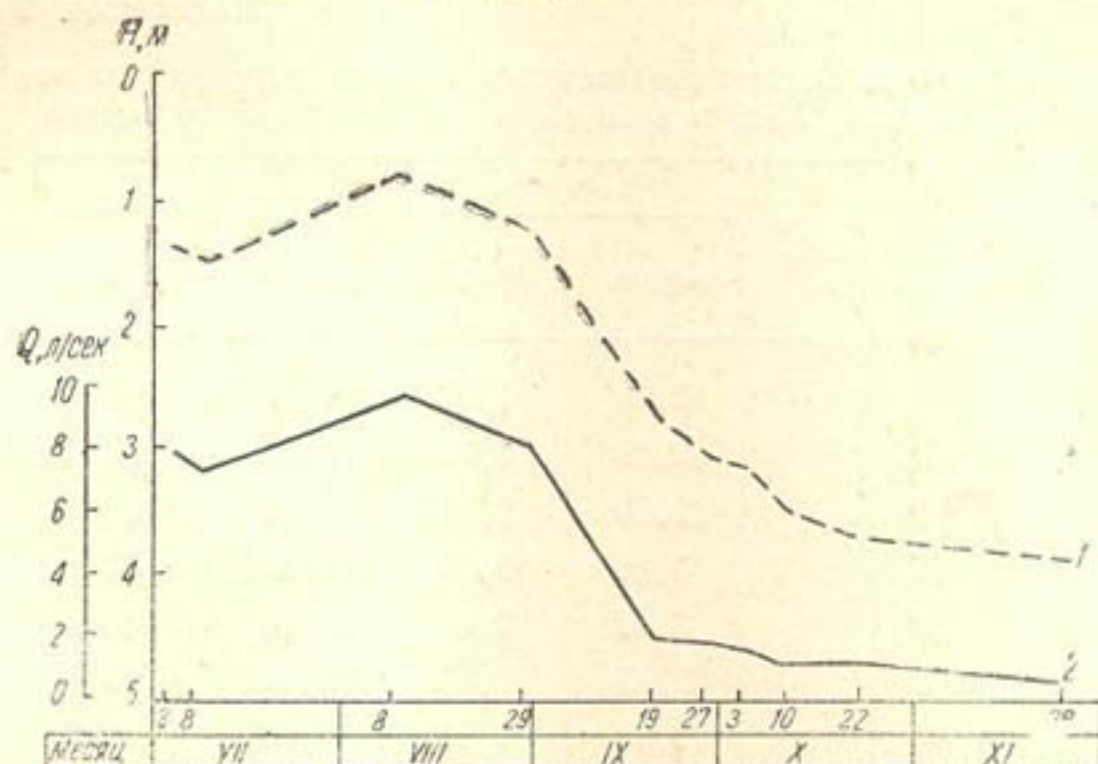


Рис. 4. Колебания уровня грунтовых вод и притока воды к дрене 5-1-Д-53:

1— глубина грунтовых вод от поверхности земли;
2— расходы воды по дрене,

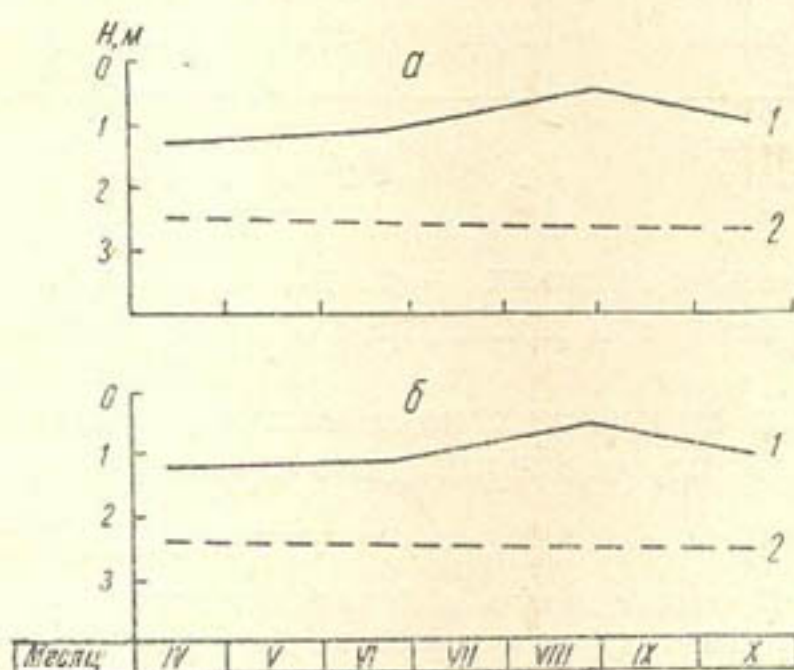


Рис. 5. Динамика глубин грунтовых вод на участках промывки и смежных участках:

1— участки промывки (VI-1 и VII-1); 2— смежные участки (VI-2 и VII-2). а— участки VI-1 и VI-2;
б— участки VII-1 и VII-2.

условиях (VI-2, VII-2, IV), уровень грунтовых вод почти не менялся, следовательно промывки и орошение практически не влияли на соседние земли.

4. В течение почти всего периода вегетации уровень грунтовых вод орошаемых участков стоял выше „критического“, и к концу августа достигал глубины 0,85—1,5 м.

5. Приток воды к дренам зависит от положения уровня грунтовых вод.

При каждом замере обследовали все дрены. Было установлено, что часть дрен не работала (табл. 3). Это объясняется главным образом техническими причинами (незаконченным строительством дрены,

Таблица 2

Динамика средневзвешенных глубин грунтовых вод по совхозу № 5 в 1963 г., м от поверхности земли

Номер расчетного и агрономического участков	Месяц			
	апрель	июнь	август	октябрь
I	3,00	1,97	1,00	3,37
II	2,69	1,71	0,85	2,64
III	2,50	2,11	1,75	2,50
IV	3,46	3,02	2,50	2,73
V	3,44	2,94	2,50	3,31
VI	2,33	2,38	2,40	2,53
VI-1	1,33	1,11	0,50	1,01
V-2	2,45	2,52	2,62	2,78
VIII-1	1,24	1,07	0,50	1,03
VII-2	2,39	2,41	2,40	2,50
Первый	3,11	2,24	1,40	3,06
Второй	2,75	2,42	2,15	2,87
Третий	2,41	1,94	1,50	2,18
По всему совхозу	2,84	2,28	1,75	2,83

наличием перемычек в устьях и т. п.) и низким стоянием уровня грунтовых вод в северной половине территории совхоза (участки IV, V, VII-2).

При поливах и промывках вода часто сбрасывалась в дренажные траншеи и коллекторы, что приводило к разрушению дрен и заиле-

Таблица 3

Протяженность работающих дрен по совхозу № 5 в 1963 г., % от общей длины дрен

Время замера	длина работающих дрен		
	открытых	закрытых	всех дрен
Апрель	67,0	82,0	76,2
Июнь	92,8	85,7	88,4
Август	75,7	70,1	72,1
Октябрь	72,0	52,0	58,6

нию коллекторов. Величина сбросов определялась прямыми замерами и косвенными методами (по изменению минерализации и расчетным путем). В табл. 4 приведены данные о размерах сбросов, т. е. поливной воды, которая транзитом попадала из оросительной сети в кол-

Величина сбросов оросительной воды в коллекторно-дренажную сеть совхоза № 5, 1963 г.

Расчетный агроучасток	Месяц	Расход воды по коллекторно-дренажной сети, л/сек						
		общий	в том числе приток грунтовых вод к коллекторно-дренажной сети			в том числе сбросы оросительной воды		
			к коллекторам и постоянным дренам	к временным дренам	всего к коллекторно-дренажной сети	при поливах	при промывках	% от общего расхода
Первый	Апрель	108	108	—	108	—	—	—
	Июнь	300	210	—	210	90	—	30
	Август	480	336	—	336	144	—	30
	Октябрь	148	148	—	148	—	—	—
Второй	Апрель	81	81	—	81	—	—	—
	Июнь	460	79,46	188,10	267,56	—	192,44	42
	Август	600	129,70	245,28	374,98	—	225,02	38
	Октябрь	480	100,08	260,88	360,96	—	119,04	25
Третий	Апрель	205	27,50	65,04	92,04	—	112,46	55
	Июнь	330	37,31	100,02	137,33	—	192,67	58
	Август	244	86,80	46,50	133,30	—	110,70	45
	Октябрь	205	29,58	124,86	154,44	—	50,56	25
По совхозу	Апрель	394	216,50	65,04	281,54	—	112,46	29
	Июнь	1090	326,77	288,12	614,89	90	385,11	35
	Август	1324	552,50	291,78	844,28	144	335,72	25
	Октябрь	833	277,66	385,74	663,40	—	169,60	20

лекторную и отводилась за пределы территории совхоза, не принося никакой пользы.

С учетом сбросной воды подсчитан дренажный модуль (табл. 5) отдельно для дренажной сети и для коллекторной. Полученные данные показали следующее.

1. Из 179 км дрена (при общей длине коллекторно-дренажной сети 282 км) в течение вегетационного периода работало 72—88%, а в октябре, при самом низком уровне грунтовых вод, только — 60%.

Таблица 5

Дренажный модуль по совхозу № 5 в 1963 г.

Расчетный агроучасток	Протяженность коллекторно-дренажной сети, м/га			Дренажный модуль, л/сек/га		
				коллекторы		
	коллекторы	дрены	всего	макс.	средн. за вегетацию	средн. за год
Первый	10,47	22,93	33,40	0,0573	0,0375	0,0310
Второй	10,35	16,65	27,00	0,0202	0,0155	0,0156
Третий	10,65	11,30	21,95	0,0425	0,0247	0,0197
По совхозу	10,50	18,50	28,66	0,0378	0,0252	0,0221

Расчетный агроучасток	Дренажный модуль, л/сек/га					
	дрены			общий		
	макс.	средн. за вегетацию	средн. за год	макс.	средн. за вегетацию	средн. за год
Первый	0,0376	0,0232	0,0169	0,0909	0,0606	0,0479
Второй	0,0082	0,0061	0,0051	0,0284	0,0216	0,0207
Третий	0,0114	0,0068	0,0049	0,0539	0,0313	0,0247
По совхозу	0,0183	0,0126	0,0095	0,0561	0,0380	0,0206

2. Открытые дрены и коллекторы при промывках в условиях плавунных почво-грунтов (второй и третий агроучастки) сильно деформируются, оплывают и разрушаются. Участки коллекторов с малыми скоростями воды подвержены активному зарастанию растительностью.

3. Максимальные расходы по коллекторно-дренажной сети совхоза № 5 достигали 1—1,3 м³/сек. В этой воде содержалось 65—80% чистой дренажной воды, а остальная вода попадала в сеть транзитом из оросительных каналов посредством диких сбросов. При этом происходило разрушение закрытых дрен и заиливание коллекторов.

4. Дренажный модуль по коллекторной сети оказался в 1,5—3 раза больше, чем по дренажной, при ее протяженности в 2 раза меньшей по сравнению с дренажной.

