

# ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

*ВЫПУСК*

9

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

---

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

# ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 9

ОРОШЕНИЕ И МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

---

ТАШКЕНТ-1962

*В сборнике изложены принципы проектирования и производства планировочных работ, вопросы орошения, полива хлопчатника по удлиненным бороздам; даны результаты испытаний вертикального дренажа в Голодной степи и обобщен большой материал по гидрологическим, мелиоративным, водохозяйственным исследованиям, принципам проектирования, строительства, а также по результатам опытной эксплуатации горизонтального и вертикального дренажа; рассмотрен тепловой баланс люцернового поля.*

*Книга рассчитана на научных работников, сотрудников проектных, строительных и эксплуатационных организаций, аспирантов, преподавателей и студентов вузов, специализирующихся в области гидротехники и мелиорации.*

Ответственный редактор

кандидат технических наук

**З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ**



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Решением XXII съезда Партии намечено дальнейшее развитие орошения в республиках Средней Азии, и прежде всего в Узбекистане, поставлен ряд неотложных задач, связанных с техникой орошения и рассоления земель, которые на протяжении длительного геологического периода развития края находились под влиянием континентального соленакпления.

Подача значительных масс воды на площади нового орошения коренным образом изменит структуру их водно-солевого баланса, поэтому необходимо решить не только технические проблемы подачи воды на поле и распределения ее, но и определить условия и создать технические средства для обеспечения оптимального водно-солевого режима в корнеобитаемой зоне.

Следовательно, проблема орошения в условиях аридной зоны неразрывно связана с проблемой мелиорации засоленных земель.

Один из наиболее важных и перспективных объектов развития орошения в Средней Азии — Голодная степь. Здесь за последние годы создана индустриальная база и на ее основе начато широкое орошение и освоение целинных земель.

Институт водных проблем АН УзССР с первых дней строительства включился в это новое всенародное дело. Изучение вопросов о новой технике орошения и планировке земель, исследование работы открытого и закрытого горизонтального дренажа, а также разработка проблемы использования подземных вод на орошение и применения вертикального дренажа велись в тесном содружестве с проектными институтами и строительными организациями. Изучались принципы проектирования и производство планировочных работ на землях нового орошения в зоне Южного Голодностепского канала (Э. Л. Окулич-Козарин); исследовался полив хлопчатника по длинным бороздам в условиях применения армированной сети и гибких трубопроводов.

Специальные наблюдения и исследования проведены на опытных участках закрытого горизонтального дренажа в совхозах № 4, «Фархад» и «Дружба». При этом внимание уделено как конструкциям горизонтального дренажа, так и проверке его расчетных параметров, принятых при проектировании. Заложены специальные пьезометрические створы для дальнейших наблюдений за эффективностью дренажа. Эта работа проводится под руководством канд. техн. наук А. С. Дудкина младшими сотрудниками Э. И. Гриневым и Р. И. Паренчик при консультации канд. техн. наук П. А. Вавилова.



Развитие исследований представляет большую ценность, так как их результаты позволят своевременно проверить заложенные в проекте параметры и внести необходимые коррективы.

С 1956 г. Институт проводит исследования в области применения вертикального дренажа. Эти исследования начаты с рассмотрения общих условий применения вертикального дренажа в Голодной степи на базе обобщения всего имеющегося материала и специально поставленных теоретических исследований. В результате выделена зона аллювиального бассейна (примерно совпадающая с зоной современного орошения) как наиболее перспективная для применения вертикального дренажа, осуществлено ее районирование по производительностям и конструкциям вертикального дренажа и произведены прогнозные расчеты числа колодцев и общего количества откачек, суммарный дебит которых определен в  $39 \text{ м}^3/\text{сек}$  среднегодового расхода.

В 1959—1962 гг. построены и испытаны опытно-производственные системы вертикального дренажа в г. Гулистан (5 скважин) и совхозе «Социализм» (12), показавшие хорошее совпадение прогнозных величин с опытными.

В 1960 г. по инициативе руководства совхоза «Пахта-Арал» начаты исследования, проектирование и строительство опытно-производственной системы вертикального дренажа в четырех отделениях, находящихся в наиболее тяжелых мелиоративных условиях. В работе участвовал большой коллектив ученых Института водных проблем под руководством член-корр. АН УзССР Р. А. Алимова и канд. г.-м. наук Н. М. Решеткиной, который работал в тесном содружестве как с ведущими специалистами совхоза, так и с проектной группой Ташкентской экспедиции института «Казгипроводэлектрo» (гл. инж. А. Т. Пашенко).

При исследовании и проектировании пахтааральской опытно-производственной системы использован опыт проектирования и строительства систем в г. Гулистане и совхозе «Социализм». Это позволило более полно и глубоко разработать проект, а также более рационально в методическом отношении провести исследования.

Хотя работы по указанным вопросам далеко еще не закончены, учитывая большой интерес к ним и их практическое значение, считаем необходимым их опубликование.

Авторский коллектив будет благодарен за все критические замечания и пожелания и постарается учесть их в дальнейшей работе.

---



---

Э. Л. ОКУЛИЧ-КОЗАРИН

## ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ПЛАНИРОВОЧНЫХ РАБОТ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Вопрос о планировочных работах имеет сравнительно небольшую историю. Проработка его носила до сих пор чисто ведомственный характер, вызывая противоречия у авторов различных предложений, не объединенных общими положениями, методикой исследований и задачами народнохозяйственного значения. Возникали споры о необходимости планировки, виде проектной поверхности и наилучшей методике проектирования, а при попытках осуществления проектов — трудности и разногласия в выборе способов перенесения проектных данных в натуру, способов контроля и т. д.

Вполне понятно, что не может быть единого ответа, касающегося методики проектирования и производства планировочных работ для всего многообразия условий и рельефа. В то же время накопленный материал позволяет уже теперь сделать некоторые обобщающие выводы, которые должны быть положены в основу составления проектов и способов планировок.

Необходимость проведения планировок в крупном механизированном орошаемом хозяйстве в настоящее время бесспорна. Несомненно и то, что эти работы на засоленных целинных и залежных землях должны проводиться до начала орошения и отличаться высоким качеством, чтобы при промывке обеспечить равномерное покрытие водой всей площади участка. Попытки, например в Голодной степи, осуществить промывку неспланированных земель без устройства дренажа приводили к отрицательным результатам. Имеются основания считать также, что требования к выровненности поля при орошении дождеванием остаются почти такими же, как при поливах по бороздам.

В прошлом планировка растягивалась на длительный период и выполнялась обычно в процессе эксплуатации земель. Это задерживало освоение, повышало затраты труда при эксплуатации и затрудняло механизацию.

В настоящее время при более быстрых темпах освоения земель, новой технологии сельскохозяйственного производства требуется хорошая подготовка поверхности, особенно на землях со сложным микро-рельефом, подверженных засолению, деформациям и т. д. Поэтому планировки нельзя исключать из строительных работ по орошению, что делалось раньше, когда эти работы относились к стадии освоения; однако нельзя и задерживать темпы освоения сложными планировочными работами, требующими увеличенных капиталовложений, большого срока выполнения. Необходимо найти виды и способы планиро-



вок, соответствующие состоянию и ближайшим задачам сельскохозяйственного производства.

Все это требует нового подхода к решению задач планировки. Он должен заключаться в обобщении опыта проектирования и проведения планировочных работ, выяснении их экономической эффективности и разработке на этой основе наиболее приемлемых способов с обязательной их экспериментальной проверкой.

В связи с этим все вопросы, касающиеся планировки, можно разделить на общие — выбор проектной поверхности, типа планировки, числа этапов, организационных форм строительного выполнения и т. д.; технические — разработка методов изысканий, проектирования и производства строительных работ.

Основные положения по первой группе вопросов выдвинуты нами на Межреспубликанском совещании по планировке орошаемых земель и технике полива, состоявшемся в Фергане в сентябре 1959 г. [1]. В дальнейшем они широко обсуждались среди специалистов проектных, научных и производственных организаций в Ташкенте и получили отражение в «Положении о проведении планировочных работ на вновь осваиваемых землях Голодной степи», утвержденном Советом Министров Узбекской ССР 9 марта 1960 г.

В настоящей статье рассмотрим только технические вопросы планировок, не излагая инструктивных сведений. На основе опыта и специальных экспериментальных исследований попытаемся дать оценку наиболее распространенным методам проектирования, главным образом с точки зрения возможности их производственного выполнения. Мы надеемся, что представленный материал будет полезен для проектировщиков и строителей.

Все предложенные методы проектирования планировки различаются между собой по форме проектной поверхности, способу ее задания и подсчету объемов, размеру и форме балансовой площади.

По форме проектная поверхность может быть так называемого топографического вида, т. е. с часто изменяющимися уклонами в поперечном и продольном направлениях (А. П. Вавилов, С. М. Кривовяз, Н. П. Самсонова, С. Л. Главюк), в виде горизонтальных и наклонных плоскостей (В. М. Стец, А. А. Чурляев, И. Стулов, Ф. Н. Юрьев, В. Н. Мартенсен), системы наклонных плоскостей и полос (А. Н. Ляпин, Э. Л. Окулич-Козарин, Г. В. Цывинский, В. Я. Алещенко, А. М. Соколинский); по способу задания и подсчета объемов — по горизонталям, в числовых отметках, графически (по профилям); по балансу срезок и подсыпок — в пределах всего поливного участка или части его, площадок размером 1—3 га, ограничиваемых временной оросительной сетью или условной границей, вытянутых площадок (полос).

Упомянутые выше авторы пользуются неодинаковыми способами задания поверхности, по-разному подсчитывают и балансируют объемы.

Вопрос о методике проектирования и производства капитальных планировок продолжает еще вызывать споры в научных и производственных учреждениях. Однако в последнее время наметилось значительное сближение точек зрения. Главное объединяющее положение состоит в том, что большинство исследователей убедились в невозможности отрыва методики проектирования от существующих средств выполнения планировки. Именно производственное выполнение требуемой поверхности должно определять способ проектирования.

Но данное требование не единственное. Кроме соответствия проектной поверхности условиям техники полива, механизации сельскохозяйственных работ и минимума объемов, должно быть еще обяза-



тельное равенство проектных и действительно выполняемых объемов при достижении в натуре проектной поверхности. Недоучет этого существенного фактора может привести к большому перерасходу средств при строительстве или получению непригодной поверхности, а чаще всего к тому и другому одновременно. Причина состоит не в ошибках проектировщиков или строителей (речь идет не о грубых подсчетах), а в условностях отображения земной поверхности средствами, принятыми в инженерной практике, и неизбежных допусках при работе землеройных механизмов. К сожалению, этому вопросу часто не придается значения.

Между тем планировки и тщательные замеры, проведенные впервые А. И. Загуменным (САНИИРИ) в Голодной степи, свидетельствуют о возможности двукратного отличия проектных и действительно выполняемых объемов, что заставило его отказаться от обычного метода подсчетов по горизонталям и производства работ по оконтуриваемым на местности квадратам.

Дальнейшие исследования подтвердили небольшую степень точности съемочного материала, используемого для проектирования планировки [2—5]. Малая точность подсчета объемов земляных работ — одна из специфических и очень важных особенностей планировок, в связи с чем условность проекта планировки характерна в той или иной мере для всех методов, а точное расписание маршрутов перевозки грунта землеройными механизмами вообще невозможно.

Ясное представление о точности съемок и производства строительных работ в значительной степени определяет требования к методике проектирования.

Большинство способов проектирования основано на подсчете по центрам тяжести квадратов, при котором планируемая поверхность разбивается квадратной сеткой. Отметка в центре квадрата, полученная в результате съемки или по интерполяции горизонталей, считается средней для всей его площади. Проектные отметки после выбора типа и положения поверхности назначаются для тех же центров квадратов. Объем работ равен разности отметок (проектной и существующей), помноженной на площадь квадрата. Чаще всего сторона квадратов принимается равной 20 м, что довольно удобно, так как соответствует стандартной длине ленты, употребляемой при съемках.

Проект считается удовлетворительным, если в пределах планируемого участка (карты) достигается баланс срезок и подсыпок, а объем земляных работ приближается к минимуму, что подтверждается или сопоставлением вариантов, или видом совмещенных (проектных и существующих) горизонталей. Маршруты возки грунта показываются стрелками.

Однако опыты ИВПиГ АН УзССР<sup>1</sup> и специальные исследования кафедры геодезии Московского института инженеров землеустройства (МИИЗ) показали, что отметку, полученную в центре 20-метрового квадрата при съемке, нельзя считать в действительности средней для него, она случайна. Так же случайна и проектная отметка в любом квадрате, если она назначена проектантом вне определенной зависимости от остальных отметок.

Очевидно, при уменьшении размеров сетки квадратов можно наиболее полно отразить сложные формы земной поверхности. Если данные съемки по квадратам  $5 \times 5$  м принять за истинные, то можно определить ошибки съемок по квадратам большего размера. Ниже представлен план одногоектарной площадки, заснятой по центрам квадратов

<sup>1</sup> До 1960 г. САНИИРИ.



20 × 20 и 5 × 5 м в условиях довольно спокойного рельефа (Голодная степь, совхоз 6, участок по распределению 6-У-39). Жирные цифры показывают отметки, взятые в центрах 20-метровых квадратов, *ср.* — истинные средние; *max* и *min* — максимальные и минимальные отметки в пределах квадрата.

|                                                                    |                                                                    |                                                                    |                                                                    |                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>max</i> 4,20<br>4,08<br>●<br><i>ср.</i> 4,04<br><i>min</i> 3,89 | <i>max</i> 4,00<br>3,89<br>●<br><i>ср.</i> 3,94<br><i>min</i> 3,88 | <i>max</i> 4,09<br>3,97<br>●<br><i>ср.</i> 3,96<br><i>min</i> 3,90 | <i>max</i> 4,27<br>4,21<br>●<br><i>ср.</i> 4,18<br><i>min</i> 4,05 | <i>max</i> 4,63<br>4,50<br>●<br><i>ср.</i> 4,45<br><i>min</i> 4,30 |
| <i>max</i> 4,20<br>4,07<br>●<br><i>ср.</i> 4,08<br><i>min</i> 4,00 | <i>max</i> 4,08<br>3,92<br>●<br><i>ср.</i> 3,93<br><i>min</i> 3,85 | <i>max</i> 3,94<br>3,79<br>●<br><i>ср.</i> 3,83<br><i>min</i> 3,72 | <i>max</i> 4,14<br>3,97<br>●<br><i>ср.</i> 3,93<br><i>min</i> 3,75 | <i>max</i> 4,41<br>3,98<br>●<br><i>ср.</i> 4,04<br><i>min</i> 3,74 |
| <i>max</i> 4,31<br>4,11<br>●<br><i>ср.</i> 4,14<br><i>min</i> 4,00 | <i>max</i> 4,20<br>4,04<br>●<br><i>ср.</i> 4,02<br><i>min</i> 3,80 | <i>max</i> 4,01<br>3,70<br>●<br><i>ср.</i> 3,78<br><i>min</i> 3,67 | <i>max</i> 3,79<br>3,69<br>●<br><i>ср.</i> 3,72<br><i>min</i> 3,62 | <i>max</i> 3,95<br>3,75<br>●<br><i>ср.</i> 3,80<br><i>min</i> 3,70 |
| <i>max</i> 4,70<br>4,56<br>●<br><i>ср.</i> 4,52<br><i>min</i> 4,33 | <i>max</i> 4,53<br>4,38<br>●<br><i>ср.</i> 4,39<br><i>min</i> 4,19 | <i>max</i> 4,48<br>4,25<br>●<br><i>ср.</i> 4,27<br><i>min</i> 3,93 | <i>max</i> 4,48<br>4,11<br>●<br><i>ср.</i> 4,15<br><i>min</i> 3,83 | <i>max</i> 4,34<br>4,03<br>●<br><i>ср.</i> 4,12<br><i>min</i> 3,89 |
| <i>max</i> 4,80<br>4,72<br>●<br><i>ср.</i> 4,61<br><i>min</i> 4,66 | <i>max</i> 4,70<br>4,61<br>●<br><i>ср.</i> 4,62<br><i>min</i> 4,43 | <i>max</i> 4,71<br>4,60<br>●<br><i>ср.</i> 4,62<br><i>min</i> 4,54 | <i>max</i> 4,80<br>4,68<br>●<br><i>ср.</i> 4,67<br><i>min</i> 4,64 | <i>max</i> 4,75<br>4,61<br>●<br><i>ср.</i> 4,83<br><i>min</i> 4,42 |

Приведенные данные показывают, что истинные средние отметки квадратов со сторонами 20 × 20 м значительно отличаются от отметок, занесенных в их центры. Поэтому объем работ не может равняться точно произведению глубины срезки или высоты подсыпки на площадь квадрата.

Исследование ошибок, допускаемых при съемках поверхности земли для целей планировок, показывает, что они обуславливаются в основном влиянием мельчайшего рельефа (искусственные и естественные мелкие поверхности); обобщением элементов мезо- и микрорельефа, вследствие того что снимаемая территория не может быть покрыта сетью сплошных точек (несоответствие между отметкой, замеренной в центре квадрата, и его истинной средней); несовершенством геодезических действий (округление отсчетов, отметок, неточность установки уровня).

Величины их изучались кафедрой геодезии МИИЗ [2, 3], а также ИВПиГ АН УзССР путем постановки съемок на рельефах разных типов.



Выяснено, что средние квадратичные ошибки  $m_{н.р.}$ , обусловленные влиянием мельчайшего рельефа, изменяются в пределах  $\pm 2,7$  —  $5,1$  см в зависимости от выровненности рельефа (в среднем  $\pm 3,7$  см).

Ошибки за обобщение рельефа  $m_{о.р.}$  получены сопоставлением отметок в центрах квадратов  $20 \times 20$  м с отметками 5-метровых квадратов, разбитых в их пределах. По данным исследований ИВПиГ АН УзССР,  $m_{о.р.}$  равняется в среднем  $\pm 5,6$  см.

Средняя квадратичная ошибка, вызванная геодезическими действиями  $m_{г.д.}$  может быть принята за  $\pm 1$  см, а для всех измерений при съемках

$$m_v = \sqrt{3,7^2 + 5,6^2 + 1^2} = \pm 7,5 \text{ см.}$$

А. Н. Ляпин показывает, что предельная ошибка при подсчете объемов работ по квадратам  $20 \times 20$  м на 1 га площади может составлять

$$m = \frac{P \cdot m_v}{\sqrt{n}} = \frac{10\,000 \cdot 0,075}{\sqrt{25}} = \pm 150 \text{ м}^3/\text{га.}$$

Если сопоставить практическую точность выполнения работ землеройными механизмами с предельной ошибкой подсчета, то проектные объемы порядка  $150 \text{ м}^3/\text{га}$  в общем можно считать фиктивными. Однако это справедливо при рабочих отметках, не превышающих удвоенной величины средней квадратичной ошибки. В таких случаях целесообразно производить только выравнивание поверхности грейдерами, планировщиками и т. п.

Часто указывают на то, что точность подсчетов объема планировочных работ можно повысить, если производить их по рабочим отметкам вершин квадратов или по горизонталям (способ горизонтальных пластов).