Средний дренажный модуль за вегетацию по совхозу составил 0,038 л/сек/га (в 10 раз меньше проектного), а по орошаемой территории первого агроучастка—0,06 л/сек/га. Для второго и третьего агроучастков, где коэффициенты фильтрации в 2 раза меньше, чем по первому агроучастку, можно ожидать дренажный модуль 0,03 л/сек/га. Если коллекторами отводится от 40 до 70% всей дренажной воды, то мы имеем дренажный модуль для дрен при их протяженности около 20 м/га — для первого агроучастка—0,024 л/сек/га; для второго и третьего—0,12 л/сек/га.

Увеличение протяженности дренажа до проектной в 4 раза позволит получить дренажный модуль 0,96 и 0,48 соответственно, а с учетом коллекторов — 0,132 и 0,066 л/сек/га, т. е. примерно 0,1 л/сек/га для всего совхоза против проектного 0,384.

Кривые на рис. 3 и 4 указывают на одинаковый характер изменения величины притока воды к дренам и уровня грунтовых вод как по отдельной дрене, так и по участкам, агроучасткам и всему совхозу, что послужило основанием для поисков зависимости между величиной действующего напора и притока на единицу длины дрены. Ниже описывается методика определения такой зависимости для первого агроучастка.

Мы предположили, что территория первого агроучастка в отдельных частях незначительно различается по фильтрационным свойствам. Для получения зависимости использовали данные по четырем расчетным участкам (I, II, III, IV), которые все вместе составляют первый агроучасток (см. рис. 2).

Средняя глубина дрен ($h_{др}$) по проекту равна 3,25 м, а коллекторов ($h_{кол}$)—4,25 м. При строительстве эти глубины в основном поддерживались, за исключением отдельных случаев, поэтому для расчетов действующего напора H мы также принимаем эти глубины, тогда будем иметь для дрен $H_{др} = h_{др} - h_{г.в.}$; для коллекторов

$H_{\text{кол}} = h_{\text{кол}} - h_{\text{г.в}}$ ($h_{\text{г.в}}$ — средневзвешенная глубина грунтовых вод для расчетного участка).

Приток к дренам мы пересчитали на единицу длины (1 км) отдельно для открытых дрен, закрытых и коллекторов, принимая во внимание только работающие дренажи. В табл. 6 приведены результаты подсчетов действующих напоров и удельных притоков по дренам, а также удельная протяженность работающих дрен.

Из таблицы видно, что в отдельных случаях при наличии притока знак напора отрицательный.

Такие случаи возможны при глубоких грунтовых водах, когда трудно уловить действующий напор, особенно для больших площадей. Обычно это небольшие величины, 10—20 см. При обработке отрицательные величины в расчет не включали.

Таблица 6

Приток воды к дренам при разных напорах по расчетным участкам первого агроучастка совхоза № 5

Расчетный участок	Время замера	Удельная протяженность работающих дрен, м/га			Действующий напор, м	Приток на 1 км длины дрены, л/сек		
		открытых	закрытых	всего дрен		к открытым	к закрытым	ко всем
I	Апрель	10,50	3,03	13,53	0,25	1,25	0,47	1,08
	Июнь	10,50	4,61	15,11	1,28	1,66	1,70	1,67
	Август	5,92	12,50	18,42	2,25	3,34	1,31	1,96
	Октябрь	5,92	12,50	18,42	—0,12	1,19	1,32	0,60
II	Апрель	3,05	9,85	12,90	0,56	1,04	0,0905	0,314
	Июнь	4,95	12,22	17,17	1,54	4,32	0,506	1,60
	Август	5,78	9,22	14,98	2,40	5,00	1,525	2,87
	Октябрь	8,10	14,00	22,10	0,61	0,905	0,354	0,555
III	Апрель	17,02	11,35	28,37	0,75	1,16	0,455	0,875
	Июнь	17,02	11,35	28,37	1,14	3,22	0,935	2,30
	Август	12,95	15,37	28,37	1,50	2,94	3,85	3,42
	Октябрь	16,90	15,37	32,27	0,75	0,945	1,345	1,13
IV	Апрель	0,67	14,63	15,30	—0,21	0,107	0,241	0,235
	Июнь	0,67	15,75	16,42	0,23	1,60	0,455	0,50
	Август	1,56	2,08	3,64	0,75	0,057	0,086	0,0735
	Октябрь	1,56	2,08	3,64	0,52	0,057	0,043	0,049

Данные табл. 6 были нанесены на рис. 6. Расположение точек показало, что точки по открытым и закрытым дренам легли отдельно; зависимость может быть выражена прямой линией.

Для исключения субъективности при построении зависимости и оценки точности связи между притоком и напором результаты опытов были обработаны методом наименьших квадратов (табл. 7).

Корреляционная связь между какими-либо величинами x и y существует при величине коэффициента корреляции $r_{xy} > 0,6$. Наши значения r_{xy} составили 0,825 и 0,783. Связь между величинами считается доказанной, если предельная величина коэффициента корреляции $r_{xy} \pm 4E$

(E -вероятная ошибка r_{xy}) сохраняет знак коэффициента корреляции r_{xy} . В обоих случаях связь достаточно надежная.

На рис. 7 приведены зависимости для открытых дрен по первому, а также второму и третьему агроучасткам совхоза № 5. Интересно, что все зависимости начинаются не из центра координатной сетки, а несколько выше. Это свидетельствует о том, что дрены начинают работать при 10—15 см напора за счет потерь напора при выходе грунтового потока из грунта.

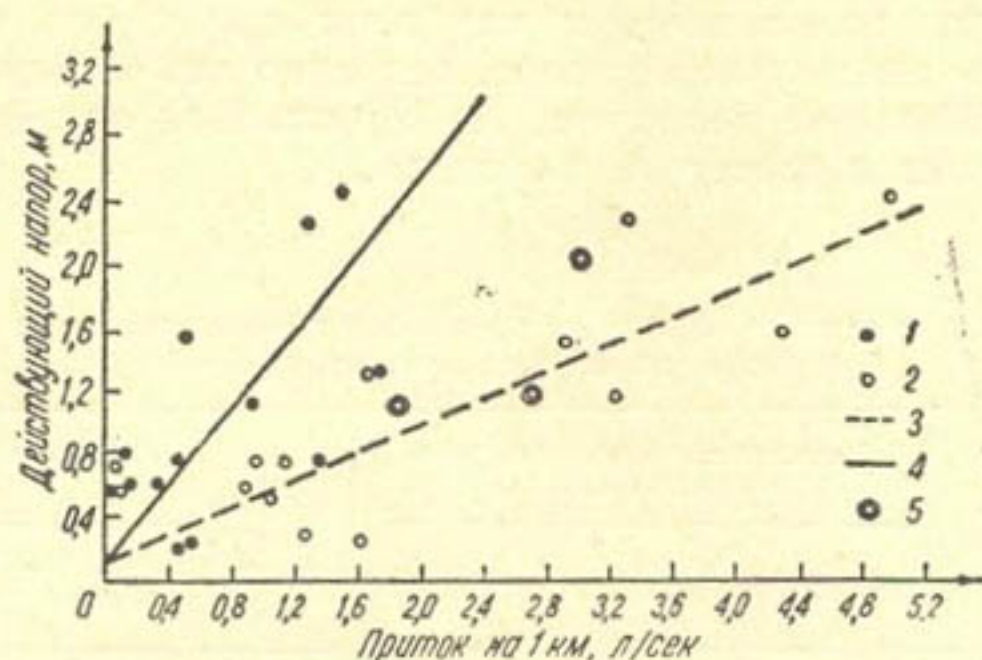


Рис. 6. Приток воды к открытым и закрытым дренам первого агроучастка совхоза № 5 за 1963 г. (по расчетным участкам):

1—закрытые дрены первого агроучастка; 2—открытые дрены первого агроучастка; 3—зависимость $Q=f(H)$ для открытых дрен; 4—зависимость $Q=f(H)$ для закрытых дрен; 5—коллекторы по всему агроучастку.

Таблица 7

Результаты обработки зависимости $Q = f(H)$ для открытых и закрытых дрен первого агроучастка

Показатель	Величина показателя	
	открытые дрены	закрытые дрены
Коэффициент корреляции .	0,825	0,783
Средние квадратичные	{ 0,683 1,542	0,597
отклонения		0,960
Коэффициенты регрессий .	{ 1,861 0,366	0,640
		0,960
Уравнения прямых регрессий	$H = 0,336 Q + 0,318$ $Q = 1,864 H + 0,028$	$H = 0,960 Q + 0,293$ $Q = 0,640 H + 0,069$
Средние ошибки уравнений регрессий	{ 0,387 0,875	0,372
		0,304
Вероятная ошибка коэффициента корреляции	0,06	0,06
Предельная величина коэффициента корреляции . .	$0,825 \pm 0,24$	$0,783 \pm 0,24$

Из рис. 6 и табл. 6 видно, что к закрытым дренам притекает в 2—2,5 раза меньше воды, чем к открытым. Для проверки этого факта все открытые и закрытые дрены по удельному притоку (л/сек/км)

разделили на четыре группы: I — от 0 до 1; II — от 1 до 2; III — от 2 до 3 и IV — 3.

Затем по каждой группе (отдельно для открытых и закрытых дрен) подсчитывали длину дрен в километрах и процентах к общей длине (табл. 8). Результаты подсчетов подтверждают данные рис. 6 и табл. 6.

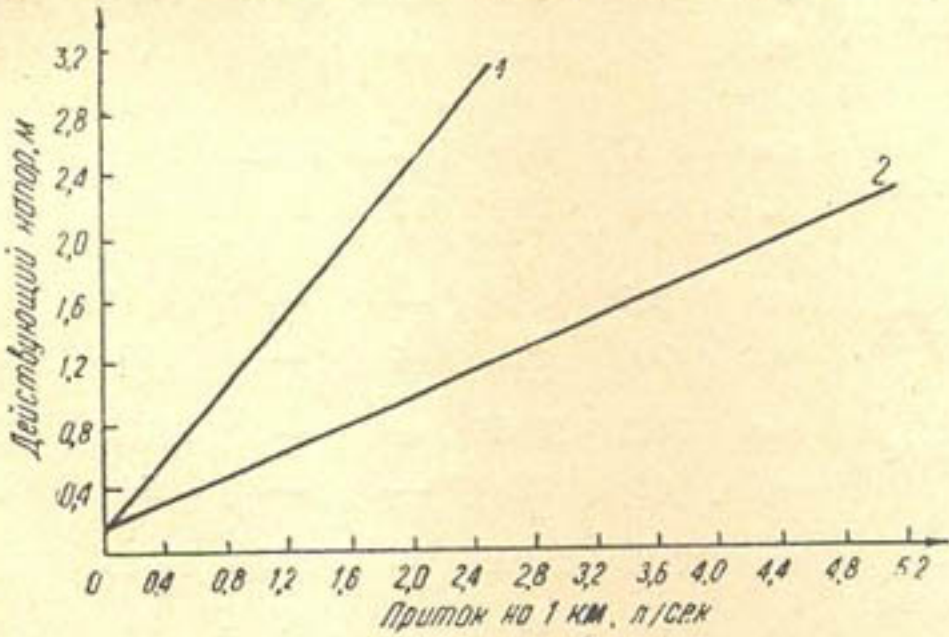


Рис. 7. Зависимость $Q=f(H)$ для открытых дрен совхоза № 5:

1 — второй и третий агроучастки, $K_{\phi} = 0,140$ м/сутки;
2 — первый агроучасток, $K_{\phi} = 0,316$ м/сутки.