Ю. Г. Батраков [2] постановкой специальных экспериментов и анализом результатов доказал, что точность подсчетов по рабочим отметкам вершин и по центрам квадратов практически одинакова, причем последний способ выгоднее первого по затратам времени на проектирование (они меньше в 2—2,5 раза). Между прочим, то же относится и к подсчету объемов по профилям, хотя многие считают, что суммирование «средних профилей» ближе к «истине», чем суммирование по линиям их действительного проложения.

Худшим как по точности, так и по стоимости является способ горизонтальных пластов. Попытка повысить точность подсчетов малым сечением рельефа горизонталями вызывает излишнее их нагромождение, создает ложное представление о высокой точности изображения рельефа и приводит к несоответствию изображаемого рельефа с фактическим. Ю. Г. Батраков утверждает, что проведение горизонталей сечением менее 16—18 см вообще следует считать фиктивным.

Относительные ошибки при подсчетах по квадратам  $20 \times 20$  м достигают в среднем 25%, при подсчетах по горизонталям — 33.

Таким образом, малая точность исходного топографического материала неизбежно ставит под сомнение возможность получения баланса земляных масс в натуре при формальном сведении его в проекте (что и подтверждается экспериментально). Особенно условным этот баланс становится при резких изменениях рельефа, когда постановка рейки на случайную возвышенность или впадину дает большое отклонение от истинной средней отметки данной площадки.



Тщательные поверочные замеры по квадратам  $5 \times 5$  м с зарисовкой с натуры контуров срезок и подсыпок показали, что проектные объемы, подсчитанные по случайным точкам в центрах 20-метровых квадратов, не соответствуют действительным и достичь баланса земляных масс при строительных работах практически не удастся, или, наоборот, при балансе поверхность в натуре не соответствует проекту. Иначе говоря, система квадратов, принятая для подсчета объемов и механически перенесенная в схему производства работ, не обеспечивает правильного их выполнения.

Проекты планировки, составленные методом исправления горизонталей, также не выполнимы в натуре, так как плановая маркировка зон срезок и подсыпок вследствие больших ошибок невозможна или, по меньшей мере, малоэффективна, что достаточно убедительно доказал Ю. Г. Батраков при анализе предельных ошибок в плановом положении горизонталей.

Опыты планировки земель, проведенные ИВПиГ, подтверждают большие трудности, подчас невозможность перенесения проекта в натуру по очерченным на поле квадратам и горизонталям.

В связи с этим следует указать на оригинальный способ съемки и контроля за строительством с помощью ориентированной мензулы, предложенный и проверенный А. И. Загуменным на опытных участках в Голодной степи. К сожалению, в дальнейшем опыты больше не ставились.

Казалось бы единственное средство повышения точности вычислений — уменьшение размеров сторон квадратов нивелировочной сетки, что многими авторами и рекомендуется. Однако и здесь возникают трудности в определении расчетных объемов работ.

В геодезической литературе доказывают, что для выпукло-вогнутых рельефов, к каким относится большая часть орошаемых земель, уменьшение размеров сетки квадратов при подсчетах приводит к увеличению расчетных объемов.

Таблица 1

Изменение проектных объемов планировочных работ в зависимости от размеров сетки квадратов

| Место работы                               | Характеристика рельефа | Номер делянки | Площадь, га | Проектный объем (м <sup>3</sup> ), вычисленный по квадратам |         |       |
|--------------------------------------------|------------------------|---------------|-------------|-------------------------------------------------------------|---------|-------|
|                                            |                        |               |             | 20×20 м                                                     | 10×10 м | 5×5 м |
| Колхоз им. Ленина<br>Уртасарайского района | Средняя сложность      | 8             | 1,0         | 454                                                         | 485     | 500   |
|                                            |                        | 10            | 1,0         | 382                                                         | 420     | 423   |
| Колхоз „Москва“,<br>Голодная степь         | Средняя сложность      | 7             | 2,0         | 1020                                                        | —       | 1130  |
| Колхоз „Северный<br>Маяк“                  | Очень сложный          | 20            | 1,4         | 584                                                         | 795     | 827   |
| Совхоз „Дружба“,<br>Голодная степь         | Исключительно сложный  | 12            | 1,3         | 2090                                                        | 2407    | —     |
|                                            |                        | 1             | 2,0         | 458                                                         | —       | 612   |

Исследования ИВПиГ подтверждают, что проектные объемы при уменьшении сторон сетки квадратов от 20 до 5 м последовательно увеличиваются на 30—45%, в зависимости от сложности рельефа (табл. 1): чем сложнее он, тем больше разница в объемах.



Отсюда возникают вопросы: какой же объем считать расчетным? какой объем в действительности выполняется механизмом? стоит ли идти на увеличение стоимости проектно-изыскательских работ, уменьшая размеры сетки квадратов?

Попытки строительной разбивки (показание рабочих отметок на местности) по квадратам  $10 \times 10$  м и даже  $5 \times 5$  м полностью не оправдали себя. Множество знаков и вешек мешает работе механизмов, и большинство из них после первых же проходов уничтожается. Кроме того, частые переломы уклонов проектной поверхности практически землеройными механизмами не выполняются.

Таким образом, точное выполнение проекта планировки в натуре (равенство проектных и действительных объемов, обеспечение заданной поверхности) затрудняется вследствие ошибок в подсчетах объема работ, несоответствия проектного и фактического начертаний контуров срезок и подсыпок.

Удобно, с точки зрения производства работ, проектирование по продольным профилям с перемещением грунта только вдоль вытянутых через планируемое поле полос шириной 20—30 м, заключенных между съемочными ходами.

Сторонники такого метода, заимствованного из рекомендаций Бюро мелиораций США, считают, что при подсчете работ по двум смежным ходам (профилям) исчезают все условности определения объемов, присущие способам проектирования по квадратам [6].

Так как точно вырисовать рельеф местности совершенно невозможно, съемка практически делается по точкам, разбитым через 20 м, и в силу описанных выше ошибок при определении высот точек все условности подсчета объемов остаются и для профилей. Это положение доказывается сравнительным проектированием по профилям и по квадратам.

В качестве примера несоответствия проектного и выполненного объема при планировке по методу полос приводим материалы замеров на поливном участке 11 в совхозе «Дружба» (Голодная степь).

| Номер<br>контрольного<br>участка | Проектный<br>объем, м <sup>3</sup> | Выполненный<br>объем, м <sup>3</sup> | Объем<br>доделок, м <sup>3</sup> |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1                                | $\frac{800^*}{470}$                | $\frac{711}{684}$                    | $\frac{131}{540}$                |
| 2                                | $\frac{130}{342}$                  | $\frac{367}{457}$                    | $\frac{244}{353}$                |

\* В числителе—подсыпки, в знаменателе—срезки.

Объем доделок подсчитан по разности проектных и фактических отметок после окончания планировки. Исполнительная съемка сделана не по всему участку, а лишь на части его, поэтому проектные объемы срезок и подсыпок не балансируются.

Величины отклонений (%) от проектной поверхности после окончания работ по тем же участкам следующие.

| Номер<br>участка | 0-3 см | 4-6 см | Более 7 см |
|------------------|--------|--------|------------|
| 1                | 28,5   | 25,0   | 46,5       |
| 2                | 35,3   | 23,8   | 40,9       |



Приведенные данные показывают, что работы выполнены со значительным превышением против проектных объемов. Недопустимые отклонения поверхности от заданной на 7,10 см и более охватывают половину планируемой площади. Для того чтобы довести поверхность до проекта, потребуется дополнительный перевал грунта в объеме, составляющем почти половину первоначального.

Для погашения неточности баланса работ рекомендуют на 20—30% увеличивать объемы срезок или на 10—15% высоту подсыпок. Эти цифры недостаточно обоснованы. Не следует забывать, что при геометрическом равенстве тех и других при засыпке понижений срезаемым грунтом должен образоваться бугор за счет разрыхления. При выполнении указанных рекомендаций высота бугра увеличится еще более. Запас на будущую осадку поверхности под влиянием орошения вряд ли возможен. Практика показывает, что все дополнительные насыпки почти полностью разравниваются после 2-, 3-кратного грейдерования.

Возка земли только в одном направлении не всегда выгодна. Иногда это вызывает значительное увеличение расстояния перевозок и объемов работ. Против получающейся после планировки «шиферной» поверхности возражают освоители новых земель (Центральная Фергана). Такой способ может быть оправданным лишь в случае мелко-всхолмленного рельефа с выраженным уклоном.

Метод проектирования и производства работ по продольным полосам характеризуется простой схемой передвижения механизмов и поэтому заслуживает внимания, однако целесообразность его применения в различных рельефных условиях нуждается еще в достаточном обосновании. Необходимо также найти решения, обеспечивающие правильное выполнение проектных объемов и заданную поверхность.

Какой же путь мы считаем пока более правильным?

Исследования и опыт планировки показывают, что чем больше отличается проектная поверхность от плоскости, тем сложнее строительные работы, труднее разбивка и получение фактического баланса объемов, намного осложняется контроль работ, становящийся по мере увеличения точек перегибов поверхности малоэффективным, в силу тех же условностей подсчетов объемов и допусков при работе механизмов. Поэтому для выполнения запроектированной поверхности надо создать условия, при которых баланс работ получался бы автоматически и расхождение между проектным и действительным объемами было бы минимальным.

Наилучшими в данном отношении являются методы, использующие «среднюю отметку» площадок. Иначе говоря, принципы строительного выполнения проектной поверхности должны приближаться к наиболее простому производству работ — под среднюю отметку, так как это в чистом виде применяется при планировках под горизонтальную плоскость.

При планировке под среднюю отметку легко дать указания для выполнения строительных работ в любой точке, независимо от того, совпадает ли точка с рабочей отметкой, показанной в проекте. Баланс срезок и подсыпок получается автоматически. Работы проводятся обязательно в пределах отдельных балансовых площадок (делянок). Вполне возможен привоз или вывоз грунта с делянки. Для этого средняя отметка площадки должна быть понижена или повышена.

Из всех известных методов лучший способ планировки горизонтальными площадками разработан и осуществляется с 1949 г. в совхозе «Пахта-Арал» Южно-Казахстанской области.

Укажем на характерные его особенности.



Планируемая площадь снимается в масштабе 1:2000 с набором точек примерно через 20 м. Каждая карта делится на планировочные площадки в среднем 1—2 га. Для каждой делянки подсчитывается средняя отметка. Проектирование заключается в придании делянке таких средних отметок, чтобы по заданному направлению полива они нисходили в убывающем порядке. Между делянками допускаются уступы не более 15 см.

На плане разводятся горизонтالي через 10 см и отдельными контурами выделяются срезки и подсыпки более 3 см. Расчетный объем принимается равным произведению площади контура на среднюю его высоту.

Дальность возки определяется приближенно отмером расстояния между намечаемыми глазомерно центрами тяжести основных контуров срезок и подсыпок. Никаких маршрутов возки при проектировании не устанавливается.

При производстве работ границы планировочных делянок прочерчиваются проходом скрепера со слабым заглублением ковша. Каждый тракторист работает на отдельной делянке, что ликвидирует обезличку и способствует повышению производительности труда.

Тракторист, получив план делянки с показанием контуров срезок и подсыпок, приступает к работе, перемещая основные массы грунта по кратчайшим расстояниям.

За каждой бригадой из 4—6 скреперов закрепляется десятник с нивелиром и реечник. Контроль десятник производит по требованию тракториста после того, как сделана основная, видимая на глаз, часть работы. Тракторист во время контрольного замера находится около нивелира и отмечает у себя на выкопировке из плана обнаруженные недоделки. Такой контроль обычно делается 2—3 раза, и если отклонения от заданной плоскости не превышают 3—4 см, скреперные работы заканчиваются. Грейдерование делается в два следа — вдоль и поперек. Последнее время грейдер заменен длиннобазовым планировщиком, незаменимым орудием для окончательной отделки поверхности.

Качество планировок в совхозе «Пахта-Арал» пока наилучшее по сравнению с планировками в других областях и республиках. Этому способствует отличная организация и контроль работ, а также опыт трактористов-водителей землеройных машин.

К единственному и крупному недостатку данного метода следует отнести большие объемы планировочных работ.

Метод планировки под горизонтальную плоскость можно принять лишь при очень небольших уклонах местности — 0,0004 и менее.

Столкнувшись с непреодолимыми трудностями перенесения проектов планировки в натуру, В. Н. Мертсен впервые предложил метод проектирования под среднюю отметку наклонными плоскостями-площадками, заключенными между временными оросителями и выводными бороздами [8]. Это позволило резко упростить производство работ и уменьшить объемы по сравнению с планировкой под горизонтальную плоскость. Метод широко применялся при освоении земель Кура-Араксинской низменности.

Приняв во внимание условность подсчетов по отметкам в центрах 20-метровых квадратов и допуски при строительстве, В. Н. Мартенсен опытным путем установил, что в расчетный объем скреперных работ должны включаться только срезки и подсыпки, величина которых превышает 7 см. Лишь в этом случае наблюдалось относительное равенство проектных и фактических объемов и удовлетворительное качество поверхности. Порядок строительного выполнения примерно тот же, что и в совхозе «Пахта-Арал». Инструментальный контроль вполне возмо-



жен с помощью визирок или нивелира. В последнем случае он несколько сложнее, так как отсчеты по рейке переменные. К сожалению, насколько нам известно, организация инструментального контроля при планировках земель Кура-Араксинской низменности в общем была недостаточна.

Несмотря на положительные стороны проектирования и производства работ методом Мартенсена, применять его можно не везде. При сложном рельефе орошаемых массивов Средней Азии (в отличие от земель Кура-Араксинской низменности) в некоторых случаях оказалась невыгодной планировка наклонными плоскостями, ввиду больших объемов работ.

ИВПиГ АН УзССР, используя предложения бывшего Министерства хлопководства СССР [9] и В. Н. Мартенсена, разработал метод проектирования под так называемую линейчатую поверхность. При сохранении принципа проектирования под среднюю отметку каждой 20-метровой полосы в пределах балансовой делянки придается свой постоянный уклон в направлении полива, соответствующий минимальному объему.

Полученная таким образом поверхность характеризуется прямолинейностью продольных профилей всех борозд делянки при сохранении поперечных уклонов, близких к существующей поверхности. Уступов между полосами или «шифера» не образуется, так как балансовая площадка проектируется под «среднюю отметку» и отрабатывается механизмами как единая целая поверхность. Это позволило уменьшить общие объемы при сохранении аналогии с проектированием и производством работ под горизонтальную плоскость.

Проект планировки составляется на основе съемки местности по сетке квадратов  $20 \times 20$  м. Поливной участок разбивается на балансовые делянки прямоугольной формы площадью 1—3 га (в зависимости от характера рельефа).

Положение проектной поверхности задается отметками ее крайних точек («маяков») по верхней и нижней границам делянки.

Вычисление отметок маяков основано на применении способа наименьших квадратов, что позволяет получить без подбора теоретически наименьшие объемы с одновременным балансом срезок и подсыпок [4].

Если полученная поверхность не удовлетворяет принятой технике полива (положение минимума на отдельных полосах может соответствовать обратному направлению уклона), отметкам маяков придаются новые значения, отвечающие условиям полива. Чем больше величина поправки, тем больше отличается объем от минимума.

Подробные указания по изысканиям, проектированию и производству планировочных работ по методу ИВПиГ АН УзССР излагались нами ранее [10, 11].

На рис. 1 в качестве иллюстрации приводится рабочий проект планировки одной делянки.

Строительная разбивка линейчатой поверхности сложнее, чем при планировке под горизонтальную и наклонную плоскости, так как смежные 20-метровые полосы имеют различные уклоны. Указание рабочих отметок должно делаться по каждой полосе в отдельности.

При перенесении проектов горизонтальных площадок в натуру за поверхность сравнения принимают некоторую горизонтальную плоскость, описываемую визирной осью нивелира и отстоящую от существующей поверхности на величину, равную средней отметке плюс высота инструмента. При планировке под линейчатую поверхность (с уклоном) за поверхность сравнения принимают наклонную поверхность, параллельную выбранной проектной и отстоящую от нее на среднюю вы-



соту от существующих точек. Рабочие отметки определяются разностью между высотой точки от поверхности сравнения и средней высотой (рис. 2).

| Отмет-<br>ки мар-<br>ков | 1,36    | 1,30    | 1,27    | 1,26    | 1,25    | Сумма ро-<br>боты, см | 10 же,<br>> 6 см | Объем,<br>м <sup>3</sup> | Дальность<br>возки, м |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| M-0                      | 1,38    | 1,50    | 1,34    | 1,26    | 1,29    | —                     | —                |                          |                       |
|                          | 3 1,35  | 21 1,29 | 8 1,25  | 1 1,25  | 6 1,23  | 39                    | 29               |                          |                       |
|                          | 17 1,17 | 29 0,98 | 28 0,95 | 1,26    | 8 1,12  | 82                    | 82               |                          |                       |
|                          | 1,34    | 1,27    | 1,23    | 3 1,22  | 1,20    | 4                     | —                |                          |                       |
|                          | 29 1,04 | 25 1,00 | 23 1,07 | 1,38    | 1,18    | 77                    | 77               |                          |                       |
|                          | 1,33    | 1,25    | 1,20    | 19 1,19 | 7 1,16  | 21                    | 19               | 668                      | 40                    |
|                          | 1,44    | 1,47    | 1,39    | 4 1,12  | 8 1,05  | 12                    | 8                |                          |                       |
|                          | 12 1,32 | 24 1,23 | 22 1,17 | 1,16    | 1,13    | 58                    | 58               |                          |                       |
|                          | 1,52    | 1,33    | 1,23    | 3 1,10  | 1,10    | 3                     | —                |                          |                       |
|                          | 21 1,31 | 12 1,21 | 1,14    | 1,13    | 1,10    | 42                    | 42               |                          |                       |
| M-I                      | 1,30    | 1,19    | 1,12    | 1,11    | 1,07    | 174                   | 167              | 668                      |                       |
|                          | 1,60    | 1,52    | 1,03    | 1,10    | 1,19    | 10                    | 9                |                          |                       |
|                          | 31 1,29 | 34 1,18 | 1,12    | 1,11    | 1,06    | 78                    | 78               |                          |                       |
|                          | 1,40    | 1,43    | —       | 1,11    | 5 1,05  | 5 0,99                | 10               | —                        |                       |
|                          | 13 1,27 | 26 1,17 | —       | 1,11    | 1,10    | 1,04                  | 39               | 39                       |                       |
|                          | 4 1,21  | 35 0,80 | 23 0,87 | 9 1,00  | 1,12    | 71                    | 67               |                          |                       |
|                          | 1,25    | 1,15    | 1,10    | 1,09    | 10 1,02 | 10                    | 10               |                          |                       |
|                          | 43 0,80 | 8 1,05  | 1,13    | 1,13    | —       | 1,00                  | 51               | 51                       |                       |
|                          | 1,23    | 1,13    | 4 1,09  | 5 1,08  | —       | 1,00                  | 9                | —                        |                       |
|                          | 4 1,17  | 3 1,09  | 1 1,07  | 1,14    | 1,01    | 8                     | —                |                          |                       |
| M-II                     | 1,21    | 1,12    | 1,08    | 7 1,07  | 3 0,98  | 150                   | 127              | 536                      |                       |
|                          | 1,20    | 1,11    | 1,07    | 1,06    | 0,97    | 146                   | 134              |                          |                       |
|                          |         |         |         |         |         |                       | 2 0              |                          |                       |
|                          |         |         |         |         |         |                       | 6 0              |                          |                       |

Рис. 1. Пример рабочего проекта планировки.

а—существующие отметки; б—проектные отметки; в—срезки, см; г—подсыпки, см;

1,22 — средние отметки балансовых площадок.

Для строительных разбивок можно пользоваться визирками, но лучше нивелиром, у которого поворотом подъемных винтов визирная ось трубы наклоняется параллельно проектной поверхности. Нивелир устанавливается над одним из маячных кольев, труба приводится в



наклонное положение таким образом, чтобы отсчет по рейке, стоящей на противоположном нижнем маяке, равнялся высоте инструмента от проектной поверхности.

Двигаясь в створе визирования между маяками, реечник ставит рейку на характерные точки рельефа. Разность между высотой инструмента и отсчетом по рейке определяет величину срезок или подсыпок. Показать их на местности можно откопкой или насыпкой грунта, кольями с заметками, флажками двух цветов с различной высотой подвязки. Тракторист, ориентируясь по флажкам и руководствуясь выкопировкой из проекта, срезает и перемещает грунт. Контроль работ полностью аналогичен описанному в совхозе «Пахта-Арал».

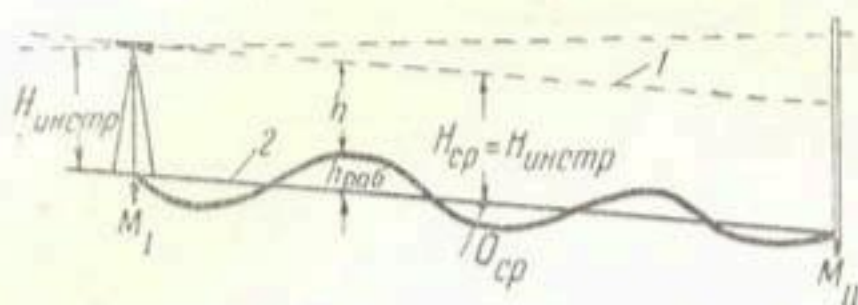


Рис. 2. Схема визирования наклонным лучом (один из способов строительной разбивки).

1—поверхность сравнения; 2—проектная поверхность.

Имеющиеся возражения о «противоестественности» использования наклона нивелира не основательны. Ленинградский государственный проектный институт «Промстройпроект», например, также считает рациональным и рекомендует использовать для строительной разбивки при планировках метод наклона трубы нивелира [12].

Как на недостаток способа проектирования под линейчатую поверхность указывают на большое количество арифметических подсчетов, что в известной мере правильно. Дальнейшее усовершенствование его с упрощениями для рельефов орошаемых земель юга Украины сделано Г. В. Цывинским (Каменско-Днепровская опытно-мелиоративная станция) [13]. Он считает, что размер балансовых площадок можно принимать стандартным, равным 1 га, а ошибки, вызванные неточностью съемки и разрывом во времени между изысканиями и производством работ, следует погашать корректировкой проекта в процессе его выполнения. Опыт планировок земель в совхозах юга Украины показал хорошие результаты.

При разработке метода проектирования под линейчатую поверхность произведены опытно-производственные исследования. Прежде всего необходимо было установить, достаточно ли количества точек, определяемых сеткой квадратов  $20 \times 20$  м, для характеристики средней отметки площадок. Для этого в различных рельефных условиях сделаны съемки одних и тех же участков по квадратам со сторонами 20, 10 и 5 м.

Обработка результатов показала, что средняя отметка по мере уменьшения квадратов уточняется в пределах 1—1,5 см (табл. 2), т. е. практически съемка квадратами  $20 \times 20$  м вполне достаточна для этой цели.

На участках планировки ставилась серия опытных замеров с целью определения проектных объемов, подсчитанных по квадратам различного размера, а также по квадратам  $20 \times 20$  м (с исключением из расчетного объема рабочих отметок до 1, 3 и 7 см); фактически выполненных



скреперами работ; качества поверхности (сопоставление проекта и исполнения); фактической производительности труда.

Таблица 2

Изменение величины средней отметки в зависимости от размера квадрата

| Место работы                              | Номер поливного участка | Номер делянки | Средняя отметка при квадратах |         |       |
|-------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|---------|-------|
|                                           |                         |               | 20×20 м                       | 10×10 м | 5×5 м |
| Колхоз „Северный Маяк“                    | 28                      | 1             | 1,29                          | 1,28    | —     |
|                                           | 28                      | 2             | 1,35                          | 1,36    | —     |
|                                           | 28                      | 3             | 1,02                          | 1,05    | —     |
|                                           | 30                      | 20            | 1,42                          | 1,42    | 1,41  |
| Колхоз им. Ленина Уртасарайского района   | 22                      | 8             | 8,87                          | —       | 8,87  |
|                                           | 22                      | 10            | 1,30                          | —       | 1,28  |
| Совхоз „Пахта-Арал“, по оросителю К-20-26 | К-4                     | 4             | 6,30                          | —       | 6,30  |
| Совхоз „Дружба“, Голодная степь           | 19                      | 6             | 4,92                          | 4,93    | —     |
|                                           | 19                      | 12            | 4,86                          | 4,89    | —     |
| Колхоз „Москва“, Голодная степь           | 1                       | 7             | 1,37                          | —       | 1,37  |

Таблица 3

Сопоставление выполненных и расчетных объемов работ

| Место опыта                             | Номер делянки | Площадь, га | Полный объем (м³), вычисленный по квадратам |         |       | Проектный объем, м³ (кв 20×20 м), без мест со срезками |         |         |         | Объемы, выполненные скреперами, м³ |
|-----------------------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------------|---------|-------|--------------------------------------------------------|---------|---------|---------|------------------------------------|
|                                         |               |             | 20×20 м                                     | 10×10 м | 5×5 м | до 1 см                                                | до 5 см | до 6 см | до 7 см |                                    |
| Колхоз им. Ленина Уртасарайского района | 8             | 1,0         | 454                                         | 485     | 500   | 454                                                    | 448     | 436     | 376     | 366                                |
|                                         | 10            | 1,0         | 382                                         | 420     | 423   | 382                                                    | 370     | 328     | 304     | 349                                |
| Совхоз „Пахта-Арал“                     | 4             | 2,0         | 830                                         | —       | —     | 830                                                    | 685     | 596     | 512     | 618                                |
| Колхоз „Северный Маяк“                  | 20            | 1,4         | 584                                         | 795     | 827   | 584                                                    | 564     | 532     | 504     | 545                                |
| Колхоз „Москва“, Голодная степь         | 7             | —           | 1020                                        | —       | —     | 1020                                                   | 1012    | 916     | 916     | 936                                |

Строительные работы осуществлялись по проектам, составленным на основе съемки по квадратам 20×20 м.

В табл. 3, 4 и 5 приводятся некоторые результаты подобной опытной проверки.



В табл. 1 уже показывалось, что проектные объемы с уменьшением размеров сетки квадратов увеличиваются. В табл. 3 для тех же опытных участков подсчитаны проектные объемы (по сетке квадратов  $20 \times 20$  м) с исключением рабочих отметок от 1 до 7 см. В графе 11 приведены выполненные объемы планировки, тщательно замеренные по профилям через 5 м. Сопоставлением данных табл. 3 установлено, что выполняемые скреперами объемы земляных работ в действительности не соответствуют истинным (за истинный условно принимаем объем, подсчитанный по квадратам  $5 \times 5$  м). Они отличаются также и от расчетного при принятой системе квадратов  $20 \times 20$  м.

Таблица 4

Величины отклонений от проектной поверхности после окончания планировки, %

| Объект планировки                              | Номер<br>делянки | Пло-<br>щадь, га | $\pm 0-3$ см | $\pm 4-7$ см | Более<br>$\pm 7$ см |
|------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|---------------------|
| Колхоз им. Ленина Уртасарайского района        | 8                | 1,0              | 44,0         | 38,0         | 18,0                |
|                                                | 10               | 1,0              | 44,0         | 36,0         | 20,0                |
| Колхоз „Москва“, Голодная степь                | 2                | 2,0              | 55,4         | 42,7         | 1,9                 |
|                                                | 5                | 2,0              | 56,7         | 28,8         | 14,5                |
|                                                | 7                | 2,0              | 49,5         | 24,0         | 26,5                |
| Колхоз „Северный Маяк“                         | 20               | 1,4              | 25,5         | 26,0         | 48,5                |
| Совхоз „Пахта-Арал“, по оросите-<br>лю К-20—26 | 4                | 2,0              | 64,2         | 27,2         | 8,6                 |
|                                                | 7                | 2,0              | 63,1         | 27,6         | 9,3                 |

Однако по материалам исполнительных нивелировок получено достаточно удовлетворительное качество поверхности (табл. 4). После снятия и перемещения скреперами основных масс грунта в пределах балансовых площадок везде, за небольшим исключением, обеспечены условия для полива по бороздам в одном направлении. На большей части площади, свыше 80%, отклонения от проектной поверхности не превышают 7 см. Попытки дальнейшего улучшения поверхности скреперами положительных результатов не дали. Скреперы, видимо, не могут произвести более «чистого» сплошного выравнивания, так как технический предел резания ножа по величине близок к средней квадратичной ошибке измерений высотных отметок поверхности земли.

Замеры по поперечникам через 5 м показывают, что скреперами, как правило, не разрабатываются неровности до 5—7 см или же это делается только при необходимости набрать объем для засыпки ближайших более глубоких понижений. Последний этап выравнивания должен производиться грейдерами или планировщиками.

Приблизительное равенство объемов, показанных в графах 9 и 11 табл. 3, позволяет предполагать, что величина практического допуска при выполнении планировочных работ скреперами лежит в пределах 5—7 см и рекомендации Н. П. Самсоновой [14] и В. Н. Мартенсена [15] об исключении из подсчета объемов работ рабочих отметок до 5—7 см не лишены оснований.

По нашим данным, эта величина составляет 6 см.

Таким образом, по отметкам центров тяжести квадратов со стороной 20 м достаточно точно устанавливается средняя отметка балансо-



вой площадки, чем обеспечивается автоматически баланс срезок и подсыпок в ее пределах без подбора. Это подтверждают и натурные замеры при производстве работ.

Проект, составленный по материалам такой съемки, может служить основанием для вычисления земляных работ и расчета со скреперистами. Переход на съемки с более частой сеткой квадратов следует считать неоправданным.

Работы, выполненные скреперами, по величине близки к расчетным, подсчитанным по отметкам в центрах 20-метровых квадратов без объемов мелких неровностей до 6 см включительно.

Составленные картограммы движения землеройных механизмов показали полную несостоятельность предварительного расписания маршрутов перевозок. Однако суммарная средневзвешенная длина перевозок на балансовой площадке примерно соответствует расчетной, принятой по расстоянию между центрами тяжести основных контуров срезок и подсыпок на плане. В практике расстояния перевозки грунта округляются до 10 м, поэтому вполне можно ограничиться выбором одного-двух расчетных расстояний между основными центрами тяжести срезок и подсыпок на балансовой площадке. Из опыта установлено, что балансовая площадка не должна превышать 2—3 га. Для скреперов с объемом ковша 2,25 м<sup>3</sup> удобнее производить работы на площадках до 1 га, для больших скреперов — 2—3 га. При правильной организации работ достигнутая производительность механизмов на планировках по балансовым площадкам отвечает требованиям норм (табл. 5).

Таблица 5

Фактическая производительность скреперов на планировке по делянкам с контролем выполнения по методу ИВПиГ АН УзССР

| Объект планировки                             | Марка скрепера | Выполненный объем, м <sup>3</sup> |         | Норма в смену, м <sup>3</sup> | Выполнение, % |
|-----------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|---------|-------------------------------|---------------|
|                                               |                | общий                             | в смену |                               |               |
| Колхоз „Северный Маяк“                        | КПУ-2000-А     | 2980                              | 142     | 85                            | 167           |
| Колхоз им. Шверника<br>Ахунбабаевского района | Д-183          | 544                               | 340     | 303                           | 112           |
| Колхоз „Кызыл Октябрь“<br>Чиназского района   | Д-183          | 1860                              | 285     | 250                           | 115           |
|                                               |                | 1240                              | 280     | 250                           | 112           |
| Совхоз „Пахта-Арал“                           | Д-222          | 1644                              | 570     | 440                           | 130           |
| Колхоз „Москва“, Голод-<br>ная степь          | Д-222          | 1944                              | 326     | 240                           | 136           |
|                                               |                | 1904                              | 418     | 340                           | 123           |

Не излагая материалов по приемам перенесения проектов в натуру, строительным разбивкам и т. п. (эти сведения содержатся в других наших работах и инструкциях, 4, 10), укажем, что контролю за качеством выполнения планировочных работ всегда должно уделяться главное внимание. Закрепление одного техника-нивелировщика за 4—6 механизмами следует считать непеременимым, так как бесконтрольность, даже при любых разбивочных знаках на поле, приводит к ухудшению качества работ и конфликтам между строителями и освоителями земель. В зарубежной литературе, в частности американской, это положение подчеркивается неоднократно.



## ВЫВОДЫ

1. Достаточной топографической основой для проектирования планировки орошаемых земель следует считать высотную съемку по центрам тяжести квадратов со стороной 20 м.

2. Проектирование в целях создания качественной поверхности для полива по бороздам и полосам в большинстве случаев должно вестись под среднюю отметку балансовых площадок размером 1—3 га по принципу проектирования горизонтальных чеков.

3. Наивыгоднейшая поверхность балансовой площадки, с точки зрения ее производственного выполнения, — наклонная плоскость или система наклонных плоскостей, вытянутых в продольном направлении и увязанных общей средней отметкой. Для обеспечения минимума работ уклоны могут назначаться аналитически или подбором, причем последнее менее желательно.

4. Достичь полного равенства проектных выполняемых объемов земляных работ невозможно ни при каких размерах нивелировочной сетки в силу неизбежных ошибок при съемке и допусков при работе землеройных механизмов.

5. Проект планировки, составленный по материалам съемки квадратами 20×20 м, является достаточным основанием для подсчета объемов и оплаты за выполненную работу. Срезки и подсыпки величиной 6 см и менее в объем скреперных работ не включаются.

6. Топографическая основа проекта не может точно отображать рельеф местности. При производстве работ необходима корректировка, достигаемая строительной разбивкой, т. е. указанием величин срезов и подсыпок на характерных точках рельефа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Окулич-Козарин Э. Л. Основные принципы проектирования и производства планировочных работ, Тезисы к докладом Совещания по планировке орошаемых земель и технике полива, изд. УзАСХН, Ташкент, 1959.
2. Батраков Ю. Г. Исследование точности съемки рельефа для составления проектов вертикальной планировки орошаемых земель, Труды МИИЗ, вып. 3, М., 1958.
3. Взуздаев С. В. К вопросу точности изображения рельефа горизонталями на планах масштаба 1:2000, Труды МИИЗ, вып. 1, М., 1954.
4. Ляпин А. Н., Окулич-Козарин Э. Л. Планировка орошаемых земель в хлопковых колхозах и совхозах, Труды САНИИРИ, вып. 93, Ташкент, 1958.
5. Окулич-Козарин Э. Л. Рациональные методы проектирования и производства планировочных работ, Ташкент, Узгосиздат, 1958.
6. Временные указания по составлению рабочих чертежей и производству планировочных работ на землях нового орошения, Узгипроводхоз, Ташкент, 1959.
7. Стулов И. «Хлопководство», 1951, № 6.
8. Мартенсен В. Н. Планировка орошаемых земель и ее организация, Баку, 1940.
9. Временная инструкция по составлению рабочих схем планировки поливных участков, М., 1952.
10. Ляпин А. Н., Окулич-Козарин Э. Л. Временная инструкция по составлению рабочих схем и производству планировочных работ на поливных участках хлопкосеющих колхозов и совхозов УзССР, Ташкент, 1955.
11. Ляпин А. Н. Материалы к техническим условиям и нормам проектирования оросительных систем, Гипроводхоз, М., 1958.
12. Поляков П. И., Селяков Л. У., Ширин С. И. Геодезические и разбивочные работы в строительстве, Л.—М., 1959.
13. Цыбинский Г. В. Планировка орошаемых площадей по средним отметкам однокотловых площадок, Сборник научно-технической информации, вып. 3, Гипроводхоз, М., 1960.
14. Самсонова Н. П. Планировка орошаемых земель, М., Сельхозгиз, 1952.
15. Мартенсен В. Н. Опыт проведения планировочных работ в Азербайджане, Сборник научно-технической информации, вып. 3, Гипроводхоз, М., 1960.



М. Д. ЧЕЛЮКАНОВ

## ОПЫТ ПОЛИВА ХЛОПЧАТНИКА ПО ДЛИННЫМ БОРОЗДАМ

В соответствии с задачами по подъему сельского хозяйства на базе дальнейшего развития индустрии в настоящее время предполагается широкое внедрение в производство механизированного полива, в том числе дождевания. Однако способы самотечного орошения пока остаются основными для превращения воды из состояния поверхностного тока в состояние почвенной влажности.

Если при орошении не учитываются особенности движения воды в почве, а способы и основные элементы техники полива назначаются эмпирически, то возможны большие потери воды и выход из оборота орошаемых земель.

Водный баланс почвы является природным процессом, он создается под влиянием климатических условий. Орошение и осушение нарушают этот процесс. Практика показывает, что орошение иногда сильно ухудшает водный баланс и делает невозможным возделывание сельскохозяйственных культур.

Регулируя при поливах глубину увлажнения и правильно распределяя воду в почве, можно избежать отрицательных последствий орошения.

Отдел орошения ИВПиГ в течение многих лет занимается изучением способов поверхностного полива. Результаты исследований показывают, что в большинстве хлопкосеющих колхозов и совхозов отсутствует правильная организация поливов в комплексе с другими механизированными работами; увеличены в 1,5—2 раза против плановых поливные и оросительные нормы; затягивается полив укрупненных участков. Это приводит к снижению эффективности работы механизмов и использования воды, увеличению затраты ручного труда и уменьшению урожайности.

Поиски новых, более совершенных и производительных способов полива — исключительно важная задача. От правильного решения ее зависит дальнейший рост урожайности хлопчатника, повышение производительности труда и более рациональное использование земель и водных ресурсов.

Считается, что увеличение длины поливной борозды способствует повышению производительности труда на поливах хлопчатника и других сельскохозяйственных культур.

В 1960—1961 гг. отдел орошения ИВПиГ проводил опыты полива по бороздам, в 2—3 раза длиннее обычных (350 м).