Таблица 8

Протяженность дренажа с разным удельным притоком по агроучасткам совхоза № 5 в 1963 г.

Номер расчетного агроучастка	Тип дрен	Длина	Приток на 1 км длины, л/сек							
			апрель				июнь			
			0—1	1—2	2—3	> 3	0—1	1—2	2—3	> 3
Первый	Открытые	км	9,725	13,275	—	—	1,375	11,4	6,825	4,55
		%	40	60	—	—	6	47	28	19
	Закрытые	км	31,05	2,625	—	—	30,9	5,0	1,075	0,55
		%	92	8	—	—	82	13	3	2
Второй	Открытые	км	19,475	1,7	—	—	19,475	1,7	—	—
		%	92	8	—	—	92	8	—	—
	Закрытые	км	50,325	—	2,25	—	51,5	1,075	—	—
		%	96	—	—	—	98	2	—	—
Третий	Открытые	км	—	—	—	—	12,15	2,6	—	1,10
		%	—	—	—	—	77	16	—	7
	Закрытые	км	—	—	—	—	—	—	—	—
		%	—	—	—	—	—	—	—	—
По совхозу	Открытые	км	29,2	14,975	—	—	33,0	15,7	6,825	5,65
		%	66	34	—	—	54	26	11	9
	Закрытые	км	81,375	2,625	2,25	—	82,4	6,075	1,075	0,55
		%	94	3	3	—	91	7	1	1

Номер расчетного агроучастка	Тип дрен	Длина	Приток на 1 км длины, л/сек							
			август				октябрь			
			0—1	1—2	2—3	> 3	0—1	1—2	2—7	> 3
Первый	Открытые	км	3,125	1,0	6,525	8,775	11,44	10,225	—	0,95
		%	16	5	34	45	50	45	—	5
	Закрытые	км	8,575	6,9	6,375	7,125	19,35	4,95	3,7	—
		%	30	24	22	24	69	18	13	—
Второй	Открытые	км	9,7	2,55	—	—	4,725	2,375	—	—
		%	79	21	—	—	66	34	—	—
	Закрытые	км	35,3	16,55	—	—	26,02	3,375	1,15	1,10
		%	68	32	—	—	82	11	4	3
Третий	Открытые	км	12,25	2,60	—	1,05	11,15	1,10	—	—
		%	77	16	—	7	91	9	—	—
	Закрытые	км	—	—	—	—	—	—	—	—
		%	—	—	—	—	—	—	—	—
По совхозу	Открытые	км	5,075	6,15	6,525	9,825	27,325	13,7	—	0,95
		%	52	13	14	21	65	33	—	2
	Закрытые	км	43,875	23,45	6,375	7,125	45,375	8,325	4,85	1,10
		%	55	28	8	9	76	14	8	2

Анализ полученного материала позволил установить следующее:

1. Для условий совхоза № 5 между притоком воды к дренам и положением уровня грунтовых вод существует определенная зависимость, которая может быть выражена прямой линией.

2. Средняя величина притока по первому агроучастку на 1 км длины и 1 м напора составила около 2 л/сек, а по второму и третьему агроучасткам—около 0,8 л/сек.

3. Приток к закрытым дренам оказался в 2-3 раза меньше, чем к открытым.

4. При существующей густоте дренажа приток к дренам не зависит от протяженности дрен, т. е. каждая дрена работает отдельно, а не в системе дрен.

5. Бóльший приток воды к коллекторной сети по сравнению с дренажной объясняется бóльшими глубинами коллекторов и меньшим притоком к закрытым дренам по сравнению с открытыми.

В связи с тем, что приток воды к дренам оказался гораздо меньше предполагаемого проектного, мы проверили по депрессионным кривым и притоку воды к дренам расчетные значения коэффициентов фильтрации и установили, что фактические значения коэффициентов фильтрации значительно меньше, чем по проектному районированию. По совхозу № 5 средние значения коэффициентов фильтрации составили: по первому агроучастку $K_f = 0,316$ м/сутки, по второму и третьему — $K_f = 0,140$ м/сутки. Эти данные подтверждают разницу в притоке воды к дренам по первому, второму и третьему агроучасткам (см. рис. 7).

Эффективность постоянных и временных дрен по отводу грунто-

вых вод при промывках изучалась также методом контурных исследований. Основной целью работ являлось выяснение

а) средних показателей работы дренажа при промывках в производственных условиях;

б) максимальных возможностей дренажа по отводу грунтовых вод;

в) различия в работе постоянных и временных дрен в условиях низких фильтрационных свойств почво-грунтов (третий агроучасток совхоза № 5, $K_{\phi} = 0,14$ м/сутки) и высоких (третий агроучасток совхоза № 4, $K_{\phi} = 2,4$ м/сутки).

В продолжение 2 мес. по всей территории объектов сделали несколько единовременных (в течение одного дня) замеров расходов воды по всем постоянным и временным дренам. Расходы измеряли переносными водосливами и с помощью вертушек. При замерах обследовали всю территорию, сброс поверхностных вод учитывали непосредственными замерами и в дальнейшем исключали из расчетов. Кроме того, контроль за качеством дренажной воды осуществляли с помощью систематических химических анализов.

Таблица 9

Основные показатели работы постоянных и временных дрен
в совхозах № 4 и 5

Показатель	Дрены совхозов			
	№ 4		№ 5	
	постоянные	временные	постоянные	временные
Глубина дрен, м	3—3,5	0,5—0,7	1,5—3,0	0,5—0,7
Протяженность, м/га				
максимальная	59	525	71	820
минимальная	39	137	39	278
средняя	47	260	51	470
Дренажный модуль, л/сек/га				
максимальный	3,67	0,68	0,42	0,55
минимальный	1,36	0,07	0,007	0,34
средний	2,00	0,29	0,10	0,47
Приток на 1 км длины, л/сек				
максимальный	81,65	2,51	6,02	1,96
минимальный	34,10	0,25	0,18	0,49
средний	41,70	1,11	1,95	0,98

Всего замерами была охвачена площадь 233 га, из них 88 га в совхозе № 5, а остальная территория — в совхозе № 4. Учитывая динамику дренажного стока во времени, при обработке отбирали данные главным образом последнего замера, как наиболее надежного, и по тем участкам, где было проведено несколько замеров. Последний замер сделан примерно через 2 мес. от начала промывок, что позволяет приток к постоянным и временным дренам считать установившимся.

В связи с тем, что промывки проводили в производственных условиях по организационно-хозяйственным причинам под водой одновременно находилась не вся площадь промываемых участков (площадь которых 10—12 га), а примерно 60—70% ее.

Глубина временных дрен составила 0,5–0,7 м; глубина постоянных дрен 3,0–3,5 м. В дальнейшем в совхозе № 5 открытые дренажи разрушались и их глубина доходила до 1,5–2,0 м, а в совхозе № 4 дренажи почти не деформировались и к концу промывки были в хорошем состоянии. В табл. 9 приведены основные показатели работы дрен в условиях промывок.

Данные табл. 9 показывают, что приток воды к временным дренажам по обоим совхозам почти одинаковый — около 1 л/сек/км. Приток к постоянным дренажам в совхозе № 5 в 2 раза, а в совхозе № 4 в 40 раз больше, чем к временным.

Если в совхозе № 4 основное количество воды (87% общего дренажного стока) отводилось постоянными дренажами, то в совхозе № 5 82% дренажной воды — временными дренажами. Это позволяет утверждать, что в совхозе № 5 устройство временных дрен на период промывок необходимо, а в совхозе № 4 — необязательно.

Максимальный приток к постоянным дренажам третьего агроучастка совхоза № 5 составил 2 л/сек/км, что увязывается с данными рис. 7, хотя исследования проводили в разное время года, неодинаковыми методами и с разной целью.

Применение контурного метода для изучения дренажа в совхозе № 5 позволило

а) дать оценку работы дренажа по всей территории совхоза и в отдельных ее частях;

б) установить значительные отклонения в работе дренажной системы от проектного режима;

в) получить некоторые показатели и зависимости для уточнения проектных расчетов по дренажу, в том числе предельные возможности дренажа по отводу грунтовых вод;

г) выявить разницу в работе дренажной и коллекторной систем, открытых и закрытых дрен.

Главным достоинством описанного метода является то, что он позволяет в течение очень короткого времени (одного сезона) получить достаточно надежные данные для уточнения проектных расчетов по дренажу и дать оценку работе коллекторно-дренажной системы как в целом, так и по отдельным частям, вплоть до каждой дрены.

Особенно эффективно может применяться метод контурных исследований на новых системах, в хозяйствах, которые только осваиваются, при низком к. з. и., наличии разных категорий земель (целина, перелог, орошаемые земли с разными культурами, участки промывки и пр.), при отсутствии четко организационной службы эксплуатации, которая должна вести систематические наблюдения за режимом грунтовых вод, водоподачей и дренажным стоком.

Описанный метод можно использовать в разных вариантах: замеры могут быть чаще в течение одного сезона или реже (как минимум, нужно делать 2 замера — при самом низком и самом высоком уровне грунтовых вод) — в течение нескольких лет. В последнем варианте необходимы ежегодные солевые съемки по каждому расчетному участку, наблюдения за минерализацией грунтовой и дренажной воды и данные о водоподаче на орошаемые и промываемые участки.

Контурные исследования в сочетании с детальными исследованиями на небольших балансовых участках позволят уверенно районировать полученные зависимости в пределах изучаемой территории.

Э. И. ГРИНЕВ, А. НИЯЗМУХАМЕДОВА

ПРОВЕРКА РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРИТОКА ВОДЫ К ДРЕНАМ

Величина притока грунтовых вод к дренам определяется величиной коэффициента фильтрации почво-грунтов в случае равенства прочих условий. Многие исследователи (С. Ф. Аверьянов, Н. А. Беседнов, Е. И. Здобнов, В. А. Ковда, Г. И. Шпанин и др.) рекомендуют назначать расстояния между дренами в зависимости от величины коэффициента фильтрации. Точность расчетов дренажа и стоимость дренажных сооружений обуславливаются главным образом точностью принятой для расчетов величины коэффициента фильтрации.

Существует много различных методов для расчета коэффициентов фильтрации, начиная от лабораторных приборов для определения этих коэффициентов на образцах грунтов объемом в несколько кубических сантиметров и кончая методом откачек из скважин и шурфов.

Для оценки методов, применяемых проектными организациями при назначении коэффициентов фильтрации для расчетов дренажа, в отделе мелиорации САНИИВПиГ в 1963 г. изучался приток воды к дренам и фактические коэффициенты фильтрации по нескольким дренажным системам, охватывающим площадь около 10 тыс. га на территории Юго-Восточного массива зоны нового орошения в Голодной степи.