Полевые работы (поливы хлопчатника) осуществляли в совхозах «Фархад», «Дружба», «Дальверзин 2» на площади 128 га.



| Совхоз                                 | Площадь,<br>га | Длина борозды, м | Уклон       | Число<br>опытных<br>борозд |
|----------------------------------------|----------------|------------------|-------------|----------------------------|
| „Фархад“, распределители М-2-4 и М-2-5 | 49             | 200—330          | 0,007—0,009 | 17                         |
| „Фархад“, зона М-1                     | 25             | 350              | .           | 18                         |
| „Дружба“                               | 24             | 200—300          | 0,004—0,005 | 4                          |
| „Дальверзин 2“                         | 20             | 300              | 0,002—0,003 | 5                          |
| № 5                                    | 10             | 300              | 0,004       | 5                          |

Опыты проводились для установления наиболее выгодной длины поливных борозд, величины бороздной струи, распределения увлажнения по длине борозд и определения производительности труда.



Рис. 1. Замер воды в борозде с помощью водослива Томсона.

Основные элементы техники полива следует выбирать с таким расчетом, чтобы полив производился в установленные сроки заданной нормой воды при равномерном распределении ее по всей длине борозды.

Увлажнение борозды при определенном расходе зависит от водопроницаемости почвы (скорости поглощения воды почвой), уклона и в значительной степени продолжительности смачивания борозды.

Мы применяли в совхозах метод подбора элементов техники полива, основанный на определении фактической водопроницаемости почв по скорости продвижения воды в сухой борозде. Данный метод разработан А. Н. Ляпиным и проверен нами в ряде хозяйств.

За 2 дня до начала вегетационного полива на поливном участке выбирали 12 борозд, из каждой трех одна была опытной, а две защитные (для предохранения от растекания струи).

В голове опытной борозды устанавливался треугольный водослив (рис. 1) и поддерживался постоянный расход воды. По мере продвижения струи по борозде расходы в защитных бороздах регулировались так, чтобы скорость движения всех трех была одинаковой.

На опытной борозде через 50 м устанавливали треугольные водосливы. Момент прохождения струи по створам  $x=50, 100, 150$  м и т. д. фиксировали по часам. При достижении ею конца борозды опыт прекращался.



Кроме того, для расчета  $p_{\text{ср}}$  и  $\omega_{\text{ср}}$  определяли  $B$  — ширину зеркала воды в голове борозды в метрах (замеряли ниже водослива после того, как прекращались возможные деформации русла борозд и сечение стабилизировалось).

По полученным данным устанавливали среднюю водопроницаемость почв  $W$ , м/мин (табл. 1).

Таблица 1

| $t$ , мин.          | $x$ , м | $\frac{dx}{dt}$ , м/мин | $p_{\text{ср}}$ , м | $\omega_{\text{ср}}$ , м <sup>2</sup> | $p_{\text{ср}}x$ , м <sup>2</sup> | $\omega_{\text{ср}} \frac{dx}{dt}$ , м/мин | $W_{\text{ср}}$ , м/мин | $\lg T$ | $\lg W_{\text{ср}}$ |
|---------------------|---------|-------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|---------|---------------------|
| $q_0 = 0,153$ л/сек |         |                         |                     |                                       |                                   |                                            |                         |         |                     |
| 0                   |         |                         |                     |                                       |                                   | 0,000796                                   | 0,00145                 | 1,782   | -2,838              |
| 62                  | 50      | 0,805                   |                     |                                       | 5,95                              | 0,000261                                   | 0,00089                 | 2,279   | -3,051              |
| 190                 | 50      | 0,263                   |                     |                                       | 11,90                             | 0,000118                                   | 0,00051                 | 2,731   | -3,292              |
| 418                 | 50      | 0,119                   | 0,119               | 0,00099                               | 17,85                             | 0,000636                                   | 0,000381                | 2,891   | -3,419              |
| 778                 | 50      | 0,0646                  |                     |                                       | 23,80                             | 0,0000440                                  | 0,000304                | 3,052   | -3,517              |
| 1127                | 50      | 0,0443                  |                     |                                       | 29,75                             | 0,0000317                                  | 0,000257                | 3,195   | -3,590              |
| 1558                | 50      | 0,0321                  |                     |                                       | 35,70                             |                                            |                         |         |                     |
| $q_0 = 0,21$ л/сек  |         |                         |                     |                                       |                                   |                                            |                         |         |                     |
| 0                   |         |                         |                     |                                       |                                   | 0,00196                                    | 0,00164                 | 1,505   | -2,786              |
| 32                  | 50      | 1,560                   |                     |                                       | 6,7                               | 0,000577                                   | 0,000895                | 2,038   | -3,049              |
| 109                 | 50      | 0,459                   |                     |                                       | 13,4                              | 0,000276                                   | 0,000612                | 2,358   | -3,214              |
| 228                 | 50      | 0,219                   |                     |                                       | 20,1                              | 0,000137                                   | 0,000467                | 2,659   | -3,331              |
| 457                 | 50      | 0,109                   | 0,134               | 0,00126                               | 26,8                              | 0,0000844                                  | 0,000374                | 2,872   | -3,427              |
| 747                 | 50      | 0,067                   |                     |                                       | 33,5                              | 0,0000618                                  | 0,000310                | 3,007   | -3,509              |
| 1017                | 50      | 0,049                   |                     |                                       | 40,2                              |                                            |                         |         |                     |
| $q_0 = 0,31$ л/сек  |         |                         |                     |                                       |                                   |                                            |                         |         |                     |
| 0                   |         |                         |                     |                                       |                                   | 0,00496                                    | 0,00164                 | 1,414   | -2,786              |
| 26                  | 50      | 1,920                   |                     |                                       | 8,4                               | 0,00167                                    | 0,00102                 | 1,882   | -2,991              |
| 77                  | 50      | 0,650                   |                     |                                       | 16,8                              | 0,000928                                   | 0,000708                | 2,143   | -3,157              |
| 139                 | 50      | 0,360                   |                     |                                       | 25,2                              | 0,000680                                   | 0,000532                | 2,279   | -3,274              |
| 190                 | 50      | 0,263                   | 0,168               | 0,00258                               | 33,6                              | 0,000431                                   | 0,000428                | 2,477   | -3,368              |
| 300                 | 50      | 0,167                   |                     |                                       | 42,0                              |                                            |                         |         |                     |

Примечание. Второй полив 12 июля; совхоз „Фархад“, распределитель М-2-5.

Величины, приводимые в табл. 1, подсчитывали по следующим зависимостям:

$p_{\text{ср}} = 1,12 B - 0,009$  — смоченный периметр, м;

$\omega_{\text{ср}} = 0,471 (p_{\text{ср}} + 0,009)^2$  — живое сечение, м<sup>2</sup>;

$W_{\text{ср}} = \frac{0,06 q_0 - \omega_{\text{ср}} \frac{dx}{dt}}{p_{\text{ср}}x}$  — средняя скорость впитывания по всей борозде, м/мин.

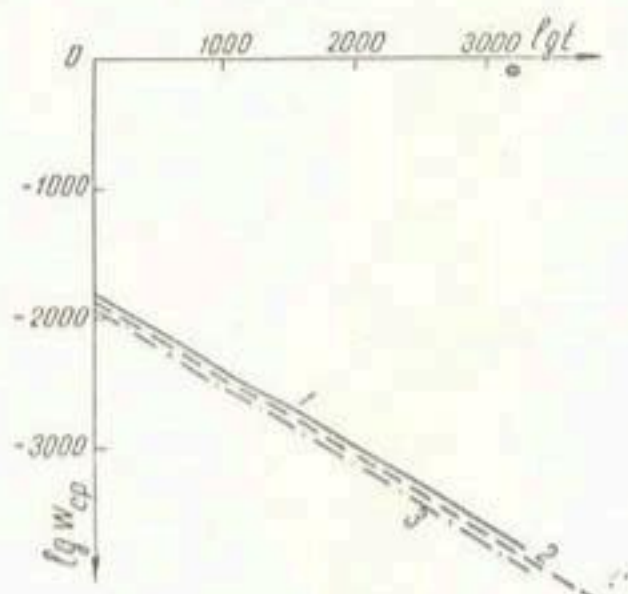
По данным табл. 1 строится график, по которому определяется фактическая величина показателя водопроницаемости  $W$ , характеризующего водопоглощающую способность почвы (рис. 2).

По найденным значениям средней скорости впитывания подсчитаны расходы в головах борозд и продолжительность подачи воды при за-



данных длинах борозд, типичных для поливного участка, по формуле

$$q_0 = \frac{9,44 W^{4,76} \left(\frac{l}{\sigma}\right)^{2,39}}{l^{0,69}} \text{ л/сек},$$



где  $q_0$  — требующийся головной расход в борозду;  
 $l$  — длина борозды, м;  
 $\sigma$  — уклон борозды.

Продолжительность подачи воды в борозду определяется из равенства

$$t = \frac{\sigma l}{60 q_0} \text{ час},$$

$$\text{где } \sigma = \frac{mb}{600}.$$

Рис. 2. Логарифмический график определения водопроницаемости почв  $W$  и  $\alpha$  по вычисленным значениям

$$\lg \beta = \alpha = 0,5; W_{cp} = \frac{W}{T^\alpha} = \frac{W}{T^{0,5}} \text{ (сов-}$$

хоз „Фархад“, распределитель М-2-5).

$$1 - \text{первый полив } (W_1 = \frac{1}{10^4} = \frac{1}{10^{1,80}} = 0,016 \text{ м/мин}),$$

$$2 - \text{второй полив } (W_2 = \frac{1}{10^{1,85}} = 0,014 \text{ м/мин}),$$

$$3 - \text{третий полив } (W_3 = \frac{1}{10^{1,92}} = 0,012 \text{ м/мин}).$$

Фактические данные водопроницаемости почв по поливам приводятся в табл. 2.

Определив основные элементы техники полива, в головы борозд устанавливали камышовые трубки или сифоны различного диаметра. Борозды выключали из полива при подходе воды к их концу, на участках с удовлетворительной планировкой допускали сброс 5—10%. Одновременно с поливом производили точный учет подаваемой на участок воды по водосливам Чиполетти. Ниже приводятся фактические поливные нормы по участкам.

| Совхоз         | Номер полива | Площадь участка, га | Длина борозды, м | Общая подача воды на участок, м <sup>3</sup> | Поливная норма, м <sup>3</sup> /га |
|----------------|--------------|---------------------|------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| „Фархад“       | 1            | 24                  | 330              | 31 648                                       | 1320                               |
|                | 2            | 24                  | 330              | 30 098                                       | 1290                               |
|                | 3            | 24                  | 330              | 27 302                                       | 1138                               |
| „Дружба“       | 1            | 25                  | 300              | 34 010                                       | 1360                               |
|                | 2            | 25                  | 300              | 32 020                                       | 1280                               |
| „Дальверзин 2“ | 2            | 24                  | 300              | 26 400                                       | 1100                               |
|                | 3            | 24                  | 300              | 26 980                                       | 1120                               |
| № 5            | 1            | 10                  | 300              | 11 700                                       | 1170                               |
|                | 2            | 10                  | 300              | 9240                                         | 924                                |
|                | 3            | 10                  | 250              | 9660                                         | 966                                |
|                | 4            | 10                  | 250              | 9500                                         | 950                                |



Таблица 2

| Совхоз                                   | Номер поли-<br>ва | Показатели<br>водопрони-<br>цаемости,<br>м/мин | Средний<br>уклон | Длина<br>поливной<br>борозды,<br>м | Расход в<br>голове бо-<br>розды,<br>л/сек | Продолжи-<br>тельность<br>полива,<br>час. |
|------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| „Фархад“,<br>центральное отд.            | 1                 | 0,016                                          | 0,0080           | 330                                | 0,25                                      | 22,0                                      |
|                                          | 2                 | 0,014                                          |                  | 330                                | 0,30                                      | 20,0                                      |
|                                          | 3                 | 0,0125                                         |                  | 330                                | 0,20                                      | 30,0                                      |
| „Дружба“,<br>центральное отд.            | 1                 | 0,014                                          | 0,0045           | 300                                | 0,20                                      | 27,5                                      |
|                                          | 2                 | 0,012                                          |                  | 300                                | 0,25                                      | 22,0                                      |
|                                          | 2*                | 0,013                                          |                  | 350                                | 0,50                                      | 26,0                                      |
| „Дальверзин 2“<br>№ 5,<br>Голодная степь | 3                 | 0,011                                          | 0,0025           | 350                                | 0,25                                      | 26,0                                      |
|                                          | 1*                | 0,022                                          |                  | 300                                | 0,50                                      | 23,0                                      |
|                                          | 2                 | 0,018                                          |                  | 300                                | 0,40                                      | 25,0                                      |
|                                          | 3                 | 0,016                                          |                  | 300                                | 0,42                                      |                                           |
|                                          | 4                 | 0,016                                          |                  | 300                                | 0,32                                      |                                           |

\* Поливы производили через борозду.

Таблица 3

| Время пода-<br>чи,<br>час. | Рас-<br>ход,<br>л/сек | Еди-<br>ница<br>изме-<br>рения | Увлажнение по отрезкам (м) борозд |        |         |         |         |         | Всего<br>подано в<br>голове<br>борозды | В том числе                                       |                                            |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                            |                       |                                | 0-50                              | 50-100 | 100-150 | 150-200 | 200-250 | 250-300 |                                        | впита-<br>лось по<br>всей дли-<br>не бороз-<br>ды | сбро-<br>шено<br>в кон-<br>це бор-<br>озды |

## Совхоз „Фархад“, первый полив через борозду

|      |      |       |      |      |     |     |     |      |       |       |      |
|------|------|-------|------|------|-----|-----|-----|------|-------|-------|------|
| 41,8 | 0,25 | м³    | 6,59 | 6,05 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 6,28 | 37,84 | 36,32 | 1,52 |
|      |      | м³/га | 1100 | 1010 | 970 | 970 | 970 | 1046 | 1050  | 1010  | 40   |

## Второй полив

|      |       |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 33,3 | 0,153 | м³    | 3,5  | 2,97 | 2,91 | 2,90 | 3,04 | 2,40 | 18,24 | 17,72 | 0,52 |
|      |       | м³/га | 1166 | 990  | 970  | 970  | 100  | 800  | 1013  | 985   | 28   |
| 26,9 | 0,209 | м³    | 3,10 | 3,19 | 2,62 | 2,91 | 4,0  | 2,48 | 21,4  | 18,30 | 3,1  |
|      |       | м³/га | 1030 | 1060 | 875  | 970  | 1330 | 830  | 1190  | 1015  | 175  |

## Третий полив

|      |       |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| 31,1 | 0,153 | м³    | 3,40 | 3,40 | 3,25 | 2,85 | 2,83 | 2,52 | 18,43 | 18,3 | 0,18 |
|      |       | м³/га | 1130 | 1130 | 1080 | 950  | 940  | 840  | 1025  | 1015 | 10   |
| 26,0 | 0,209 | м³    | 2,89 | 2,43 | 2,57 | 3,11 | 2,69 | 2,77 | 19,0  | 16,4 | 2,60 |
|      |       | м³/га | 960  | 810  | 840  | 1040 | 897  | 920  | 1055  | 910  | 145  |

## Совхоз „Дальверзин 2“, второй полив через борозду

|      |       |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 26,0 | 0,50  | м³    | 7,6  | 7,2  | 6,6  | 6,8  | 7,0  | 6,4  | 45,0  | 41,6  | 3,4  |
|      |       | м³/га | 1270 | 1200 | 1100 | 1130 | 1170 | 1070 | 1250  | 1160  | 90   |
| 30,1 | 0,376 | м³    | 7,4  | 6,9  | 6,7  | 6,6  | 6,8  | 6,4  | 40,8  | 40,8  | 0    |
|      |       | м³/га | 1230 | 1150 | 1120 | 1100 | 1130 | 1070 | 1140  | 1140  | 0    |
| 25,0 | 0,255 | м³    | 3,37 | 4,02 | 4,46 | 4,39 | 3,64 | 2,99 | 24,24 | 22,87 | 1,37 |
|      |       | м³/га | 1120 | 1340 | 1450 | 1460 | 1210 | 1000 | 1350  | 1270  | 80   |
| 24,4 | 0,31  | м³    | 4,9  | 3,8  | 5,4  | 5,8  | 3,0  | 2,90 | 27,46 | 26,10 | 1,36 |
|      |       | м³/га | 1630 | 1260 | 1800 | 1930 | 1000 | 970  | 1530  | 1450  | 80   |



Таблица 4

## Результаты полива по длинным бороздам

| Дата     | Номер поли-<br>ва | Длина<br>борозды,<br>м | Уклон  | Головной рас-<br>ход, л/сек |              | Время водопо-<br>дачи, час. |              | Поливная<br>норма сред-<br>няя, м <sup>3</sup> /га | Сб-<br>рос,<br>% | Кoeffици-<br>ент неравно-<br>мерности | Поливная<br>норма<br>$\left(\frac{max}{min}\right)$ ,<br>м <sup>3</sup> /га | Водопрони-<br>цаемость<br>почвы,<br>м/мин | Место<br>определения    |
|----------|-------------------|------------------------|--------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|----------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
|          |                   |                        |        | по рас-<br>чету             | фак-<br>тич. | по рас-<br>чету             | фак-<br>тич. |                                                    |                  |                                       |                                                                             |                                           |                         |
| 29. VII  | 1*                | 300                    | 0,0077 | 0,30                        | 0,31         | 33,3                        | 22,3         | 969                                                | 29,0             | 0,81                                  | $\frac{1046}{850}$                                                          | 0,0175                                    | Фархад*                 |
| 9. VIII  | 2                 | .                      | .      | 0,29                        | .            | 15,6                        | 17,3         | 1027                                               | 3,0              | 0,95                                  | $\frac{1106}{900}$                                                          | 0,0145                                    | Распределитель<br>М-2-4 |
| 29. VII  | 1*                | .                      | .      |                             | 0,21         |                             | 28,0         | 1180                                               | 0,4              | 0,92                                  | $\frac{1630}{1000}$                                                         | 0,0175                                    | .                       |
| 9. VIII  | 2                 | .                      | .      | 0,20                        | .            | 25,0                        | 25,1         | 1005                                               | 5,0              | 0,86                                  | $\frac{1060}{910}$                                                          | 0,0145                                    | .                       |
| 29. VII  | 1*                | .                      | .      |                             | 0,38         |                             | 22,8         | 1400                                               | 13,1             | 1,53                                  | —                                                                           |                                           | .                       |
| 9. VIII  | 2                 | 200                    | .      |                             | 0,153        |                             | 22,5         | 1030                                               | 0                | 0,67                                  |                                                                             |                                           | .                       |
| 2. VII   | 1*                | 200                    | 0,0091 | 0,14                        | .            | 47,8                        | 41,0         | 944                                                | 0                | 0,54                                  | $\frac{1130}{615}$                                                          | 0,016                                     | М-2-5                   |
| 12. VII  | 2                 | 300                    | 0,0037 |                             | .            |                             | 33,3         | 984                                                | 3,4              | 0,68                                  | $\frac{1166}{800}$                                                          | 0,014                                     | .                       |
| 18. VIII | 3                 | "                      | .      | 0,15                        | .            | 33,3                        | 31,3         | 1015                                               | 0,2              | 0,74                                  | $\frac{1130}{840}$                                                          | 0,012                                     | .                       |
| 2. VII   | 1*                | .                      | .      | 0,25                        | 0,25         | 40,0                        | 41,8         | 1011                                               | 4,0              | 0,95                                  | $\frac{1100}{970}$                                                          | 0,016                                     | .                       |
| 12. VII  | 2                 | .                      | .      | 0,20                        | 0,21         | 25,0                        | 27,0         | 1018                                               | 13,4             | 0,93                                  | $\frac{1340}{840}$                                                          | 0,014                                     | .                       |



|         |    |     |        |      |       |      |      |      |      |      |                     |       |                |
|---------|----|-----|--------|------|-------|------|------|------|------|------|---------------------|-------|----------------|
| 18.VIII | 3  | .   | .      | 0,20 | .     | 24,8 | 25,0 | 910  | 13,5 | 0,96 | $\frac{1040}{810}$  | 0,012 | .              |
| 2.VII   | 1* | 100 | .      |      | 0,1   |      |      |      |      |      |                     |       |                |
| 12.VII  | 2  | 250 | .      |      | 0,31  |      | 6,0  | 695  | 0    | 0,60 | $\frac{840}{510}$   | 0,014 | .              |
| 18.VIII | 3  | 300 | .      |      | 0,31  |      | 13,0 | 800  | 5,5  | 0,73 | $\frac{950}{700}$   | 0,012 | .              |
| 10.VII  | 1* | 200 | 0,0046 | 0,20 | 0,25  | 41,0 | 30,8 | 1100 | 4,5  | 0,84 | $\frac{1190}{1000}$ | 0,014 | „Дружба“       |
| 16.VII  | 2  | 300 | .      | 0,23 | .     | 21,8 | 26,1 | 1270 | 5,6  | 0,89 | $\frac{1480}{1000}$ | 0,012 | .              |
| 10.VII  | 1* | 250 | .      |      | 0,31  |      | 24,0 | 1670 | 6,5  | 1,42 | $\frac{2256}{1268}$ | 0,014 | .              |
| 16.VII  | 2  | 300 | 0,0047 | 0,25 | .     | 20,0 | 24,4 | 1430 | 6,0  | 0,59 | $\frac{1933}{966}$  | 0,012 | .              |
| 7.VII   | 2* | 300 | 0,0024 | 0,53 | 0,50  | 18,8 | 25,0 | 1161 | 7,6  | 0,76 | $\frac{1400}{1066}$ | 0,013 | „Дальверзин 2“ |
| 13.VIII | 3  | .   | .      | 0,37 | 0,376 | 14,0 | 22,2 | 1264 | 19,4 | 0,74 | $\frac{1470}{1070}$ | 0,011 | .              |
| 7.VII   | 2* | .   | 0,0022 | 0,40 | .     | 25,0 | 30,0 | 1132 | 0    | 0,87 | $\frac{1230}{1065}$ | 0,013 | .              |
| 13.VIII | 3  | .   | .      | 0,30 | 0,31  | 17,0 | 23,0 | 1264 | 6,8  | 0,82 | $\frac{1465}{1040}$ | 0,011 | .              |
| 13.VIII | 3  | 200 | .      |      | 0,20  |      | 22,9 | 1050 | 0    | 0,88 |                     | 0,011 | .              |

\* Поливы производили через борозду. Расчетные элементы техники полива для поливной нормы 1000 м<sup>2</sup>/га.



На контрольных участках, где полив производился по бороздам длиной 120—150 м, поливные нормы составляли 1500—1700 м<sup>3</sup>/га.

При проведении опытов замеряли фактическое увлажнение и поливные нормы по отрезкам борозд и время полива.

Из табл. 3 следует, что основные элементы техники полива, рассчитанные по формулам, большей частью совпадают с практическими, за исключением участков, где планировка в продольном направлении плохая. На этих участках происходит неравномерное распределение воды по длине борозды с большим сбросом (15—25%). Кроме того, при поливе крупной струей на землях с уклоном более 0,0080 и расходе 0,35 л/сек почвы размываются.

На опытных участках ликвидировано по одному временному оросителю, за счет которых получено увеличение поливной площади на 1,5—2,0% и повышение производительности труда в 1,8 раза (сократились затраты на opravку и замочку временных оросителей, армирование поливных борозд и регулировку).

Результаты проведенных работ на опытных участках совхоза «Фархад» даются ниже.

| Распреде-<br>литель | Участок     | Площадь,<br>га | Длина<br>борозды,<br>м | Средняя<br>поливная<br>норма,<br>м <sup>3</sup> /га | Урожай-<br>ность,<br>ц/га |
|---------------------|-------------|----------------|------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| М-2—4               | Опытный     | 25             | 300                    | 1130                                                | 16,5                      |
|                     | Контрольный | 24             | 160                    | 1690                                                | 15,0                      |
| М-2—5               | Опытный     | 24             | 330                    | 1274                                                | 21,7                      |
|                     | Контрольный | 26             | 180                    | 1580                                                | 18,0                      |

На распределителе М-2—4 урожайность меньше, так как на глубине 0,5 м залегает галечник.

Правильный подбор основных элементов техники полива на опытных участках способствовал повышению урожайности по сравнению с контролем при уменьшении поливной нормы на 20—30%. Выше приведены опытные и расчетные данные по формулам САНИИРИ (расчетные мало отличаются от опытных).

Результаты опытов можно считать удовлетворительными, если не принимать во внимание небольшие изменения уклона местности в продольном направлении, из-за которых на отдельных участках завышены поливные нормы по сравнению с плановыми на 35—40%, а величина сброса в конце борозд составила 5—9%.

Данные табл. 4 свидетельствуют о возможности применения удлиненных борозд (до 300—350 м) с некоторым увеличением поливных норм против плановых. Однако эта величина не идет ни в какое сравнение с теми громадными фактическими нормами в совхозах и колхозах, где поливные борозды 100—180 м.

Результаты полевых исследований при расчете элементов техники полива в совхозах приводятся в табл. 5.

В совхозе «Фархад», где полив осуществлялся от закрытой распределительной сети, два гидранта выключались из работы (рис. 3).

После проектирования верхней зоны машинного орошения М-3 гидранты построены через 200 м, а фактически полив произведен через 300, следовательно, один гидрант не включался в работу.

Основные элементы техники полива (длина борозды и время полива) нужно подбирать по скорости продвижения определенного количества воды по сухой борозде.



В результате применения длинных борозд (до 300 м) увеличилась производительность труда при поливе до 1,6—1,8 га в смену, производительность сельскохозяйственных машин на обработке, полезная пло-

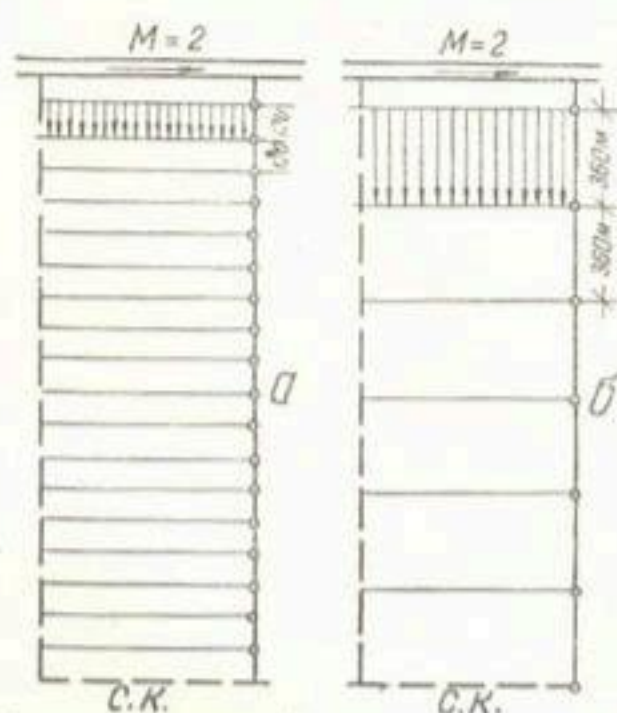


Рис. 3. Схема нарезки временных оросителей на полевых участках.  
а—спроектированные оросители, б—оросители, работавшие в 1961 г.

Таблица 5

| Уклон                   | Длина<br>борозды,<br>м | П о л и в ы              |      |                             |      |             |      |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|------|-----------------------------|------|-------------|------|
|                         |                        | первый, через<br>борозду |      | второй, в каждую<br>борозду |      | последующий |      |
|                         |                        | л/сек                    | час. | л/сек                       | час. | л/сек       | час. |
| „Ф а р х а д“           |                        |                          |      |                             |      |             |      |
| 0,0070                  | 200                    | 0,15                     | 44,0 | 0,15                        | 25,0 | 0,10        | 33,0 |
| 0,0090                  | 250                    | 0,20                     | 41,0 | 0,21                        | 19,0 | 0,15        | 28,0 |
|                         | 300                    | 0,30                     | 32,0 | 0,33                        | 15,0 | 0,23        | 21,0 |
| „Д р у ж б а“           |                        |                          |      |                             |      |             |      |
| 0,0046                  | 200                    | 0,20                     | 34,0 | 0,15                        | 22,0 | 0,15        | 22,0 |
|                         | 250                    | 0,30                     | 28,0 | 0,20                        | 16,0 | 0,20        | 16,0 |
| „Д а л ь в е р з и н 2“ |                        |                          |      |                             |      |             |      |
| 0,002                   | 200                    | 0,4                      | 16,0 | 0,3                         | 22   | 0,25        | 26,0 |
|                         | 300                    | 0,5                      | 20,0 | 0,4                         | 25   | 0,30        | 22,0 |

щадь под хлопчатником на 1,5—2,0%, а также уменьшились потери воды на фильтрацию за счет сокращения временных оросителей и капитальных затрат на строительство гидрантов и водозаборных сооружений.



Н. М. РЕШЕТКИНА

## РАЗВИТИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В УЗБЕКИСТАНЕ

Основные черты гидрогеологии Узбекистана, определяющие возможности и перспективы применения вертикального дренажа, могут быть сформулированы кратко следующим образом. Верхняя водонасыщенная толща, влияющая на мелиоративное состояние земель и аккумулирующая нередко крупные запасы пресных вод, пригодных для орошения, представлена континентальными отложениями четвертичного возраста пестрого литологического состава. Здесь формируется своеобразный верхний ярус подземных вод, гидравлически представляющий единую водонапорную систему, отделенную от нижерасположенных водоносных горизонтов мощными водоупорными толщами глин.

Характер верхнего яруса подземных вод резко различен в двух гидрогеологических зонах, приуроченных к разным геоструктурным областям.

Первая зона относится к складчатой области — это предгорные равнины, межгорные котловины и долины. Характерные черты верхнего яруса подземных вод в данной зоне — большая мощность отложений (сотни метров), преобладание в разрезах крупнообломочного материала, увеличение минерализации грунтовых вод от гор к центру депрессий и к равнине, а в них закономерное уменьшение ее вниз по разрезу и увеличение в этом же направлении напоров.

В этой зоне верхний ярус — крупный аккумулятор подземных вод, образующихся за счет притока их из горной области, инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных водотоков в краевых частях предгорных равнин, котловин, долин, сложенных галечно-щебнистым материалом.

Подземные воды в центральных равнинных частях расходуются с помощью родникового стока в зонах выклинивания, а также в некоторых случаях и подземного стока в реку, дренирующую долину или котловину. Кроме того, значительное количество их (до 50% и более) испаряется. Длительное испарение грунтовых вод, питаемых напорной фильтрацией снизу, привело к засолению земель, накоплению легкорастворимых солей в почвогрунтах и грунтовых водах, тогда как глубинные горизонты верхнего яруса подземных вод, питающие эти грунтовые воды, — пресные.

Описанные территории — наиболее перспективные для применения вертикального дренажа. Вертикальный дренаж извлечет для орошения пресные или слабоминерализованные подземные воды, ранее расходующиеся на испарение, тем самым снизит пьезометрические напоры глубинных водоносных горизонтов и создаст условия для рассо-



ления почвогрунтов и грунтовых вод под влиянием орошения и промывок.

**Вторая зона** относится к платформенной области. Это зона низменных пустынь—равновесия подземного стока и испарения, по О. К. Ланге. Она характеризуется малыми мощностями верхнего яруса подземных вод (десятки метров), отсутствием крупнообломочного материала в разрезах, общей высокой минерализацией подземных вод по всему профилю с поверхностным опреснением за счет инфильтрации поверхностных водотоков и искусственного орошения.

Применение здесь вертикального дренажа ограничено, с одной стороны, литологическими условиями (мелкозернистые грунты), с другой — невозможностью использования откачиваемых вод на орошение, так как воды соленые и дренаж должен работать на сброс. Лишь в далекой перспективе можно говорить об искусственном опреснении под влиянием дренажа и орошения и использовании опресненных вод (например, для субиригации).

В каждой зоне на основании структурно-геоморфологических и литологических признаков выделяются гидрогеологические бассейны верхнего яруса I, II и III порядков, которые с помощью вертикального дренажа в комплексе с другими мероприятиями могут быть использованы как природные подземные водохранилища. Например, выделяются такие бассейны межгорного типа, как Ферганский, Голодностепский, Зеравшанский и др. По фациально-ландшафтным признакам в них обособляются частные бассейны и потоки: по окраинам у гор пролювиально-равнинные, в центре аллювиально-равнинные. Каждый из них характеризуется специфическими гидрогеологическими чертами, определяющими цели и условия применения вертикального дренажа.

Для пролювиально-равнинных потоков характерна гидрогеологическая зональность, описанная О. К. Ланге. Вертикальный дренаж (относительно равномерно развитый по площади) перспективен в подзоне вторичного погружения зеркала грунтовых вод и его осолонения, где имеются засоленные земли, а глубинные горизонты содержат пресные воды. Кроме того, здесь возможно устройство перехватывающих рядов водозаборов ярусного типа, аналогичных частично осуществленным на р. Сох близ Коканда.

По деталям литологического строения в пределах пролювиальной равнины выделяются участки водохранилища III порядка, в строении которых принимают участие отложения, речные или сложенные суходольными фациями (временных потоков).

В первых речных участках, где в разрезах преобладают галечники и гравий, скважины вертикального дренажа будут высокодебитные (100—200 л/сек и более) и полностью могут покрывать потребность в воде для орошения на всей площади развития системы дренажа.

На пролювиальных равнинах суходольного типа, где в разрезах преобладают щебень с валунами и мелкоземом, скважины вертикального дренажа, как правило, малodeбитные (30—50 л/сек). Здесь иногда целесообразно применять комбинированную систему дренажа — горизонтальную с вертикальной, так как засоленность профиля относительно высокая, а вертикальные скорости движения воды малы.

Аллювиально-равнинные бассейны, например Голодностепский, однообразны по мощности и составу водоносной толщи. Однако в зависимости от строения, а также условий питания и стока эти бассейны очень неоднородны внутри по гидродинамике и гидрохимии. В соответствии с этими особенностями следует проектировать строительство вертикального дренажа.



В общем аллювиальные бассейны, занимая центральные части межгорных котловин и долин, представляют собой коллекторы и аккумуляторы всех подземных вод, стекающих из предгорных равнин в центр депрессий. Поэтому они обладают крупными запасами пресных подземных вод. Недостаточная дренированность рекой и слабый подземный сток в сторону приводят к тому, что значительная часть (до 50% и более) всех поступлений в эти бассейны расходуется на испарение. В результате засоляются земли, накапливаются легкорастворимые соли в покровных суглинках и грунтовых водах. Орошение, накладываясь на природный процесс накопления солей, обостряет его, хотя вместе с тем благодаря общему повышению пьезометрических напоров увеличивается сток в реку или общая дренированность бассейна.

Т а б л и ц а 1

Запасы подземных вод верхнего яруса главнейших гидрогеологических бассейнов Узбекистана

| Бассейн                                                        | $Q_{ст}$<br>млн. м <sup>3</sup> | Ежегодно<br>возобновля-<br>емые $Q_d$ |                     | $\frac{Q_d}{Q_{ст}}$ | $Q_v$ (возможный де-<br>бит вертикального<br>дренажа) |                     | $\frac{Q_v}{Q_d}$ |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                                                |                                 | млн.<br>м <sup>3</sup>                | м <sup>3</sup> /сек |                      | сотни млн. м <sup>3</sup>                             | м <sup>3</sup> /сек |                   |
| Ферганский (I порядка)                                         | 1500                            | 11 250                                | 360                 | 0,75                 | 3 800                                                 | 120                 | 0,34              |
| Голозностепский (I по-<br>рядка)                               | 210                             | 2 680                                 | 85                  | 1,27                 | 2 200                                                 | 70                  | 0,82              |
| Чирчик-Ангренский (II<br>порядка)                              | 100                             | 2 200                                 | 70                  | 2,2                  | 1 260                                                 | 40                  | 0,57              |
| Самаркандский (II по-<br>рядка) и Керменинский<br>(II порядка) | 120                             | 2 740                                 | 87                  | 2,28                 | 1 900                                                 | 60                  | 0,69              |
| Бухарский (II порядка)                                         | 40                              | 1 100                                 | 34                  | 2,7                  | 950                                                   | 30                  | 0,88              |
| Китаб-Шахрисабзский<br>(II порядка)                            | 40                              | 790                                   | 24                  | 2,0                  | 315                                                   | 20                  | 0,40              |
| Верхнесурхандарьинский<br>(II порядка)                         | 50                              | 950                                   | 30                  | 1,9                  | 630                                                   | 20                  | 0,66              |

Аллювиальные бассейны — очень перспективные объекты для развития вертикального дренажа. Дренаж, уменьшив испарение, ликвидирует здесь вынос солей в верхние слои почв и извлечет значительное количество воды на орошение.

Проектирование вертикального дренажа в пределах каждого из выделенных гидрогеологических бассейнов представляет сложное комплексное исследование, состоящее в применении в определенной последовательности ряда естественноисторических анализов и технических приемов расчета.

На материалах конкретных объектов водохозяйственного строительства при участии в работе крупных проектных институтов — Средазгипроводхлопок и Узгипроводхоз — мы разработали определенную методику исследований — метод встречных анализов.