Рассматриваемая зона приурочена к периферии предгорного шлейфа, примыкающего на юге к северным склонам Туркестанских гор. В структурно-геоморфологическом отношении — это пролювиальная равнина, образованная отложениями слившихся конусов выносов. Геологически эта территория представляет собой южную часть обширной структурной впадины, выполненной мощной толщей мелкообломочных отложений четвертичного периода, по литологическому составу сложенных главным образом переслаивающимися суглинками, супесями и глинами с прослоями песков.

Для проектных расчетов использовались гидрогеологические и инженерно-геологические материалы. Фильтрационная способность почво-грунтов определялась чаще всего посредством откачек из шурфов и наливов в шурфы. На каждые 1000 га приходился в среднем 1 шурф. На изучаемую территорию пришлось 8 шурфов (рис. 1).

Шурфы прямоугольного сечения заглублялись ниже уровня воды на 0,5—1,5 м. Откачки производили ручным насосом с поверхности земли. В каждом шурфе делали по одному, редко по два понижения на величину не более 1,5 м в течение 6—20 час. Поскольку все шурфы

представляли собой несовершенные грунтовые колодцы, для расчетов коэффициента фильтрации применялась формула Дюпюи—Форхгеймера

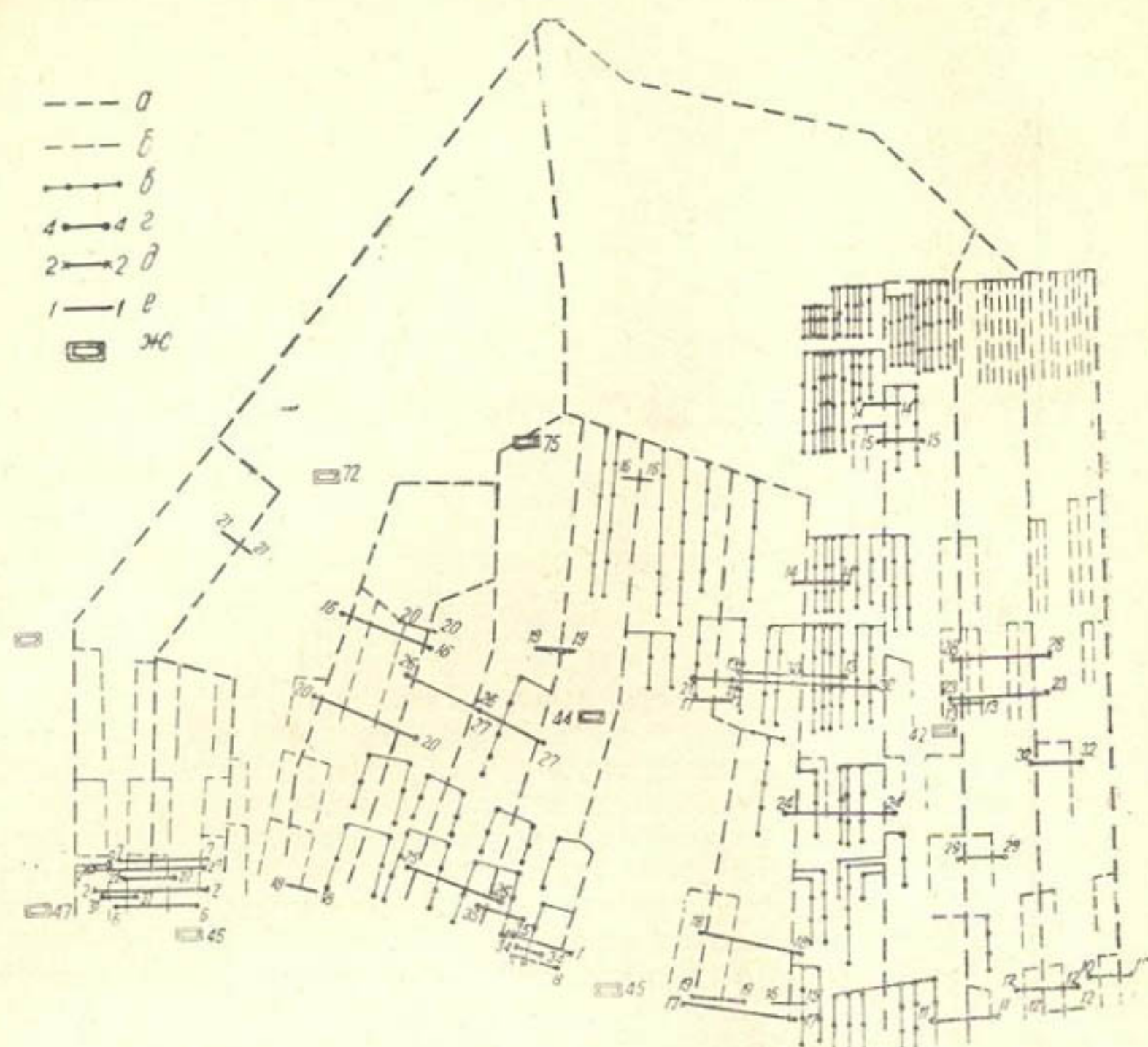


Рис. 1. Расположение створов наблюдательных скважин на коллекторах и дренах:

a — открытые коллекторы; *b* — открытые дренаи; *в* — закрытые дренаи; *г* — створы наблюдательных скважин и их номер, 1963 г.; *д* — створы наблюдательных скважин и их номер, 1962 г.; *е* — створы наблюдательных скважин Средазгипроводхлопка и их номер, 1963 г.; *ж* — шурфы опытных откачек Средазгипроводхлопка

$$K = \frac{0,73 Q \lg \frac{R}{r}}{(H^2 - h^2) A}, \quad (1)$$

где

K — коэффициент фильтрации, мм/сек;

Q — расход воды при откачке, л/сек;

R — радиус влияния колодца при откачке, м;

r — радиус колодца, м;

H — мощность активной зоны, м;

h = *H* — *S*, м;

S — величина понижения уровня воды в шурфе при откачке, м;

A — коэффициент перехода от совершенного колодца к несовер-

шенному, равный $A = \sqrt[4]{\frac{2h-t}{h}} \cdot \sqrt{\frac{t}{h}}$ (здесь *t* — слой воды в

шурфе перед откачкой, м).

Мощность активной зоны H рассчитывали по закономерности Замарина; радиусы влияния колодцев — по формуле Кусакина

$$R = 575 S \sqrt{H \cdot K} \quad (2)$$

(величины, входящие в эту формулу, указаны выше).

В тех случаях, когда расчетный радиус влияния колодца получался меньше радиуса самого колодца, коэффициент фильтрации подсчитывали по формуле Форхгеймера, учитывающей приток к несовершенному грунтовому колодцу, питающемуся через полусферическое дно, что применимо к условиям опыта при малом (до 1 м) слое воды в шурфе:

$$K = \frac{Q}{2\pi r S} \quad (3)$$

(обозначения величин в формуле (3) те же, что и для предыдущих формул).

Коэффициенты фильтрации посредством наливов в шурфы определяли разными методами в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод.

При близком (до 5 м) залегании уровня грунтовых вод в шурф, откопанный несколько выше уровня грунтовых вод, наливали слой воды и поддерживали на одной высоте подливом воды. Полагая, что форма кривой растекания будет близка к перевернутому отображению кривой депрессии, для расчетов коэффициента фильтрации использовали формулы, обычно применяемые для откачек.

При глубоком (более 10 м) залегании грунтовых вод применяли метод Нестерова.

Таблица 1

Коэффициенты фильтрации по Юго-Восточному массиву Голодной степи

Номер		Количество опытов			Коэффициенты фильтрации, м/сутки								
область	инженерно-геологического района	откачка из шурфов	налив воды в шурфы	откачка из скважин	для комплексных грунтов				для отдельных разностей грунтов				
					от	до	среднее	для расчета* дренажа	грунты	от	до	среднее	для расчета
II	1	50	26	4	0,006	14,2	0,625	$\frac{0,5-0,17}{0,70}$	Глины	0,074	1,76	0,166	0,10
II	2	19	16	—	0,026	3,96	0,44	$\frac{0,2-0,5}{0,30}$	Суглинки	0,006	5,50	0,510	0,50
II	3	5	3	1	0,138	5,43	1,20	1,00	{ Супеси	0,08	14,2	1,75	1,30
									{ Пески	0,39	5,43	3,53	4,00
III	4	1	5	1	0,025	1,50	0,55	$\frac{0,5-1,0}{0,7}$	{ Глины	0,025	0,476	0,237	0,10
									{ Суглинки	0,198	1,56	0,70	0,50
									{ Супеси	0,18	3,97	1,23	1,50
III	5	—	22	—	0,18	3,97	1,00	$\frac{0,7-1,0}{1,0}$	Пески	—	—	—	4,50

По геологическим, гидрогеологическим и геоморфологическим условиям вся территория Юго-Восточного массива (примерно 100 тыс. га) была разделена на две области и пять районов. Данные по коэффициентам фильтрации, полученные при изысканиях, представлены в табл. 1, из которой видно, что коэффициенты фильтрации почво-грун-

* В знаменателе даны значения коэффициентов фильтрации, принятые в расчетах дренажа.

тов осреднялись в пределах инженерно-геологических районов и для отдельных разностей грунтов.

Для дифференцирования необходимых размеров дренажа по всей территории массива было проведено почвенно-мелиоративное районирование и выделены балансовые участки, отличающиеся величиной разности притока и оттока, коэффициентом фильтрации, критической глубиной залегания грунтовых вод, величиной промывной нормы.

Специального районирования территории по величине коэффициента фильтрации не проводили, хотя материал для такого районирования имелся (прямые определения коэффициентов фильтрации в шурфах). Для расчетов принимали коэффициенты фильтрации, приведенные в табл. 1, в зависимости от того, в какой район попадал балансовый участок и от преобладания той или иной почвенной разности.

В связи с отсутствием явно выраженных водоупорных прослоек и напорных горизонтов для расчета притока воды к дренам в проекте принята формула А. Н. Костякова:

$$q = \frac{\pi K h}{\ln \frac{B}{d} - 1}, \quad (4)$$

где q — приток к дрене с двух сторон;

K — коэффициент фильтрации;

h — действующий напор;

$B = \frac{10\,000}{l_{\text{др}}}$ расстояние между дренами;

d — ширина зеркала воды в открытой дрене или диаметр фильтра закрытой дрены;

$l_{\text{др}}$ — удельная протяженность дрен на 1 га.

На рис. 2 показаны границы районов, в которых отдел мелиорации проводил исследования коллекторно-дренажной сети, и приведены проектные значения коэффициентов фильтрации для расчета дренажа. Приток воды к коллекторно-дренажной сети изучался в связи с динамикой уровня грунтовых вод. Было установлено, что фактический приток к дренам оказался значительно меньше расчетного по проекту.