Пользуясь этим методом, мы впервые для республики выделили крупные гидрогеологические бассейны верхнего яруса, которые могут быть использованы как природные подземные водохранилища, определили их емкость, динамические и эксплуатационные запасы подземных вод (табл. 1). Выделены наиболее перспективные районы применения



вертикального дренажа и прогнозируются конструкции, рабочие напоры и дебиты скважин (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Рабочая характеристика колодцев для вертикального дренажа и орошения подземными водами

| Район развития вертикального дренажа и орошения подземными водами | Глубина колодца, м | Рабочий напор, м | Площадь, тыс. га | Количество колодцев | Общий дебит, м <sup>3</sup> /сек | Капиталовложение, млн. руб. |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Ферганский (I порядка)                                            |                    |                  |                  |                     |                                  |                             |
| Нарын-Карадарьинский аллювиальный бассейн                         | 40—60              | 5—10             | 30               | 250                 | 20                               | 50                          |
| Сох-Исфаринский поток                                             | 150—250            | 10—15            | 30               | 360                 | 18                               | 100                         |
| Ахунбабаевский аллювиальный бассейн                               | 50—100             | 5—10             | 15               | 120                 | 10                               | 25                          |
| Голодностепский (I порядка)                                       |                    |                  |                  |                     |                                  |                             |
| Голодностепский аллювиальный бассейн                              | 60—100             | 10—15            | 60               | 400                 | 40                               | 100                         |
| Чирчик-Ангренский поток                                           | 100—300            | 10—20            | 20               | 200                 | 12                               | 40                          |
| Зеравшанский                                                      |                    |                  |                  |                     |                                  |                             |
| Самаркандский и Кермнинский бассейны                              | 40—60              | 5—10             | 40               | 300                 | 28                               | 60                          |
| Бухарский бассейн                                                 | 30—60              | 10               | 20               | 250                 | 12                               | 40                          |
| Сурхандарьинский                                                  |                    |                  |                  |                     |                                  |                             |
| Верхнесурхандарьинский                                            | 50—100             | 10—15            | 10               | 70                  | 7                                | 15                          |
| Кашкадарьинский                                                   |                    |                  |                  |                     |                                  |                             |
| Китаб-Шахрисабзский бассейн                                       | 50—100             | 10—15            | 5                | 40                  | 3                                | 10                          |
| Всего по УзССР                                                    | —                  | —                | 230              | 1900                | 150                              | 400                         |

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Проектирование систем вертикального дренажа, в целях регулирования режима подземных вод крупных естественных водохранилищ в зоне орошаемого хлопководства, должно вестись в комплексе с разработкой проектов использования водно-земельных ресурсов того или иного бассейна или крупного региона. Только в этом случае проектирование вертикального дренажа получит принципиальную научную базу и действительно выявит техническую возможность и экономическую целесообразность проектируемых мероприятий и их место в плане водохозяйственного строительства.

Примером такой проектной проработки является «Схема использования водных и земельных ресурсов бассейна р. Зеравшан» (1951—1954 гг.), выполненная при нашем участии институтом «Средазгипроводхлопок». Аналогичные проработки (также при нашем участии)



произведены для Ферганской долины инж. В. Н. Гладеем. Позднее (1955—1959 гг.) проектирование передано институту «Узгипроводхоз», который разрабатывал мелиоративные проекты для отдельных ирригационных систем. Идея мелиорации в целом не получила дальнейшего развития, а вопросы вертикального дренажа разрешались составлением проектов опытно-производственных систем на площади от 600 до 5000 га.

Несомненно, строительство опытно-производственных систем — важный и необходимый этап в развитии проектирования, однако не менее важно вести одновременно проработку проекта в целом для бассейна в соответствии с существующими формами проектирования мелиоративных мероприятий.

Работы по использованию подземных вод на орошение и водоснабжение осуществлялись Пастбищно-мелиоративно-строительным трестом, где по инициативе его директора Б. И. Соколова в 1955—1956 гг. составлен проект использования артезианских вод для сельскохозяйственного водоснабжения Кокандской группы районов в Ферганской области и в значительной части уже осуществленный. В дальнейшем трест развернул бурение скважин в других оазисах. Эта работа дала значительный положительный эффект: снабжены водой многие сельские населенные пункты, получен обширный материал о наличии подземных вод во многих, считавшихся не перспективными районах.

Однако эти работы ставили узкие цели — удовлетворение нужд сельскохозяйственного водоснабжения и лишь полученный излишек воды предполагалось использовать на орошение. Мелиоративная же сторона дела усматривалась в том, что развитие водоснабжения за счет подземных вод позволит закрывать каналы на зимний период и тем самым уменьшать питание грунтовых вод.

Одновременно большие гидрогеологические работы по заданиям проектных институтов и Министерства водного хозяйства УзССР выполняет Узбекский гидрогеологический трест, развернувший специальные исследования с целью изучения условий применения вертикального дренажа и использования подземных вод на орошение и водоснабжение в Голодной степи (Б. А. Славин, Г. Д. Антонова, М. И. Павлов и др.), в Ферганской долине (В. А. Гейиц, С. К. Инжеватова, Г. Х. Халиков, Х. М. Муминов и др.), в Бухарской области (М. Т. Бурак, Д. М. Кац, Н. М. Плутницкий и др.).

В результате этих работ основные оазисы республики оказались настолько хорошо изученными в гидрогеологическом отношении, что гидрогеологические заключения и необходимые карты для разработки схем (или проектных заданий) комплексного использования водных ресурсов республики могут быть составлены без дополнительных исследований. По изученности и разведанности эксплуатационные запасы подземных вод большинства районов республики могут быть подсчитаны по категориям «С<sub>2</sub>», а во многих случаях и «В».

Ввиду того что естественное подземное водохранилище во всех случаях представляется сложным природным образованием, проектирование систем вертикального дренажа должно быть трехстадийным: 1) проектное задание или схема со сводным сметно-финансовым расчетом; 2) технический проект со сводной сметой; 3) рабочие чертежи.

### Проектное задание или схема

«Проектное задание имеет целью выявить техническую возможность и экономическую целесообразность предполагаемого мелиоративного строительства в данном месте и в намеченные сроки, опреде-



лить размеры и размещение мелиорируемых земель, установить источники снабжения энергией и водой, основные технические решения проектируемых мероприятий, очередность проведения, способы их осуществления, общую сметную стоимость строительства и основные технико-экономические показатели» («Инструкция по составлению проектов и смет по мелиоративному строительству» (И-110—53) МСХ СССР, М., 1954).

Изученность подземных вод оазисов Узбекистана такова, что почти для всех основных районов можно составить схемы или проектные задания комплексного использования водно-земельных ресурсов с учетом применения вертикального дренажа для регулирования и эксплуатации естественных подземных водохранилищ (там, где он окажется перспективным).

Гидрогеологическое заключение должно содержать:

- 1) характеристику общего строения и емкости подземного водохранилища, т. е. расчет статических запасов подземных вод;
- 2) общую структуру баланса подземных вод, их гидрохимию и гидравлику; подсчеты динамических запасов в целом;
- 3) выделение частных бассейнов и потоков и характеристику их строения, гидрохимии, гидравлики, статических и динамических запасов;
- 4) районирование вертикального дренажа в целях ирригации, мелиорации и водоснабжения (выделение первоочередных районов);
- 5) прогнозные расчеты баланса подземных вод и подсчет эксплуатационного расхода (делаются в увязке с комплексом мелиоративных мероприятий).

Нами намечается следующий комплекс карт.

1. Карта формирования подземных вод верхнего яруса для крупных гидрогеологических бассейнов в целом. На ней выделяются области питания и расходования подземных вод, частные потоки и бассейны и их элементы с качественными и количественными характеристиками, а также гидрогеологическими балансовыми и прогнозными расчетами; оконтуриваются естественные подземные водохранилища. Карта должна сопровождаться гидрогеологическими разрезами верхнего яруса подземных вод в нескольких характерных сечениях. Материалы ее позволят определить расчетный сток дренажных вод через системы колодцев.

2. Карта перспективности применения вертикального дренажа и использования подземных вод на орошение. На ней рассматриваются условия заложения колодцев вертикального дренажа и по возможности оконтуриваются естественные водохранилища, а также дается районирование их по рекомендуемым конструкциям скважин; карта дает непосредственное указание о числе, средних дебитах, качестве откачиваемой воды и конструкциях дренажных колодцев, т. е. основные данные для сметно-финансовых расчетов. Карта сопровождается литологическими разрезами, расчетами дебитов колодцев и чертежами типовых конструкций.

3. Карта изученности подземных вод, по которой, кроме обычных данных по изученности, показываются контуры мелиоративно неблагоприятных земель и подготовленные к более детальному проектированию районы первоочередного строительства опытно-производственных систем. На ней также указываются районы, требующие проведения гидрогеологических исследований. Эта карта служит основанием планирования специальных гидрогеологических исследований, необходимых для обоснования технических проектов.



Цель технического проекта — уточнение и разработка принятых в схеме (или в проектном задании) принципиальных решений по регулированию и использованию подземных вод. Он должен содержать в соответствии с общепринятыми нормами «уточненные исходные положения проекта, полученные в результате выполнения для технического проекта дополнительных изысканий, научно-исследовательских работ и лабораторных исследований».

Если схема или проектное задание обязательно составляются для всего гидрогеологического бассейна в целом (например, для Ферганской долины), то технический проект может, в соответствии с принципиальными положениями общей схемы, разрабатываться для частных бассейнов или подземных водохранилищ в известной очередности — сначала для одного, потом для другого и т. д., в зависимости как от подготовленности исходных данных по каждому конкретному бассейну, так и от народнохозяйственного значения и потребностей.

Специальные гидрогеологические исследования должны быть направлены на детальное и всестороннее изучение конкретного естественного подземного водохранилища, регулирование и использование которого намечается в первую очередь.

Они должны 1) установить точные контуры водохранилища (в плане и профиле); 2) выявить подробное литологическое строение, используя данные как имеющихся буровых скважин, так и специально закладываемых, методы геофизической разведки, а затем методы литолого-генетического и палеогеографического анализа, путем построения палеогеографических карт и литологических разрезов и выделения наиболее перспективных для эксплуатации водоносных горизонтов; 3) охарактеризовать водоотдачу и коэффициенты фильтрации водоносных толщ, а также засоленность подземных вод и водосодержащих грунтов на всю толщу бассейна как для хорошо проницаемых пород, так и слабопроницаемых, т. е. дать исходный материал для расчета статических запасов районирования скважин вертикального дренажа по условиям их заложения, определяющим конструкции скважин; 4) установить характер (литологическое строение, водные свойства, распределение пьезометрических напоров и засоленность) «бортов» и «дна» подземного водохранилища, природные дренажные пути, а также места притока со стороны или глубинных вод через «окна» или по тектоническим разломам; 5) установить естественную гидравлику подземного водохранилища, т. е. естественное распределение напоров в толще водохранилища, а также в его «бортах» и «дне», характер их изменения во времени; определить основные направления и скорости отдельных струй и потоков, взаимоотношение этажей водоносных горизонтов в толще бассейна и влияние верхнего напорного горизонта на грунтовые воды; выяснить влияние орошения и других источников питания, а также дренирования на распределение пьезометрических напоров в толще бассейна. Все эти данные служат основанием для определения динамических и эксплуатационных запасов водохранилища, а также прогнозных расчетов регулирования (метод встречных анализов); 6) наметить участки для заложения опытно-производственных систем вертикального дренажа с таким расчетом, чтобы характеризовать разные условия в пределах бассейна.

Методом встречных анализов получено решение вопроса о регулировании подземных вод для Голодной степи. Разведочные и опытные данные позволили выделить и рассмотреть в качестве первоочередного аллювиальный бассейн подземных вод. По детальности общих гидро-



геологических съемок и обеспеченности разведочными и опытными данными эта проработка приближается к стадии технического проекта (категории запасов «В», по нашей классификации). Однако проработка сделана на основании хотя и богатого материала, но полученного при разрешении других задач, главным образом водоснабжения. Поэтому в них имеются некоторые пробелы, требующие дополнительных уточнений.

### Рабочее проектирование

Строительство опытно-производственных систем на площади в несколько тысяч гектаров — начало осуществления проекта. Для этих участков в первую очередь конкретизируются условия заложения колодцев и разрабатываются рабочие чертежи.

Проектный институт «Узгипроводхоз» разрабатывал проектные задания и рабочие чертежи только на выделенные опытные участки. Поэтому строительство вертикального дренажа «выпало» из общего плана мелиорации территории и оказалось никак с ним не связанным, как и строительство скважин для орошения. Теперь это положение выправляется, в частности разрабатывается общая схема по Голодно-степскому бассейну.

Строительство и эксплуатация опытно-производственных систем вертикального дренажа сопровождаются специальными наблюдениями и исследованиями с целью а) проверки методов расчета, числа, дебита и размещения скважин в системе; б) проверки и уточнения принятых в расчетах параметров (коэффициентов фильтрации, радиусов влияния, удельных дебитов и других величин); в) испытания конструкции дренажных колодцев, особенно их фильтров, разработки новых конструкций и способов устройства, в частности гравийных фильтров, в условиях мелкозернистых песков; г) выбора и испытания насосно-силового оборудования и схемы электроснабжения, автоматизации и телеуправления; д) разработки технических условий эксплуатации скважин; е) решения вопросов, связанных с использованием откачиваемой воды на орошение; ж) установления мелиоративного эффекта и определения продолжительности «мелиоративного периода» работы системы вертикального дренажа и в связи с этим установления оптимального режима откачек.

Основные элементы рабочего проектирования, а также некоторые результаты исследований в процессе строительства показаны на примере Мирзачульской опытно-производственной системы вертикального дренажа (Н. М. Решеткина, Х. Якубов и др., 1959 г.).

Таким образом, как для технического проекта, так и для составления «рабочих чертежей» необходимы специальные гидрогеологические исследования.

Спецификой гидрогеологических исследований должно быть стремление к равномерному изучению всего гидрогеологического бассейна в целом, а не отдельных водоносных горизонтов, как это делалось до последнего времени.

Поэтому при комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических съемках необходимо ставить разведочное гидрогеологическое бурение на всю толщу бассейна и таким образом, чтобы (с учетом имеющихся данных) подробно характеризовать его строение и гидравлику.

Гидрогеологические наблюдения на скважинах надо значительно расширить, включив в область подробных исследований не только «водоносные», т. е. обладающие хорошей водоотдачей пласты, но и разде-



ляющие их слабопроницаемые комплексы. Последние надо изучить как с точки зрения водных свойств, так и солености.

Для изучения распределения напоров, взаимодействия отдельных водоносных пластов, а также роли естественных и искусственных дренажных путей должна быть заложена специальная стационарная сеть наблюдательных кустов пьезометров. Ввиду того что эта сеть в дальнейшем поможет контролировать работу системы вертикального дренажа как в мелиоративный период, так и в эксплуатационный, она должна быть выполнена с учетом долговременной работы, на поверхности снабжена специальным защитным устройством, в котором устанавливаются автоматические самописцы. В дальнейшем кусты могут быть соединены линиями телеуправления с диспетчерского пункта.

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

### Механизм действия колодца и системы колодцев

Некоторые специалисты представляют, что вертикальный дренаж отличается от горизонтального не только конструкцией, но и тем, что якобы обуславливает принципиально иную, отличную схему взаимодействия между грунтовой водой и корнеобитаемой зоной, что при нем обязательно глубокое опускание зеркала грунтовых вод и что в связи с этим растения не смогут получать дополнительного питания за счет грунтовых вод, а поэтому потребуются увеличить оросительные нормы, пропускную способность каналов и т. д. и т. п., т. е. применение вертикального дренажа связано с коренными изменениями самой системы питания растений.

Мы считаем эту точку зрения совершенно неверной, основанной, видимо, на аналогии с опытом работы водопонижительных установок, а также, возможно, совсем для нас не показательным в этом отношении опытом применения вертикального дренажа в США.

Любая скважина (или колодец), из которой происходит естественный или искусственный сток подземной воды, представляет собой для данного водоносного пласта или бассейна вертикальную дренаж. При этом чем больше расход воды данной скважины, тем выше ее дренажное значение. Однако далеко не каждая скважина является дренажем в мелиоративном смысле слова. Только отбор воды в колодцах, питающихся из водоносных горизонтов, достаточно связанных с верхними слоями грунтовых вод, вызывает понижение их уровня вокруг скважины или депрессионную воронку, при откачке воды из группы колодцев происходит районная депрессия уровня грунтовых вод, которая тем сильнее, чем интенсивнее откачка.

На этих особенностях работы колодцев основан широко распространенный прием искусственного понижения уровня подземных (грунтовых или напорных) вод в целях осушения строительных площадок и котлованов, а также месторождений полезных ископаемых (И. П. Куцакин, 1931, 1935 гг.; С. К. Абрамов, 1946, 1951, 1955, 1957 гг.; В. И. Арапов и С. Н. Нумеров, 1955 г.; П. П. Аргунов, 1950 г.).

В принципе вся водопонижительная установка представляет собой единый мощный пункт забора подземных вод, состоящий из системы взаимодействующих скважин, расположенных по замкнутому контуру и образующих обширную воронку депрессии в какой-то части потока или бассейна подземных вод. При этом внутри контура осушения технически можно достигнуть любого заданного понижения уровня грунтовых вод. Так, под котлованом Куйбышевской ГЭС он понижен более чем на 70 м.



Для поддержания такого понижения требуется, чтобы колодцы в водопонижительной установке работали все время во взаимодействии. Обычно участок, на котором понижаются грунтовые воды, по сравнению с территорией всего бассейна настолько мал, а возможное питание их непосредственно на его территории так ничтожно, что им без особого ущерба для точности расчета можно пренебречь. Главное же питание колодцев происходит по наружному контуру установки. Такова схема притока, положенная в основу расчетов взаимодействия группы скважин (Кусакин, 1935 г.; Ф. Форхгеймер, 1931, 1935 гг.; Г. Б. Пыхачев, 1948 г.; М. Маскет, 1952 г.; И. А. Чарный, 1956 г.).

Совсем иная картина наблюдается при работе колодцев вертикального дренажа в целях мелиорации засоленных земель на обширных орошаемых массивах. В данном случае не требуется больших понижений зеркала грунтовых вод. На мелиорируемой территории, площадь которой измеряется десятками и сотнями тысяч гектаров, т. е. соразмерна с площадью развития бассейна подземных вод, необходимо в первый «мелиоративный» период интенсивной откачкой понизить напор в подстилающих дренирующих слоях, опустить уровень соленых грунтовых вод на 3—5 м и тем самым создать благоприятные условия для нисходящих вертикальных токов в покровной толще и быстрого рассоления почвогрунтов и верхних слоев грунтовых вод под влиянием орошения и промывок. В дальнейшем в эксплуатационный период интенсивность откачки может быть уменьшена. Она должна быть такой, чтобы обеспечить устойчивый оптимальный водно-солевой режим в корнеобитаемом слое почв и использовать пресные грунтовые воды на орошение.

По идее В. А. Ковды, оптимальным, с точки зрения плодородия почв, является луговой режим, требующий близкого залегания пресных грунтовых вод. Создание и поддержание такого режима возможно во второй период работы дренажа — эксплуатационный, после рассоления почвогрунтов и грунтовых вод на глубину 5—10 м. Вертикальный дренаж, создавая большие нисходящие вертикальные скорости фильтрации, позволяет сократить первый мелиоративный период. Если, как показал опыт, для рассоления почвогрунтов и грунтовых вод на глубину 5—10 м с помощью горизонтального дренажа нужны десятки лет (по В. А. Ковде, 20—30), то тех же результатов с помощью вертикального дренажа можно добиться за более короткий период (пропорционально увеличению градиентов и вертикальной скорости фильтрации).

Откачка ведется из глубоких дренирующих слоев, обеспечивающих большое «боковое» действие колодца или обширное понижение пьезометрических напоров в дренирующих пластах. Следствие этого — возникновение нисходящих токов фильтрации в верхних слоях почвогрунтов и тенденция грунтовых вод к понижению.

Если бы грунтовые воды не получали питания сверху, произошло бы снижение их до пьезометрического уровня напорного пласта, из которого ведется откачка. Однако благодаря постоянной инфильтрации оросительных вод и осадков уровень грунтовых вод находится всегда выше пьезометрической поверхности напорного пласта, а обусловленная этим разность напоров способствует непрерывному рассолению верхней толщи почвогрунтов и наслоению пресных фильтрационных оросительных вод, т. е. происходит постепенное вертикальное вытеснение солевых вод и замещение их пресными. Скорость этого процесса соответствует скорости вертикальной фильтрации, которая при вертикальном дренаже во много раз больше, чем при горизонтальном.

Схема притока воды к системе скважин вертикального дренажа принципиально иная, чем к водопонижительной установке. Здесь не может быть только контурного питания. Чем больше территория системы,



тем большее значение имеет приток воды внутри контура как за счет инфильтрации поверхностных вод — ирригационных и атмосферных, так и поступления из нижних водоносных горизонтов.

Для поддержания определенного пониженного пьезометрического горизонта в дренируемом пласте системами насосных колодцев на мелиорируемой территории должно извлекаться то количество воды, которое поступает в этот пласт, а в отдельные периоды, например в начальный, и несколько большее. При этом средние колодцы будут срабатывать воду, поступающую на мелиорируемую территорию в пределах их радиуса действия, краевые же колодцы дополнительно еще должны отводить приток со стороны (т. е. их дебиты должны быть больше или расположение чаще).

Представим себе картину установившейся работы системы колодцев. Это возможно только в том случае, если поступления в подземные воды также равномерны и установившиеся и колодцы в сумме откачивают ровно столько, сколько поступает. Зеркало грунтовых вод в таких идеальных условиях не испытывало бы колебаний, а каждый колодец в системе работал бы самостоятельно, имея свой контур питания.

Однако действие каждого колодца как самостоятельного определялось бы работой всей системы, и малейшее нарушение указанного равновесия вызывало бы или понижение уровня грунтовых вод (если расход откачек больше поступлений), или повышение (если расход откачек меньше поступлений). Следовательно, действие колодца может регулироваться интенсивностью откачек и орошения. Вся система колодцев действует совокупно, в единстве, как регулятор водного баланса.

Таким образом, работа каждого колодца в отдельности на полный радиус действия определяется работой всей системы в целом. При водопонижительных установках скважины работают только во взаимодействии как групповая установка с сильно урезанным радиусом действия в области создаваемого понижения. В этом их принципиальное различие, которое не может не влиять существенным образом на схему и методы расчета.

Делается понятным интерес к расчету одиночного колодца, который должен привлекаться как необходимый элемент при расчете системы вертикального дренажа. С точки зрения методики и физической сущности расчетов общего количества откачиваемых вод следует выделять расчеты, относящиеся к естественным бассейнам и потокам подземных вод, т. е. к таким большим территориям, которые занимают значительные регионы, как, например, аллювиальный бассейн подземных вод Голодной степи или Бухарского оазиса и т. п.

Если мы рассматриваем весь бассейн, то, возможно, после понижения пьезометрических напоров подземных вод в дренирующих слоях до заданной величины откачки поступление в этот бассейн изменяется незначительно, хотя в каждом конкретном случае это должно быть специально рассмотрено и учтено. При этом целесообразно сохранять естественное выклинивание. Главной же составной частью общего количества откачиваемых вод будет, очевидно, расход на испарение и транспирацию, которые происходили в этих бассейнах до работы системы вертикального дренажа (за вычетом значительно уменьшенного испарения в новых условиях). По нашим расчетам, в общем балансе подземных вод этот расход составляет от 50% для подземных водохранилищ I зоны до 80—90% для II зоны. Поэтому, естественно, эта цифра должна учитываться при расчете общего количества подлежащей откачке воды; например, для Бухарского оазиса она составляет в современных условиях около 1 млрд. м<sup>3</sup> в год, или до 32 м<sup>3</sup>/сек.



Другое дело, когда определение общего количества откачиваемой воды ведется для сравнительно небольшого участка в бассейне подземных вод, например для целей опытно-производственных исследований. Здесь общее количество откачиваемой воды равняется тому притоку подземных вод, который сложится и будет поступать со всех сторон в водоносный пласт, куда опущены фильтры колодцев, благодаря разности между напорами: пониженными на самом участке и по-прежнему высокими на окружающей территории.

После определения общего количества подлежащей откачке воды операции по выявлению оптимального дебита колодца и установлению их числа можно проводить в соответствии с рекомендациями А. Н. Костякова.

Расположение колодцев в плане определяется той схемой притока подземных вод к мелиорируемому участку, которая положена в основу расчета каждого конкретного объекта.

В общем случае можно сказать, что при расчетах и проектировании систем вертикального дренажа на крупных массивах, занимающих большую часть территорий бассейнов и потоков подземных вод, имеющих значительную глубину, часто превышающую глубину дренажных колодцев, располагать их по площади следует равномерно. Если в данном бассейне имеется какой-то сосредоточенный приток подземных вод с определенной стороны, например из аллювиальной долины, целесообразно сгущение рядов колодцев по фронту этого потока. Однако, если потоки находятся на больших глубинах и питают весь бассейн, защитный ряд колодцев может не иметь особого смысла. Но когда подземные потоки, вливающиеся в бассейн, имеют сравнительно ограниченную мощность и могут быть действительно перехвачены в значительной мере дренажными колодцами, возможно линейное расположение колодцев двумя-тремя рядами по фронту потока.

Если осушается сравнительно небольшой массив, представляющий какую-то часть бассейна подземных вод, для погашения их влияния на этот массив необходимо, кроме распределения по площади, запроектировать также контурное расположение дренажных колодцев. В зависимости от величины этого притока и размеров осушаемого участка может оказаться, что главная масса дренажных колодцев располагается по контуру участка. Примером такого случая является расчет вертикального дренажа для понижения уровня грунтовых вод на территории какого-нибудь города, поселка или строительной площадки. Колодцы системы на небольших участках типа г. Гулистан (бывш. Мирзачуль) должны работать непрерывно в тесном взаимодействии, исходя из чего и следует производить расчет. Методы расчета взаимодействия колодцев разработаны в теории искусственного понижения уровня грунтовых вод на строительных и промышленных площадях.

При развитии колодцев по всей площади бассейнов подземных вод каждый из них работает как бы самостоятельно и должен рассчитываться как одиночный колодец, а его дебит должен увязываться с суммарным дебитом откачки. Поэтому при работе системы на отдельном участке (площадью в одну или несколько тысяч гектаров), расположенном в бассейне подземных вод, на колодец может приходиться в среднем 50—100 га осушаемой территории, а при работе системы дренажных колодцев на территории всего бассейна в тех же условиях может оказаться, что один колодец будет обеспечивать территорию в 250—300 га и более.

В случае применения вертикального дренажа в целях мелиорации сельскохозяйственных территорий и использования подземных вод на орошение, когда система колодцев работает в общем балансе подзем-



ных вод крупного бассейна, отдельные колодцы должны располагаться на расстоянии двух радиусов действия (речь идет об относительно установившемся режиме их работы), но в то же время должен предусматриваться резерв в мощности насосно-силового оборудования порядка 30%, который обеспечивал бы в известные моменты (усиленного притока подземных вод) прямое взаимодействие скважин в системе, необходимое также для значительного понижения пьезометрического напора в дренирующих слоях в первый мелиоративный период работы системы.

Наконец, есть еще очень существенное отличие в проектировании системы вертикального дренажа, регулирующего подземные водохранилища. При большой глубине бассейна (несколько сот метров) анализ его литологического строения и гидравлики должен быть направлен на выбор наиболее перспективных к эксплуатации водоносных пластов (необязательно, чтобы это были ближайшие к поверхности слои). С развитием бассейна на площади в несколько сотен и даже тысяч квадратных километров заложение стреленера захватных скважин на глубину 200—300 м вполне допустимо. Могут применяться ярусные водозаборы с раздельным использованием воды (в соответствии с ее качеством) для орошения и водоснабжения.

Таким образом, в случае регулирования режима подземных вод и использования крупных подземных водохранилищ представляется возможным выбрать из толщи бассейна наиболее хорошо дренирующие слои для заложения в них фильтров буровых колодцев; при этом в принципе неважно, на какой глубине этот слой залегает, так как важен суммарный эффект работы колодцев в бассейне в целом. Если вертикальный дренаж проектируется на сравнительно небольших участках опытно-производственных систем, когда, например, нужно получить мелиоративный эффект вертикального дренажа в какой-то одной точке бассейна, приходится прибегать к дренированию только самого верхнего слоя, непосредственно воздействующего на грунтовые воды. В противном случае приток по глубинным слоям в данном месте может оказаться настолько великим, а связи с верхними горизонтами настолько слабыми, что существенного эффекта не будет.

#### Определение общего дебита откачек на участке бассейна

Наиболее перспективные районы первоочередного применения вертикального дренажа — гидрогеологические бассейны зоны предгорных равнин, межгорных котловин и долин. Здесь проектируются и строятся первые опытные системы вертикального дренажа на площади в тысячи гектаров каждая. Пока эти системы занимают относительно небольшие участки бассейнов.

Мощность верхнего яруса измеряется сотнями метров, а разрезы участков представлены сложным комплексом, в котором чередуются слабопроницаемые слои с хорошо проницаемыми.

Для получения мелиоративного эффекта на относительно небольшом участке бассейна в качестве дренирующего горизонта, куда опускаются колодцы вертикального дренажа и из которого ведется откачка, должен быть выбран первый от поверхности хорошо проницаемый слой. Тогда принимается следующая фильтрационная схема дренажного участка. Сверху слабопроницаемые суглинки (с коэффициентом фильтрации  $\lambda_1$  и мощностью  $T_1$ ) насыщены солеными грунтовыми водами, уровень которых залегает вблизи поверхности земли.

Под суглинками залегает основной дренируемый слой (с коэффициентом фильтрации  $k$  и мощностью  $T$ ), имеющий напор  $H_0$ . Этот напор



может меняться и в естественных условиях устанавливаться выше или ниже уровня грунтовых вод.

Ниже дренируемого слоя залегает слабопроницаемый горизонт с коэффициентом фильтрации  $\lambda_2$ , мощностью  $T_2$  и напором  $H_1$ . Через него вода может перетекать из верхнего горизонта в нижний и наоборот, в зависимости от соотношения напоров  $H_0$  и  $H_1$ . При откачке, когда  $H_0$  значительно понижается и разность  $H_1 - H_0$  растет, вода направляется в основной дренирующий слой и отводится дренажем.

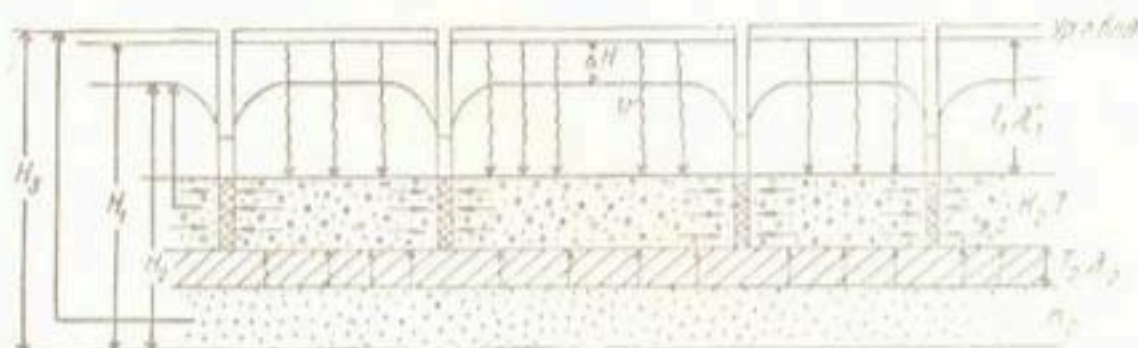


Схема расчета опытно-производственной системы вертикального дренажа (на участке бассейна).

Абсолютное значение данного притока в пласт снизу определяется созданной откачками разностью напоров  $H_1 - H_0$ , а также мощностью и коэффициентом фильтрации слабопроницаемого слоя. При этом глубина эксплуатируемого бассейна значительно превышает глубину дренажных колодцев, что практически и наблюдается во всех случаях строительства опытно-производственных систем вертикального дренажа в Голодной степи, Ферганской долине, Бухарском оазисе, на Вахше и в других районах.

При большой глубине бассейна, когда расход откачек с дренажного участка представляется относительно малым значением, по сравнению с динамическими запасами эксплуатируемого подземного водохранилища, мы вправе для упрощения задачи принять величину  $H_1 = \text{const}$ , т. е. не зависящую от дебита откачки. Тогда фильтрационная схема работы дренажной установки на относительно небольшом участке гидрогеологического бассейна может быть представлена в следующем виде.

1. В процессе откачки из основного горизонта понижается пьезометрический напор в нем на  $h_{\text{ср}}$ . Благодаря этому по основному пласту организуется приток к участку со всех сторон, т. е. по периметру дренируемого участка (назовем его  $Q_1$ ).

Если линейные контуры участка в несколько раз превосходят возможный радиус влияния дренажа, то по сторонам участка (при прямоугольной форме) движение воды близко к плоскому (лишь по углам участка оно принимает радиальную форму). Если пренебречь радиальностью потока по углам, то в первом приближении  $Q_1$  может быть оценено по формуле

$$Q_1 = p k T \frac{\Delta h}{R},$$

где  $p$  — периметр участка. Остальные значения ясны из рисунка.

2. Откачка из основного пласта вызовет перетекание из нижнего напорного пласта через подстилающий слабопроницаемый пласт  $T_2$ , которое будет происходить на всей площади участка и определяться средним понижением пьезометрического напора в основном пласте —  $h_{\text{ср}}$ .



Назовем этот приток  $Q_2$ , он может быть подсчитан по формуле

$$Q_2 = F \lambda_2 \frac{H_1 - h_{\text{ср}}}{T_2},$$

где  $F$  — площадь участка.

3. На площади участка происходит инфильтрация (обозначим ее  $\varepsilon$ ) атмосферных осадков, поливных и промывных вод. Промывные воды на поливных засоленных землях имеют огромное значение, достигая 5—10 тыс. м<sup>3</sup>/га в год, а иногда и более. Естественно, что эти воды распределяются в году неравномерно, т. е.  $\varepsilon$  — величина переменная. В отдельные периоды, например при поливах и промывках, отмечается интенсивная инфильтрация, сопровождающаяся капиллярным сбросом и даже иногда полным смыканием ирригационных вод с грунтовыми. При этом пресные ирригационные воды насаиваются сверху на соленые грунтовые.

В межполивные периоды, напротив, грунтовые воды не получают питания сверху, и в это время снижается их уровень как за счет стекания вниз в дренирующий слой, так и вследствие испарения. Поэтому при расчете дренажа для определения общего дебита откачек необходимо учесть как среднюю величину от суммарной за год инфильтрации  $\varepsilon_{\text{ср}}$ . Тогда общий дебит откачек на участке бассейна определится как сумма

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = pkT \frac{\Delta h}{R} + F \lambda_2 \frac{H_1 - h_{\text{ср}}}{T_2} + \varepsilon_{\text{ср}}.$$

Вместе с тем необходимо проверить принятое  $h_{\text{ср}}$  на экстремальные значения  $\varepsilon$ , которые могут быть при промывках, а в некоторых случаях и при весенних осадках. Если окажется, что скорость снижения уровня грунтовых вод при выбранных  $h_{\text{ср}}$  недостаточна, нужно увеличить  $h_{\text{ср}}$  и повторить расчет; следовательно, увеличить общий дебит откачек или мощность насосных установок.

Выбранная  $h_{\text{ср}}$  определяет также и темпы рассоления почвогрунтов и грунтовых вод, которые будут связаны с общими темпами снижения соленых грунтовых вод и наслоением сверху пресных фильтрационных.

Образование так называемой «подушки» пресных фильтрационных вод широко известно в практике орошаемого хозяйства. Но вся беда в том, что «пресная подушка» очень неустойчива — она быстро расходуется на испарение и транспирацию к концу вегетационного сезона, а иногда и раньше, с полной реставрацией засоления земель.

Вертикальный дренаж гарантирует создание устойчивых нисходящих рассоляющих токов в покровных суглинках под влиянием промывок и орошения, т. е. образование стока грунтовых вод в подстилающие дренирующие слои.

При работе вертикального дренажа даже в межполивные периоды разность между уровнем грунтовых вод и  $h_{\text{ср}}$  должна сохраняться такой, чтобы пониженный откачками напор дренируемого пласта не превышал уровня грунтовых вод и тем самым оставалось бы общее преобладание нисходящих движений воды в покровных суглинках. Это, в свою очередь, будет обеспечивать создание отрицательного солевого баланса покровных суглинков.

В основу всех расчетов режима откачек должен быть положен водно-солевой баланс покровной толщи суглинков, которым следует в дальнейшем контролировать работу вертикального дренажа.



Методика изучения водно-солевого баланса покровных суглинков разработана нами на примере опытно-производственных систем вертикального дренажа в Голодной степи.

### ВЫВОДЫ

1. По изученности запасов подземных вод и выявленному их количеству имеется полная возможность составления общих побассейновых схем использования подземных вод и применения вертикального дренажа в плане комплексного использования водно-земельных ресурсов республики.

2. Теоретическая разработка вопросов о применении вертикального дренажа и необходимые опытные исследования доведены до такой стадии (разработаны гидрогеологические основы применения вертикального дренажа, методы его расчета и проектирования), которая позволяет составление подробных проектов.

3. Имеется уже известный опыт проектирования систем вертикального дренажа в Голодной степи, Ферганской долине и Бухарской области. В частности, в 1961 г. закончен проект и начато строительство вертикального дренажа в совхозе «Пахта-Арал» на площади 7700 га.

4. Получен уже некоторый опыт по строительству и эксплуатации опытно-производственных систем вертикального дренажа. Наблюдениями и исследованиями, проведенными на этих системах, установлено хорошее совпадение прогнозных данных с фактическими расходами скважин, их удельными дебитами, расстояниями заложения, качеством откачиваемой воды и т. д. Полученный материал позволяет уверенно вести проектирование вертикального дренажа на значительных территориях мелиоративно неблагоприятных земель.

5. Основные перспективные районы для использования подземных вод и применения вертикального дренажа следующие:

Голодностепская сеть в зоне Кировского магистрального канала, где применение вертикального дренажа решает задачу как мелиоративного улучшения (рассоления орошаемых земель), так и получения добавочной воды на орошение;

Ферганская долина, где вертикальный дренаж в комплексе с использованием подземных вод на орошение может применяться на большей части долины (одновременно будет происходить сезонное и многолетнее регулирование стока). Это имеет особенно большое значение в маловодные годы, как, например, 1961 г., когда из-за засух область недобрала до 20% урожая;

Долина р. Зеравшан; опытно-производственные исследования в Бухарском оазисе свидетельствуют о больших перспективах применения здесь вертикального дренажа с использованием откачиваемой воды на орошение.

6. По применению вертикального дренажа в указанных трех основных районах имеется достаточно исследовательского материала, чтобы можно было переходить от производственных испытаний к проектированию использования подземных вод и применения вертикального дренажа в общем плане развития водного хозяйства в данных районах, по бассейнам в целом (схема) и ирригационным системам (технический проект).