Параллельно с этими работами определяли коэффициенты фильтрации на дренах и коллекторах. Для этого выбирали участки главным образом открытых дрен (коллекторов) длиной 200—1000 м, целые дренаы или системы дрен. Несколько определений сделано на закрытых дренах.

Если участок находился в середине дрены (коллектора), то он ограничивался двумя гидропостами — верхним и нижним (по течению воды в дрене), если же в начале дрены, то устраивался один гидропост в конце участка. Когда же под наблюдением была вся дрена или система дрен, расход замерялся в устьях. Для измерения расходов применяли переносные водосливы с острым порогом треугольного ($\alpha = 90^\circ$) и трапецеидального (с разной шириной порога) сечения.

В середине участка дрены (коллектора), где определялась величина притока воды, устраивали створ скважин для наблюдения за формированием депрессионной кривой.

По гидропостам и скважинам проводили единовременные замеры, в результате которых определяли приток на единицу длины, строили депрессионные кривые, находили величину действующего напора, радиус влияния дрены и подсчитывали коэффициенты фильтрации из формулы (4), принятой в проекте для расчета дренажа.

В изучаемом районе аналогичным методом несколько раз определялись коэффициенты фильтрации отделом инженерной геологии института „Средазгипроводхлопок“ (гидрогеолог А. М. Сойфер). Размещение створов наблюдательных скважин показано на рис. 1, а величины коэффициентов фильтрации приведены в табл. 2 и 3.

Определенные коэффициенты фильтрации представляют собой не физическую константу в ее обычном понятии, а определенное расчетное значение этого коэффициента, причем именно то значение, кото-

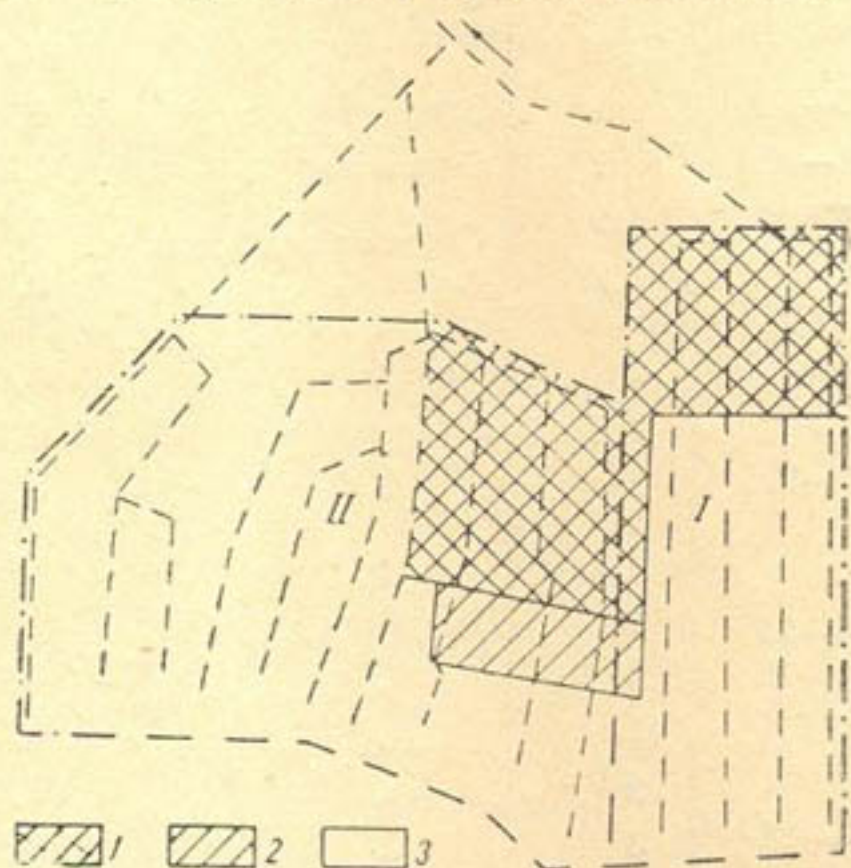


Рис. 2. Проектные и фактические значения коэффициентов фильтрации (K_{ϕ}):

I, II — изучаемые районы и фактические K_{ϕ} равные 0,316 и 0,140 м/сутки соответственно. 1, 2, 3 — проектные K_{ϕ} равные 0,3; 0,5; 0,7—1,0 м/сутки соответственно.

рое должно было применяться для расчетов дренажа по формуле (4) в природных и хозяйственных условиях рассматриваемого района.

Анализ полученных данных показал, что в пределах изучаемых районов минимальные и максимальные значения коэффициентов фильтрации могут отличаться друг от друга в 20—50 раз. Даже в пределах одного створа, пересекающего несколько дрен, коэффициенты фильтрации могут различаться в несколько раз. Это объясняется чрезвычайно пестрой литологией изучаемой территории и наличием большого количества прослоек, чередующихся без всякой закономерности.

Большие колебания величин коэффициентов фильтрации не позволили провести районирование изучаемой территории по фильтрационным свойствам даже при сравнительно большом числе точек. Поэтому были подсчитаны средние арифметические значения коэффициентов фильтрации, которые составили (м/сутки): I район — 0,316, II — 0,140, I и II — 0,200.

Обработка полученных результатов статистическими методами показала, что коэффициент вариации среднего арифметического оказался чрезвычайно высоким — около 100%, а точность среднего арифметического составила примерно 20%.

Высокое значение коэффициента вариации говорит о том, что в пределах изучаемой территории среднее значение коэффициента фильтрации в 70 случаях из 100 может колебаться от очень малых значе-

Расчетные значения коэффициентов фильтрации из формулы (4),
по данным САНИИВПиГ

изучаемого района	Номер		Тип дрены	К _ф ,	К _ф , среэний для створа				
	створа	дрены		м/сутки					
II	10—10	{ 1 2	Открытая .	0,917 0,044	} 0,480				
	11—11	1	Закрытая	0,958		0,958			
	12—12	1	Открытая	1,050	1,050				
	14—14	{ 1,2 1,2	Системы закрытых дрен	0,030 0,057	} 0,043				
	15—15	1	Закрытая	0,058		0,058			
	23—23	{ 1 2 3	Открытая . .	0,311 0,185 0,051	} 0,175				
		24—24	{ 1 2	Закрытая .		0,624 0,094	} 0,360		
			28—28	{ 1 2 3 4		. . . Открытая		0,740 0,133 0,015 0,294	} 0,296
	29—29	{ 1 2 3		. . .	0,083 0,284 0,134	} 0,167			
		30—30		{ 1 2	. Система закрытых дрен		0,185 0,208	} 0,196	
				1—1	{ 1 2		Открытая .		
	2—2	{ 1 2 3	. . .		0,160 0,150 0,105	} 0,138			
		6—6	{ 1 2 3		Открытая . .		0,039 0,065 0,124	} 0,076	
			7—7	{ 1 2 3	. . .		0,087 0,045 0,094		} 0,075
	13—13			{ 1 2 3	Закрытая система закрытых дрен Закрытая система закрытых дрен	0,020 0,105 0,063	} 0,063		

Номер			Тип дрены	К ф.	К ф. средний для створа
изучаемого района	створа	дрены		м/сутки	
II	16—16	{ 1	Открытая	0,017	0,023
		{ 2	"	0,030	
	17—17	{ 1	Открытая	0,208	0,090
		{ 2	"	0,017	
		{ 3	"	0,041	
		{ 4	"	0,032	
		{ 5	"	0,150	
	19—19	{ 1	"	0,297	0,128
		{ 2	"	0,031	
		{ 3	"	0,056	
	21—21	1	"	0,139	0,139
	22—22	{ 1	"	0,111	0,110
		{ 2	"	0,112	
		{ 3	"	0,108	
	25—25	{ 1	"	0,055	0,039
		{ 2	Закрытая	0,023	
	26—26	1	Открытая	0,173	0,173
	27—27	{ 1	Закрытая	0,006	0,340
		{ 2	Открытая	0,675	
	31—31	{ 1	"	0,028	0,023
		{ 2	"	0,019	
	33—33	1	Система закрытых дрен	0,124	0,124
	35—35	1	"	0,247	0,247

ний до удвоенной величины среднего арифметического. Таким образом, точность коэффициента фильтрации 20%, полученную по 25 точкам для I района, можно считать вполне удовлетворительной для таких условий. Подсчеты свидетельствуют о том, что для получения точности 5% при таком коэффициенте вариации нужно сделать 370 определений коэффициента фильтрации, что не может быть оправдано практически.

Сравнение средних фактических значений коэффициентов фильтрации с принятыми для расчетов (см. рис. 2) показывает, что первые значительно (в 2—10 раз) меньше, чем принятые для расчета дренажа. Этим и объясняется разница между фактическим притоком к дренам и расчетным.

Таблица 3

Расчетные значения
коэффициентов фильтрации из
формулы (4), по данным
Средазгипроводхлопка
(для открытых коллекторов)

Номер		ф, м/сутки
изучаемых районов	створа	
I	{ 12—12	0,46
	{ 14—14	0,37
II	{ 15—15	0,58
	{ 17—17	0,16
	{ 18—18	0,35
	{ 19—19	0,25
	{ 20—20	0,30

В табл. 4 приведены значения коэффициентов фильтрации, полученные при откачках и наливах в шурфах, показанных на рис. 1.

Из табл. 4 видно, что коэффициенты фильтрации, определенные откачками из шурфов, имеют тот же порядок цифр, что и в табл. 2. Диапазон колебаний тоже примерно такой же: от 0,012 до 0,312 м/сутки, т. е. крайние значения коэффициентов фильтрации различаются в 26 раз. Средние значения коэффициентов фильтрации по шурфам составили (м/сутки): II район — 0,152, I и II — 0,174. Для I района имеется только один шурф.

Т а б л и ц а 4

Коэффициенты фильтрации, определенные
в шурфах

Номер		Метод определения	K_f , м/сутки
изучаемого района	шурфа		
I	42	Откачка	0,312
	44	"	0,300
	45	"	0,077
	46	"	0,173
II	47	"	0,012
	95	"	0,120
	72	Налив по Нестерову	0,227

Коэффициент вариации K_f по II району тоже оказался довольно высоким — около 70%, а точность среднего коэффициента фильтрации стала ниже — около 30%.

Сравнивая для II района средние коэффициенты фильтрации при откачках и наливах в шурфах и коэффициенты фильтрации, полученные при изучении притока воды к дренам, можно отметить, что первые в 1,09 раза больше, а для всей территории в 1,15 раза меньше вторых.

Эти данные могут сравниваться только в первом приближении, поскольку они неравноценны: количество шурфов значительно меньше и их расположение также отличается от размещения опытных участков на коллекторно-дренажной сети. И даже в таких условиях результаты получились довольно близкие и в равной мере отличные от принятых для расчета дренажа.

На основании сказанного выше можно сделать некоторые выводы.

1. Для расчетов горизонтального дренажа в условиях конкретного объекта (хозяйства или системы) могут быть использованы только прямые определения коэффициентов фильтрации на территории этого объекта опытным путем по какому-либо из известных методов, учитывающих условия притока воды к дренам (например, откачки из шурфов или траншей).

2. Опыт показал, что для связных и слоистых грунтов коэффициент фильтрации обуславливается главным образом природными особенностями литологического сложения почво-грунтов, а не механическим составом и не преобладанием тех или иных почвенных разностей. Поэтому районирование территории по фильтрационным свойствам должно увязываться с инженерно-геологическими и почвенно-мелио-

ративными районами, однако проводиться оно должно самостоятельно на основе экспериментальных данных по коэффициентам фильтрации.

3. Если разнообразие и большой диапазон колебаний опытных данных по коэффициентам фильтрации не позволяет провести надежное районирование, то можно воспользоваться осреднением этих коэффициентов в границах хозяйства, отдельных его агроучастков и дренажных систем. Необходимое количество опытных точек при этом должно определяться коэффициентом вариации и требуемой точностью расчетов.

4. Для условий совхоза № 5 при небольшой глубине грунтовых вод (до 5 м) применение метода откачек из шурфов дало вполне удовлетворительные результаты.

Л. Л. КОРЕЛИС

ОПЫТ РАССОЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ДРЕНАЖЕМ В СОВХОЗЕ „ПАХТААРАЛ“

Совхоз „Пахтаарал“ расположен в северо-восточной части Голодной степи в зоне командования Кировского магистрального канала. Территория совхоза по почвенно-географическому положению относится к зоне светлых сероземов, которые являются как бы фоном развития других почвенных разностей неодинаковой степени засоления [1].

В последние годы по многим причинам почвенно-мелиоративное состояние совхоза заметно ухудшилось. Одна из причин этого, наряду с неблагоприятными погодными условиями, почти отсутствием дренажной сети и т. д., — широкое освоение земель, прилегающих к совхозу, которые служили до этого как бы „сухим“ дренажем.

Минерализованные грунтовые воды, подпираемые из водоносного пласта в четырех верхних отделениях совхоза, залегают в основном на глубине 1—2 м, редко—2—3 м. Уровень их стоит ниже уровня пьезометрического напора на 1,2—1,5 м во все месяцы года, за исключением декабря, января, февраля. Напорность грунтовых вод объясняется условиями питания и стока водоносного пласта [2]. Таким образом, происходит восходящий ток грунтовых вод, а растворенные в них соли концентрируются в корнеобитаемом слое почвы.

Вспышки вторичного засоления за последнее время наблюдаются повсеместно в четырех верхних отделениях совхоза и выражаются главным образом в виде солончаковых пятен размером до 0,2—0,4 га, с содержанием солей в пахотном горизонте до 1—2% от веса почвы.

В результате этого урожай хлопчатника как основной культуры в севообороте не повышается, даже падает, несмотря на улучшение прочих агротехнических мероприятий, как например, полив дождеванием и связанные с ним мелкая обработка междурядий, капитальная планировка, влагозарядные поливы и т. д. Самым урожайным годом (в среднем примерно 36,0 ц/га) в последнее время был 1959 г.

Учитывая сложившееся положение и исходя из гидрогеологических и литологических особенностей данного района, руководство совхоза по своей инициативе в 1960 г. приступило к строительству вертикального дренажа, рассчитанного на заложение 59 скважин на площади 7,5 тыс. га пахотных угодий.

Цель вертикального дренажа — получение устойчивых нисходящих токов грунтовых вод в покровных суглинках посредством понижения пьезометрических напоров в подстилающих песках откачкой из системы скважин [3]. Такие условия способствуют вымыванию пресной водой легкорастворимых солей из верхних горизонтов и созданию на

определенной глубине пресной подушки грунтовых вод, часть которых пойдет на питание сельскохозяйственных растений. Создаются условия для коренного рассоления всей толщи покровных отложений на глубину 20—25 м.

Покровные отложения представляют собой аллювиальные наносы легких и средних суглинков плавунного характера, особенно с глубины 1—12 м. Основная масса механических элементов выражена пылью с фракциями 0,1—0,05 и 0,05—0,01 мм, количество которой колеблется в пределах 65—75%. Сумма фракций физической глины доходит до 25%. И, наконец, почвенно-грунтовый скелет состоит из фракций 1,0—0,25 и 0,25—0,1 мм — меньше 1% (табл. 1). Грунты такого механического состава обладают сравнительно большим коэффициентом фильтрации (20—30 см/сутки), облегчающим промывки.

Механический состав водоносного пласта представлен главным образом мелкозернистыми песками с большим содержанием пылеватых частиц, часто перемежающихся прослойками и линзами среднего и крупного песка.

Так, например, в скважине № 22 преобладающей в водоносном горизонте является фракция 0,25—0,1 мм, количество которой равно 40—50% в интервалах глубин 44—47 и 57—59 м. Содержание частиц диаметром больше 1 мм колеблется от 15 до 40%.

Коэффициент фильтрации водоносного пласта определяется 30—40 м/сутки, что позволяет осуществлять строительство сравнительно высокодебитных скважин на 60—80 л/сек.

По характеру засоления почво-грунты относятся к хлоридно-сульфатному типу засоления с общими запасами легкорастворимых солей 800—2000 т/га по всей толще покровных отложений. Количество солей в первом метровом слое колеблется в широких пределах — от 90 до 180 т/га. Распространение их по профилю характеризуется, наряду с наличием почвенного максимума, скоплением сравнительно больших запасов солей на глубине 5—10 м.

Несмотря на то, что проект полностью не был закончен, в 1960 г. была построена и сдана в эксплуатацию первая скважина вертикального дренажа. Это помогло уточнить некоторые параметры, характерные для данных гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий, проверить ожидаемые дебиты скважины, надежность заложенных в проект конструкций фильтра скважины, устойчивость плавунных грунтов во время эксплуатации, проследить движение солевых растворов при откачке и изменение минерализации откачиваемой воды и т. д.

Скважина заложена на солончаковом пятне в центральной усадьбе совхоза. Для установления скорости рассоляющего действия вертикального дренажа мы взяли под наблюдение небольшой участок площадью 0,6 га около этой скважины, чтобы освоить солончаковое пятно. Размеры опытного участка ограничены тем, что скважина заложена в центре поселка.

На этом участке совхоз неоднократно пытался выращивать сельскохозяйственные культуры (люцерну, райграс) и древесные насаждения, применяя для этого агротехнические мероприятия. Попытки не увенчались успехом. До начала откачки грунтовые воды залегали на глубине 0,5—1,0 м, и даже в отдельные периоды года зона аэрации почти полностью отсутствовала. Засоленность верхних горизонтов почвы колебалась в широких пределах, в основном от 1 до 2%. Горизонтальная дрена, функционирующая и до настоящего времени, проходит от этого участка на расстоянии 150 м.

Механический состав почво-грунта

Глубина горизонта, м	Фракции, мм						
	1,0—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	0,001
	%						
0,0—0,2	0,19	0,57	10,84	56,56	10,32	9,08	12,44
0,2—0,4	0,11	0,44	12,31	54,34	9,05	9,82	13,33
0,4—0,6	0,07	0,44	13,34	55,43	9,98	11,31	11,43
0,6—0,8	0,13	0,35	10,76	60,28	8,28	9,93	11,27
0,8—1,0	0,11	0,49	12,10	57,61	9,29	9,86	10,54
1,0—1,2	0,16	0,45	12,23	60,42	6,34	10,18	10,22
1,2—1,4	0,06	0,27	11,73	59,87	10,54	11,07	6,46
1,4—1,6	0,09	0,39	1,25	71,95	11,25	7,80	7,27
1,6—1,8	0,06	0,33	13,24	61,54	10,38	6,34	8,08
1,8—2,0	0,07	0,32	15,34	60,80	9,70	4,40	8,77
2,0—2,5	0,01	0,22	17,04	60,96	8,77	6,54	6,46
2,5—3,0	0,03	0,27	18,15	62,30	6,75	6,30	6,10
3,0—3,5	0,04	0,21	12,53	68,52	5,98	6,50	6,22
3,5—4,0	0,04	0,26	17,53	62,58	6,83	5,33	7,43
4—5	0,03	0,26	16,69	64,11	6,87	6,18	5,86
5—6	0,01	0,14	13,43	63,31	10,83	4,04	8,24
6—7	0,06	0,14	12,09	62,46	11,96	3,84	9,45
7—8	0,04	0,13	12,57	62,66	11,19	4,52	8,89
8—9	0,03	0,19	14,62	59,71	11,43	4,73	9,29
9—10	0,07	0,26	12,62	61,65	11,59	5,37	8,44
10—11	0,11	0,29	11,60	62,18	7,80	9,62	8,40
11—12	0,02	0,20	8,84	60,32	11,31	9,25	10,06
12—13	0,05	0,24	9,27	61,97	10,18	9,81	8,48
13—14	0,01	0,22	12,32	59,22	9,77	9,33	9,13
14—15	0,07	0,32	10,91	59,79	10,74	8,36	9,81
15—16	0,06	0,20	13,90	56,97	9,50	8,40	10,97
16—17	0,01	0,09	12,40	56,18	9,99	8,97	12,31
17—18	0,09	0,11	7,78	59,71	11,55	10,22	10,54
18—19	0,03	0,12	7,88	58,82	10,78	10,90	11,47
19—20	0,07	0,35	10,64	59,20	9,59	9,42	10,73
20—21	0,09	0,23	6,92	52,28	13,94	12,97	13,57
21—22	0,06	0,38	8,13	53,21	13,66	12,12	12,44

Примечание. Анализы проводили при помощи пипетки Робинзона с предварительной химической обработкой образцов гексаметафосфатом натрия.

После годичной работы скважины — с сентября 1960 г. по сентябрь 1961 г. (эксплуатировалась почти постоянно с расходом 50—55 л/сек) — уровень грунтовых вод опустился на глубину 2—3 м. На участке была проведена планировка и за осенне-зимнее время — трех-

кратная промывка общей нормой $10 \text{ тыс. м}^3/\text{га}$. В результате этого количество солей в пахотном и подпахотном горизонтах уменьшилось в 2—3 раза. Весной 1962 г. был посеян хлопчатник и к осени выращен хороший урожай — около 27 ц/га .

С рассматриваемого участка систематически брали образцы почвогрунтов на анализ: до и после промывки, в период посева и во время вегетации. Остановимся лишь на наиболее характерных точках этого участка.

Содержание солей в верхних горизонтах до промывки было в пределах 1,0—2,0%. Вглубь это количество резко падало и на глубине 40—60 см уменьшалось до 0,2—0,3%.

На глубине 100—120 см в некоторых выработках скопление солей возрастало опять до 1%. По-видимому, в этом случае процесс вторичного засоления шел интенсивно.

Количество хлора в 2—3 раза превышало предел солеустойчивости хлопчатника и многолетних трав. Оно достигало 0,080—0,100% и более.

По характеру засоления почвы этого участка относятся к хлоридно-сульфатному типу засоления. Основной компонент в ионной части солей — ион серной кислоты (SO_4), содержание которого достигает 0,8—0,9%. Общая щелочность (HCO_3) занимает незначительное место и распределяется почти равномерно по всему профилю.

В катионной части преобладающим является натрий, приуроченный главным образом к верхним горизонтам. В количественном отношении магний и кальций незначительно уступают натрию. При этом в некоторых случаях содержание кальция увеличивается с глубиной (рисунок, выработка 8).

Что касается легкорастворимых солей, из табл. 2 видно, что весь хлор связан с натрием, хлористые соли магния и кальция, а также сода полностью отсутствуют. Преобладающими солями являются Na_2SO_4 и MgSO_4 , количество которых доходит до 0,664 и 0,345% соответственно.

Лабораторные анализы показали, что после промывок и в период сева наряду с общим смещением солей вглубь по профилю больше всего вымыты хлор и связанный с ним натрий.

В верхних горизонтах количество хлора снизилось в 3—6 раз; значительно уменьшилось содержание сульфатов натрия и магния (см. рисунок). При этом глубина смещения колебалась для разных точек и разных солей неодинаково, начиная от 40—60 до 100—120 см. Это объясняется неравномерной подачей промывных вод по всей площади участка, так как они были недоброкачественно спланированы.

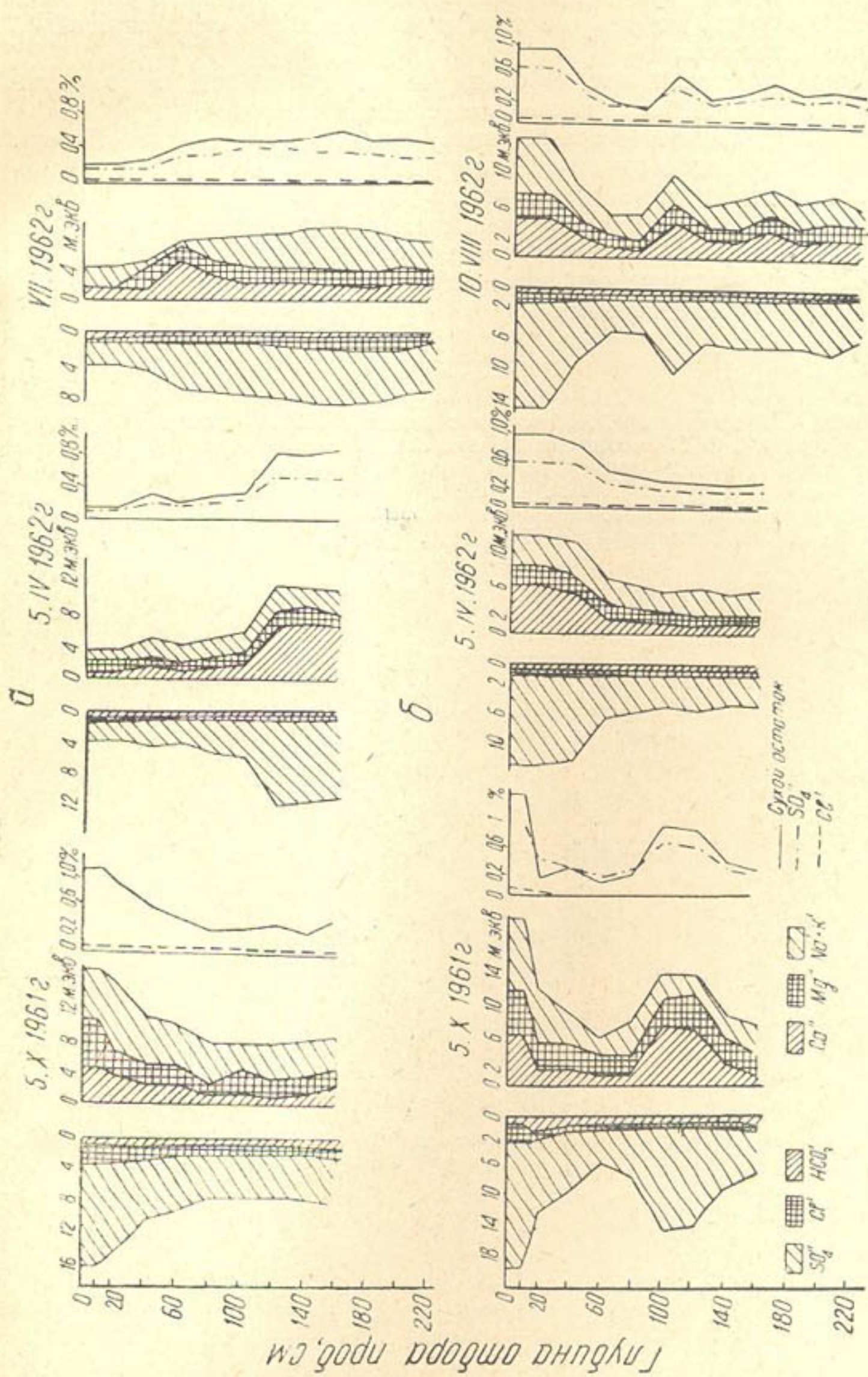
В результате промывки осредненные данные из четырех наиболее характерных точек этого участка были следующие: до промывки содержание солей на первом 20-см слое равнялось $36,4 \text{ т/га}$; на втором 20-см слое — $20,5 \text{ т/га}$; к периоду сева стало 15,3 и $17,0 \text{ т/га}$ соответственно.

Во время вегетации мы изучали процесс подтягивания солевых растворов к верхним горизонтам в связи с интенсивным испарением, с одной стороны, и работой скважины с вегетационными поливами — с другой.

В совхозе „Пахтаарал“ по многолетним материалам установлено, что „...вымытое за осенне-зимне-весенний период количество солей из верхних частей корнеобитаемого слоя почвы ежегодно к концу вегетационного периода возвращалось в исходное положение“ (М. В. Преображенская).

Состав легкорастворимых солей до и после промывки

Номер п.	Дата бурения (число, год)	Глубина го- ризонтов, см	Сухой оста- ток, %	Содержание солей, % к весу грунта							
				NaCl (+ KCl)	Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	Ca(HCO ₃) ₂	CaCl ₂	CaSO ₄ (водно- раствори- мый)
1	5. X 1961, до про- мывки	0,0—10	1,075	0,168		0,268		0,345	0,070		0,247
		10—20	0,877	0,157		0,498		0,184	0,087		0,168
		20—40	0,606	0,113		0,288		0,166	0,103		0,066
		40—60	0,432	0,103		0,230		0,153	0,081		0,084
		60—80	0,267	0,088		0,258		0,094	0,075		0,002
		80—100	0,289	0,080		0,124		0,163	0,091		0,013
		100—120	0,372	0,076		0,208		0,153	0,086		—
		120—140	0,259	0,076		0,192		0,143	0,092		0,021
		140—160	0,446	0,086		0,182		0,123	0,114	Нет	0,079
1	5. IV 1962, после про- мывки	0,0—20	0,139	0,023	нет	0,052	Нет	0,089	0,059		0,007
		20—40	0,302	0,023		0,140		0,059	0,049		0,074
		40—60	0,184	0,023		0,132		0,059	0,054		0,012
		60—80	0,269	0,023		0,146		0,069	0,054		0,057
		80—100	0,314	0,023		0,141		0,091	0,049		0,085
		100—120	0,808	0,033		0,166		0,121	0,049		0,419
		120—140	0,783	0,034		0,114		0,131	0,044		0,431
		140—160	0,841	0,034		0,167		0,103	0,049		0,398
7	5. X 1961	0,0—10	1,289	0,163		0,664		0,247	0,066		0,352
		10—20	1,287	0,032		0,520		0,307	0,054		0,371
		20—40	1,059	0,071		0,406		0,223	0,054		0,429
		40—60	0,295	0,054		0,116		0,202	0,054		0,042
		60—80	0,388	0,066		0,050	Нет	0,213	0,054		0,045
		80—100	0,307	0,059		0,126		0,613	0,054		0,086
		100—120	0,853	0,077		0,096		0,306	0,054		0,252
		120—140	0,755	0,068		—	0,015	0,223	0,049		0,189
		140—160	0,784	0,087	Нет	0,296		0,279	0,054	Нет	0,099
7	5. IV 1962	0,0—20	0,637	0,039		0,202		0,128	0,049		0,166
		20—40	0,657	0,068		0,383		0,158	0,049		0,084
		40—60	0,437	0,056		0,142		0,122	0,049		0,081
		60—80	0,473	0,051		0,172	Нет	0,141	0,044		0,089
		80—100	0,477	0,057		0,289		0,101	0,054		0,087
		100—120	0,579	0,051		0,270		0,131	0,044		0,124
		120—140	1,195	0,051		0,379		0,161	0,044		0,558
		140—160	0,804	0,057		0,209		0,151	0,044		0,319



Изменение засоленности почво-грунтов под влиянием работы вертикальной скважины на фоне трехкратных промывок.

а — выработка № 1; б — выработка № 2.

Результаты исследований работы скважины вертикального дренажа показали, что если подтягивание солей к верхним горизонтам и происходило, то незначительно, и к концу вегетации не получилось восстановления солевого профиля. Так, количество солей в пахотном горизонте 1 августа по тем же точкам равнялось 20 *т/га*, против 36 в исходном положении.

Уровень грунтовых вод к осени 1962 г. находился на глубине 3,5—4 м и очередная промывка была еще эффективнее.

Таким образом, на примере описанного опыта видно, что при годичной работе даже одной скважины вертикального дренажа в рассматриваемых почвенно-мелиоративных условиях с легкими грунтами можно приступить к коренному мелиоративному улучшению земель и даже к освоению солончаковых пятен в зоне влияния этой скважины. Естественно, что система скважин создаст еще лучшие условия для необратимого рассоления земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковда В. А., Розанов Н. А. Итоги исследования работы бригады почв, института АН СССР в совхозе „Пахтаарал“, „Почвоведение“, 1940, № 7.
 2. Барон В. А. О режиме откачек из скважин вертикального дренажа, В Сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 9, 1962.
 3. Решеткина Н. М. Гидрогеологические основы проектирования вертикального дренажа, Ташкент, АН УзССР, 1960.
-

В. А. БАРОН

ДИНАМИКА СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ В ГРУНТАХ ПРИ ОРОШЕНИИ

Практика освоения целинных земель с глубокими грунтовыми водами убедительно показывает, что в условиях жаркого климата наличие больших запасов солей в грунтах, имеющих только метровый-полуметровый опресненный слой сверху, при орошении приводит к интенсивному вторичному засолению.

Борьба с засолением ведется с помощью как периодических промывок, так и специально выбираемых режимов орошения для регулирования солевого баланса. В связи с этим приобретает исключительный интерес изучение динамики солевых растворов методом химической гидродинамики.

В основу решения подобных задач можно положить уравнение Фика, выражающее основной закон диффузии при наличии конвекции и перемещения солей фильтрационными токами воды [1]:

$$v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} + D\sigma \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) + \gamma\sigma (c_0 - c) = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (1)$$

где v_x и v_y — проекции скоростей фильтрации на оси x и y соответственно;

D — коэффициент диффузии солей;

γ — коэффициент солевого обмена;

c_0 — концентрация предельного насыщения воды солями данного состава;

σ — коэффициент пористости грунта.

Рассмотрим динамику солевого режима, которая может наблюдаться при орошении засоленного участка земли.

В принципе при пуске воды на орошаемый участок возможны три стадии фильтрации этой воды — промачивание грунта, фильтрация после смыкания оросительной воды с грунтовой и растекание бугра грунтовых вод после прекращения полива. Ниже разберем солевой режим для первой стадии фильтрации.

Предположим, что рассматриваемые грунты характеризуются однородным засолением с концентрацией c_0 почвенного раствора, образующегося при заполнении грунта водой. Тогда изменение концентрации солей в любой точке x смоченного грунта при подаче оросительной воды определится уравнением

$$-v \frac{\partial c}{\partial x} + D\sigma \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \gamma\sigma (c_0 - c) = \sigma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2)$$

с начальными и граничными условиями:

$$\left. \begin{array}{l} 1. \quad c(0, l) = c_0 \\ 2. \quad \frac{\partial c(t, l)}{\partial x} = 0 \\ 3. \quad c(t, 0) = c_2 \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где l — граница зоны промачивания, определяемая зависимостью

$$t = \frac{\sigma}{k} \left(l + h_0 \cdot \ln \frac{h_0 + l}{h_0} \right);$$

h_0 — толщина слоя воды, образуемая оросительной водой при поливе или промывке;

c_2 — концентрация оросительной воды.

Второе условие в выражении (3) следует из того, что на границе промачивания грунта скорость движения воды равна скорости движения солей.

В указанном случае скорость фильтрации выразится формулой

$$v = k \frac{h_0 + l}{l} = \sigma \frac{dl}{dt}. \quad (4)$$

Поэтому, подставляя значение v и l из уравнения (4) в уравнение (2), получаем

$$\alpha \frac{l}{h_0 + l} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{\partial c}{\partial x} + \beta \frac{l}{h_0 + l} (c_0 - c) = \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (5)$$

где

$$\alpha = \frac{D\sigma}{k}, \quad \beta = \frac{\gamma\sigma}{k}.$$

Уравнение (5) — параболического типа. Интегрирование его связано с большими трудностями. Поэтому упростим его, учитывая, что $\frac{h_0 + l}{l} \approx 1$. После упрощения будем иметь соотношение

$$\alpha \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial c}{\partial t} - \beta c = -\beta c_0. \quad (6)$$

Подобное уравнение при граничных условиях (3) решали С. Ф. Аверьянов и Цзя-да лин [2]. Воспользовавшись их решением, можно сразу записать концентрацию почвенного раствора в любой точке смоченного грунта в виде функции

$$c = c_0 - (c_0 - c_2) \exp(P_e \bar{x}) \left\{ \frac{\operatorname{sh}(1 - \bar{x}) P_e \sqrt{1 + \Pi} + \sqrt{1 + \Pi} \operatorname{ch}(1 - \bar{x}) P_e \sqrt{1 + \Pi}}{\operatorname{sh} P_e \sqrt{1 + \Pi} + \sqrt{1 + \Pi} \operatorname{ch} P_e \sqrt{1 + \Pi}} + \right. \\ \left. + 2 \exp[-(\Pi + 1) F_0 P_e] \sum_1^{\infty} \frac{\sin^2 \mu_n \sin \mu_n \bar{x} \exp(-F_0 \mu_n^2)}{(\sin \mu_n \cos \mu_n - \mu_n)(1 + \Pi \cos^2 \mu_n)} \right\}; \quad (7)$$

Здесь $P_e = \frac{lk}{2D\sigma}$ — безразмерный критерий Пекле;

$P_d = \frac{\gamma l^2}{D}$ — то же Прандтля;

$F_0 = \frac{Dt}{l^2}$ — то же Фурье;

$\Pi = \frac{P_d}{P_e^2}$ — критерий „промывки“;

μ_n — корни уравнения;

$$\operatorname{tg} \mu_n = -\frac{\mu_n}{p_e} \text{ (табулированы А. В. Лыковым [3]);}$$

$$\text{и } \bar{x} = \frac{x}{l}.$$

Анализ полученного решения показывает, что в силу не совсем точного граничного условия (1) нулевой слой грунта при соприкосновении с оросительной водой опресняется мгновенно. С этим, конечно, трудно согласиться. Поэтому рассмотрим решение уравнения (2) при новом граничном условии, предложенном Р. Беттером и освобождающем решение от указанного недостатка.

Решим уравнение (2) при начальном условии (1') и граничных условиях (2) и (3):

$$v(c - c_2) = D \frac{\partial c}{\partial x}. \quad (1')$$

В уравнении (2) перейдем к безразмерным величинам

$$n = \frac{c - c_2}{c_n - c_2}, \quad \bar{n} = \frac{c_0 - c_2}{c_n - c_2}, \quad \bar{x} = \frac{x}{l}, \quad z = \frac{D}{vl}, \quad \gamma_0 = \frac{\gamma l}{v},$$

где c_n — начальная концентрация почвенного раствора. Тогда получим

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{\partial n}{\partial x} + z \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \gamma_0 (\bar{n} - n), \quad (8)$$

и начальные и граничные условия запишутся в виде

$$n(t, 0) - \alpha \frac{\partial n(t, 0)}{\partial x} = 0, \quad (1')$$

$$\frac{\partial n(t, 1)}{\partial x} = 0, \quad (2')$$

$$n(0, x) = 1. \quad (3')$$

Применим преобразование Лапласа к уравнению (8), т. е. будем считать, что $n \doteq u$. Тогда уравнение (8) и граничные условия (2') и (3') запишутся так:

$$z \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial x} - u(\gamma_0 + p) = -1 - \frac{\gamma_0 \bar{n}}{p}, \quad (9)$$

$$u - \alpha \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad (1'')$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0. \quad (2'')$$

Решением уравнения (9) является функция

$$u = C_1 e^{\alpha_1 x} + C_2 e^{\alpha_2 x} + n_1, \quad (10)$$

где C_1 и C_2 — произвольные постоянные, определяемые из граничных условий (1'') и (2''):

$$\alpha_1 = a(1 + b); \quad \alpha_2 = a(1 - b), \quad b = \sqrt{1 + 4z(\gamma_0 + p)},$$

$$a = \frac{1}{2z}, \quad n_1 = \frac{1 - \bar{n}}{p + \gamma_0} + \frac{\bar{n}}{p},$$

$$C_1 = \frac{n_1 z_2 e^{z_2}}{2e^a [(a + \gamma_0 + p) \operatorname{sh} b + b \operatorname{ch} b]},$$

$$C_2 = \frac{n_1 z_1 e^{z_1}}{2e^a [(a + \gamma_0 + p) \operatorname{sh} b + b \operatorname{ch} b]}.$$

Подставляя C_1 и C_2 в выражение (10), получаем решение уравнения (9)

$$u = n_1 \left[1 - \frac{a \operatorname{sh} b (1-x) + b \operatorname{ch} b (1-x)}{(a + \gamma_0 + p) \operatorname{sh} b + b \operatorname{ch} b} e^{ax} \right]. \quad (11)$$

Возвращаясь к оригиналу, можно показать, что функция, определяющая концентрацию почвенного раствора, в любом слое грунта в любой момент времени имеет вид

$$\begin{aligned} n = \bar{n} + (1 - \bar{n}) e^{-\gamma_0 t} - \bar{n} \frac{a \operatorname{sh} b_0 (1-x) + b_0 \operatorname{ch} b_0 (1-x)}{(a + \gamma_0) \operatorname{sh} b_0 + b_0 \operatorname{ch} b_0} e^{ax} - \\ - (1 - \bar{n}) \frac{\operatorname{sh} a (1-x) + \operatorname{ch} a (1-x)}{\operatorname{sh} a + \operatorname{ch} a} e^{a^{x-\gamma_0 t}} - \sum_1^{\infty} \frac{\bar{n} \gamma + \lambda_k}{\lambda_k (\lambda_k + \gamma)} - \\ - \frac{a \operatorname{sh} b(\lambda) (1-x) + b(\lambda) \operatorname{ch} b(\lambda) (1-x)}{(1+a) \operatorname{sh} b(\lambda) + \frac{a + \gamma_0 + \lambda + 1}{b(\lambda)} \operatorname{ch} b(\lambda)} e^{a^{x-\lambda_k t}}, \end{aligned} \quad (12)$$

где λ_k — корни уравнения

$$\operatorname{th} a \sqrt{\theta} = - \frac{2 \sqrt{\theta}}{1 + \theta}$$

при

$$\theta = 1 + \frac{2(\gamma_0 + \lambda)}{a}.$$

Уравнение это очень легко решается графически. Корни определяются точками пересечения $\operatorname{th} \theta$ с кривой $-\frac{2\sqrt{\theta}}{1+\theta}$.

В следующей работе нами будет дано решение задачи о диффузии солей в пористой среде для второй и третьей стадии фильтрации и сопоставлены полученные решения с экспериментальным материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веригин Н. Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники, „Изв. АН СССР“, 1953, № 10.
2. Аверьянов С. Ф. Цзя-да Лин. К теории промывки засоленных почв, Доклады ТСХА, вып. 56, 1960.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности, М., ГТТИ, 1952.

СОДЕРЖАНИЕ

А. А. Рачинский, Н. М. Решеткина. Проблемы развития орошения и организация научно-исследовательских работ в области мелиорации земель	5
А. А. Рачинский. Возможность использования грунтовых вод для промывок и вегетационных поливов	18
А. А. Рачинский. Потери воды и коэффициент полезного действия оросительных систем Хорезмской области	21
Н. М. Решеткина. Основные положения проектирования вертикального дренажа на примере старой зоны орошения Голодной степи	36
Х. Якубов. Производство работ по строительству скважин вертикального дренажа	52
Г. В. Еременко, А. Усманов. Влияние вертикального дренажа на минерализацию и режим уровня грунтовых вод	73
Г. В. Еременко. Рассоление земель вертикальным дренажем в условиях Западной Ферганы	80
И. А. Енгулатов, Г. В. Еременко. Дренажный сток и методы его определения	85
З. П. Пушкарёва. Закономерность распределения запасов солей по почвенно-грунтовому профилю и их роль при освоении земель Голодной степи	95
Б. Ф. Камбаров. Эрозия почвы в связи с техникой бороздкового полива в предгорных районах Ферганской области	105
Х. А. Кадыров. Вертикальный дренаж и его роль при динамике уровня грунтовых вод	116
С. М. Паршутин. Опыт возделывания хлопчатника на такыре	124
Х. А. Аманов. Исследование водного и солевого режима почво-грунтов при близком залегании грунтовых вод в Тедженском оазисе	129
Э. И. Гринев, А. Ниязмухамедова. Применение метода контурных исследований работы дренажных систем в Голодной степи	143
Э. И. Гринев, А. Ниязмухамедова. Проверка расчетных значений коэффициентов фильтрации при изучении притока воды к дренам	159
Л. Л. Корелис. Опыт рассоления земель вертикальным дренажем в совхозе „Пахтаарал“	168
В. А. Барон. Динамика солевых растворов в грунтах при орошении	175