7. Строительство вертикального дренажа, как и эксплуатация подземных водозаборов, дело новое и отличается своей спецификой, поэтому необходимо сразу же, особенно сейчас, пока еще не разработаны окончательно и не утверждены нормы и технические условия на строительство и эксплуатацию таких систем, создать в Министерстве водного



хозяйства УзССР специальный орган, который бы занимался этим новым и важным для республики делом.

8. Опыт показал, что работы по вертикальному дренажу, а также использованию подземных вод на орошение необходимо начинать с подводки линий электропередач и всех запроектированных коммуникаций и лишь затем приступать к строительству скважин вертикального дренажа, которые должны сразу же после сооружения включаться в работу. Бесперебойность и надежность их работы, как свидетельствует опытная эксплуатация, определяются в основном наличием электроэнергии.

9. Эрлифтные установки на компрессорах или насосно-силовые группы на двигателях внутреннего сгорания должны применяться только в строительный период для разглинизации скважин и формирования фильтра.

10. Эксплуатация систем вертикального дренажа должна вестись по льготным тарифам за электроэнергию, которые существуют для всех водопонижительных установок.

11. Наряду с широкой организацией работ по проектированию и строительству систем вертикального дренажа необходимо продолжить изучение запасов подземных вод в выделенных подземных водохранилищах, процессов их формирования, условий питания, стока, режима и баланса. Не следует также прекращать теоретическую и экспериментальную разработку расчета систем вертикального дренажа и взаимодействия их с подземными водохранилищами, для чего, кроме теоретических и лабораторных исследований, нужно проводить натурные наблюдения на строящихся объектах.

12. Необходимо совершенствовать и удешевлять технику строительства систем вертикального дренажа, использования подземных вод на орошение, а также насосно-силовое оборудование, системы автоматики, телеизмерений и телеуправлений.

---



В. А. БАРОН

## О РЕЖИМЕ ОТКАЧЕК ИЗ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

(в порядке обсуждения)

Осуществление решений XXII съезда КПСС о дальнейшем развитии сельского хозяйства в нашей стране связано с большой программой развития орошения новых земель и коренной мелиорации существующих поливных земель.

В Средней Азии намечается создать новые районы хлопководства главным образом за счет резерва земель, подверженных засолению. В связи с этим большое значение приобретают мелиорация засоленных земель и разработка эффективных мер для предупреждения их засоления.

Обычно для мелиорации таких земель наряду с агротехническими мероприятиями широко используются и гидротехнические, направленные на создание благоприятного водно-солевого баланса грунтовых вод, при котором будут созданы условия для рассоления почвогрунтов и грунтовых вод.

Основным гидротехническим мероприятием являлся открытый горизонтальный дренаж. Однако в последние годы в республиках Средней Азии, в частности в Узбекистане, начинает распространяться также строительство вертикального дренажа в целях мелиорации и использования откачиваемой воды на орошение. В связи с этим большую важность представляет вопрос о выборе оптимального режима откачек, при котором с минимумом эксплуатационных затрат будет выполнено задание по мелиорации рассматриваемых земель при помощи вертикального дренажа. В условиях слоистых грунтов, когда покровные мелкоземы подстилаются хорошо проницаемыми грунтами, насыщенными водами с большими пьезометрическими напорами, препятствующими естественной дренированности покровных отложений, разность между уровнем грунтовых вод и пьезометрическим напором  $-\Delta h$  может быть положительной, отрицательной или равной нулю.

При  $\Delta h > 0$  создаются условия для естественной дренированности земель, способствующие их рассолению. Если  $\Delta h = 0$ , естественная дренированность в вертикальном направлении отсутствует, при  $\Delta h < 0$  наблюдаются восходящие токи фильтрации из подстилающего хорошо проницаемого слоя в покровные мелкоземы. Эти токи поднимают соли из глубоких слоев грунта и препятствуют передвижению вниз сильноминерализованных грунтовых вод. Поэтому в условиях жаркого и сухого климата при  $\Delta h < 0$ , как правило наблюдается наиболее интенсивное вторичное засоление земель.



Вертикальный дренаж позволяет регулировать пьезометрический напор в хорошо проницаемом пласте, подстилающем покровные мелкоземы, а следовательно, и регулировать величину  $\Delta h$ , т. е. коренным образом улучшать дренируемость засоленных земель; именно поэтому идея применения вертикального дренажа в целях мелиорации заключается в том, что в благоприятных гидрогеологических условиях [1] система скважин должна дренировать первый, хорошо проницаемый водоносный пласт, понижая в нем пьезометрический напор. В результате увеличивается дренированность покровных отложений, что в сочетании с промывками приводит к коренной мелиорации земель.

Известно также, что на засоленных землях высокое стояние уровня минерализованных грунтовых вод—основная причина неустойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Поэтому на таких землях стремятся искусственно создать линзу пресной воды над солеными грунтовыми водами. В практике орошаемого хозяйства данный прием широко распространен в виде осенне-зимних промывок и влагозарядных поливов. Однако при неглубоком залегании уровня грунтовых вод от поверхности земли размеры линзы оказываются ограниченными, и ее, как правило, не хватает на весь вегетационный период.

Кроме того, в условиях жаркого и сухого климата близкое залегание минерализованных грунтовых вод приводит к вторичному засолению. Но если на засоленных землях при помощи каких-либо мероприятий (в сочетании с зимними промывками) опустить уровень грунтовых вод ниже критической глубины на весь осенне-летний период, создадутся условия для необратимого процесса рассоления этих земель, и, по сути дела, вопрос о мелиорации их будет решен.

Исходя из этого, на засоленных землях с близким залеганием уровня грунтовых вод при помощи вертикального дренажа (там, где его строительство перспективно) можно осуществлять один из следующих вариантов мелиоративного задания.

1. Опускается уровень грунтовых вод ниже критической глубины и удерживается на ней в течение всего периода интенсивного испарения и транспирации. При этом водопотребление в вегетационный период будет повышенным, а невегетационный—сниженным, так как после кардинальной промывки можно будет ограничиваться лишь влагозарядными поливами.

2. Достигается полное опреснение даже сильнозасоленных земель увеличением промывных норм. За счет этого создается мощный поверхностный слой пресных грунтовых вод. Регулированием откачек из системы скважин поддерживается уровень грунтовых вод довольно близко к поверхности земли с целью создания гидроморфного процесса почвообразования. Потребление сельскохозяйственными культурами поверхностных вод в данном случае будет несколько сниженным, а водопотребление в невегетационный период—повышенным.

3. Создается промежуточный вариант, т. е. с одной стороны, увеличиваются промывные нормы и нормы влагозарядных поливов, а с другой—грунтовые воды в течение всего периода вегетации поддерживаются на глубине, наиболее благоприятной для развития сельскохозяйственных культур, выращиваемых на этих землях.

На основании выбранного варианта мелиоративного задания вертикальному дренажу устанавливаются проектный уровень грунтовых



вод в течение рассматриваемого периода времени и график водопотребления, после чего можно переходить к расчету режима откачек.

В основу расчета режима откачек можно положить баланс грунтовых вод, определяемый балансовым уравнением М. М. Крылова [2]

$$(\beta_m - \beta_n) \Delta y = x_t + f_k + f_n + J_n - z - (\omega_2 - \omega_1), \quad (1)$$

где  $\beta_m - \beta_n$  — разность между полной и полевой влагоемкостью в зоне аэрации;

$\Delta y$  — изменение высоты уровня грунтовых вод за время  $t$ ;

$x_t$  — просочившаяся до уровня грунтовых вод часть атмосферных осадков;

$f_k$  — потери воды на фильтрацию из ирригационно-хозяйственной системы;

$f_n$  — поливные воды, просочившиеся до уровня грунтовых вод;

$J_n$  — воды, выклинивающиеся в коллекторно-дренажную сеть;

$z$  — испарение с поверхности грунтовых вод;

$\omega = \omega_2 - \omega_1$  — разность между подземным оттоком и притоком.

Разложим  $\omega$  на вертикальную  $\omega_y$  и горизонтальную  $\omega_x$  составляющие. По нашим наблюдениям в Голодной степи,  $\omega_x \ll \omega_y$ ; поэтому горизонтальной составляющей подземного оттока можно пренебречь и считать  $\omega \approx \omega_y$ . Зная составляющие баланса грунтовых вод —  $x_t$ ,  $f_k$ ,  $f_n$ ,  $J_n$ ,  $z$  и задаваясь величиной понижения уровня грунтовых вод за время  $t$ , можно найти  $\omega$ , обеспечивающее это понижение за счет установления соответствующего пьезометрического напора  $h_{cp}$  в дренируемом пласте.

Рассмотрим на примере отделения им. Ильича совхоза „Пахта-Арал“ Южно-Казахстанской области КазССР, как подбирается пьезометрический напор, который необходимо получить в дренируемом пласте для выполнения выбранного варианта мелноративного задания. Для этого предварительно ознакомимся в общих чертах с его гидрогеологическими и ирригационно-хозяйственными условиями.

Совхоз расположен в центральной части крупного аллювиального бассейна подземных вод, занимающего обширную левобережную часть Сыр-Дарьи в пределах Голодной степи и распространяющегося несколько за Центральный голодностепский коллектор [1]. На глубину 250—300 м он сложен преимущественно песчаными отложениями Сыр-Дарьи и ее притоков Чирчика и Ангренз. С поверхности аллювиальная толща покрыта суглинками мощностью от 5 м на второй террасе до 20—30 м в пределах третьей террасы основного Голодностепского плато. В толще бассейна прослеживаются прослойки и линзы суглинков и глины, которые создают местные разобщения в теле аллювиального бассейна и обуславливают наличие как бы нескольких водоносных горизонтов, различающихся по пьезометрическим напорам. По расчетам Н. М. Решеткиной, емкость всего аллювиального бассейна составляет около 150 км<sup>3</sup> и естественный приток подземных вод вместе с атмосферными осадками — 43 м<sup>3</sup>/сек.

С развитием орошения подземное водохранилище получило мощное дополнительное питание 30 м<sup>3</sup>/сек среднегодового расхода. В результате поднялся уровень грунтовых вод, увеличился пьезометрический напор в подстилающих грунтах, а следовательно, и сток подземных вод в Сыр-Дарью. Поэтому можно предполагать, что орошение усилило уже



наметившееся в процессе геологического развития рассоление всего бассейна.

Однако в связи с сильным подъемом уровня грунтовых вод перераспределение солей в покровных суглинках и насыщающих их грунтовых водах активизировалось за счет транспирации и испарения. Вследствие этого происходит вторичное засоление почв, борьба с которым ведется вот уже на протяжении полувека.

Земли совхоза „Пахта-Арал“ расположены по обе стороны распределителя К-20 и вытянуты почти поперек бассейна от канала им. Кирова на север до обрыва второй террасы Сыр-Дарьи (рис. 1). Поэтому северные отделения совхоза — им. Коминтерна и им. Дзержинского, расположенные вблизи обрыва террасы современной долины Сыр-Дарьи, находятся в хороших условиях подземного стока, а



Рис. 1. Схема расположения наблюдательных и эксплуатационных скважин. 1—граница совхоза „Пахта-Арал“, 2—граница отделений совхоза, 3—оросительная сеть; I—отд. „Октябрьское“, II—„Первомайское“, III—им. XXII партсъезда, IV—им. Ильича (центральное), V—„Коминтерн“, VI—им. Дзержинского.

следовательно, и хороших мелиоративных условиях. Южные же отделения, примыкающие к Кировскому магистральному каналу (им. XXII партсъезда, „Октябрьское“, „Первомайское“ и им. Ильича) находятся в значительно худших условиях подземного стока, так как располагаются на территории бассейна, значительно отдаленного от Сыр-Дарьи. Вот почему в этих отделениях большое место в балансе грунтовых вод занимает расход на транспирацию и испарение, приводящих к сезонному засолению земель.

Исследования А. Н. Розанова и Ю. А. Лебедева в 1948 г. и наблюдения ИВГиГ АН УзССР в 1960—1961 гг. показали, что среднюю мощность покровных суглинков следует принять равной 20,6 м, коэффициент фильтрации всей этой толщи 0,1 м/сутки, водоотдачу ее 0,1. В пределах отделения им. Ильича фильтрация грунтовых вод в горизонтальном направлении очень мала — 0,000067 м/сутки, поэтому в расчетах баланса грунтовых вод ее можно не учитывать.

При неблагоприятном водно-солевом балансе средняя глубина залегания грунтовых вод на рассматриваемой территории определяется кривой I (рис. 2).

Из водного баланса (табл. 1) видно, что наибольшая интенсивность испарения и транспирации растений в совхозе наблюдается в апреле — июле и именно в это время происходит основной приток подземных вод из подстилающих песков в покровные мелкоземы, который и перемещает соли из нижних горизонтов суглинка в верхний. Кроме того, в это же время проявляется интенсивное вторичное засоление покровных мелкоземов, которое продолжается до сентября — октября. Поэтому, если каким-либо образом опустить уровень грунтовых вод ниже критической глубины на весь период интенсивного испарения с их поверхности, то на всей рассматриваемой территории



Водный баланс отделения им. Ильича совхоза „Пахта-Арал“ с октября 1959 г. по сентябрь 1960 г., м<sup>3</sup>/га

| Месяц | Приход |                          |                                   | Расход |                                    |                       |                                                            | Питание грунтовых вод | Глубина залегания грунтовых вод, м | Изменение глубины залегания грунтовых вод | Изменение запаса грунтовых вод | Разница между подземным притоком и оттоком грунтовых вод |           |
|-------|--------|--------------------------|-----------------------------------|--------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|
|       | осадки | приток поверхностных вод | потери воды на фильтрацию из К-20 | итого  | количество отводной грунтовой воды |                       | суммарное испарение и транспирация (метод Блейна и Кридла) |                       |                                    |                                           |                                |                                                          |           |
|       |        |                          |                                   |        | по координатам декорам             | горизонтальный дренаж |                                                            |                       |                                    |                                           |                                |                                                          |           |
| X     | 74     | 354                      | 50                                | 478    | 400                                | —                     | —                                                          | 400                   | +78,0                              | 2,46                                      | - 0,57                         | -570                                                     | -648,0    |
| XI    | 69     | 270                      | 48                                | 687    | 500                                | 0,024                 | 0,024                                                      | 500,024               | +186,976                           | 1,63                                      | +0 83                          | +830                                                     | + 643,024 |
| XII   | 62     | 863                      | 184                               | 1109   | 520                                | 0,034                 | 0,034                                                      | 520,034               | +588,966                           | 1,38                                      | +0,35                          | +350                                                     | -237,966  |
| I     | 339    | 335                      | 41                                | 716    | 425                                | 0,035                 | 0,035                                                      | 425,035               | +290,965                           | 1,03                                      | +0,25                          | +250                                                     | - 40,965  |
| II    | 344    | —                        | —                                 | 344    | 1100                               | 0,042                 | 0,042                                                      | 1100,042              | -756,042                           | 0,81                                      | +0,22                          | +220                                                     | +976,042  |
| III   | 804    | —                        | —                                 | 804    | 860                                | 0,056                 | 0,056                                                      | 860,056               | -56,056                            | 0,50                                      | +0,31                          | +310                                                     | +366,056  |
| IV    | 299    | —                        | —                                 | 299    | 1820                               | 0,054                 | 0,054                                                      | 1820,054              | -1521,054                          | 0,62                                      | -0,12                          | -120                                                     | +1401,054 |
| V     | 428    | 141                      | 43                                | 612    | 1900                               | 0,053                 | 0,053                                                      | 2061,053              | -1449,053                          | 0,68                                      | -0,06                          | - 60                                                     | +1389,053 |
| VI    | 0      | 597                      | 119                               | 726    | 1510                               | 0,033                 | 0,033                                                      | 1510,033              | -784,033                           | 1,06                                      | -0,38                          | -380                                                     | +404,033  |
| VII   | 0      | 895                      | 185                               | 1080   | 1500                               | 0,021                 | 0,021                                                      | 1500,021              | -420,021                           | 1,71                                      | -0,65                          | -650                                                     | -229,979  |
| VIII  | 0      | 1056                     | 180                               | 1236   | 1490                               | 0,018                 | 0,018                                                      | 1490,018              | -254,018                           | 1,32                                      | -0,11                          | -110                                                     | +144,018  |
| IX    | 60     | 397                      | 74                                | 531    | 265                                | 0,008                 | 0,008                                                      | 265,008               | +265,992                           | 2,18                                      | -0,36                          | -360                                                     | -625,992  |
| Итого | 2779   | 4909                     | 934                               | 8622   | 12200                              | 0,378                 | 0,378                                                      | 12451,378             | -3829,378                          |                                           | -0,29                          | -290                                                     | +3539,378 |



совхоза будут созданы условия для необратимого процесса рассоления почвогрунтов и грунтовых вод.

По определению А. Г. Владимирова, „критическая глубина равна максимальной высоте проникновения грунтовых вод вверх от их зеркала по капиллярным порам почвогрунта плюс мощность активного слоя почвы“ [3, стр. 74].

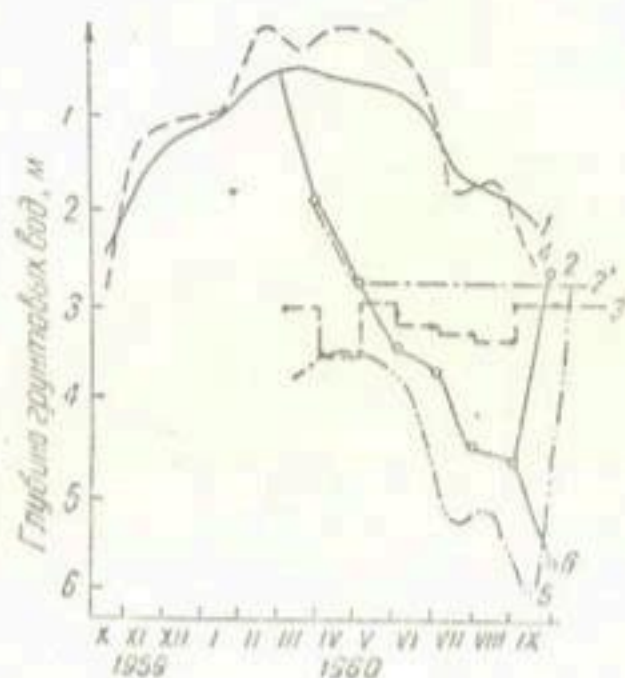


Рис. 2.

Для поливных культур мощность активного слоя почвы обычно принимается равной 0,6 — 1 м, а для лессовидных голодностепских суглинков, по определениям М. М. Крылова [2], Н. А. Кенесарина [4] и многих других авторов, высоту капиллярного поднятия грунтовых вод следует считать равной 1,5—1,6 м (активная зона ее). Если критическую глубину залегания грунтовых вод определять по формуле С. Ф. Аверьянова, она оказывается равной 2,77 м.

Для условий совхоза „Пахта-Арал“ критическую глубину залегания грунтовых вод можно принять за 2,8 м. Следовательно, если понизить уровень грунтовых вод до 2,8 м от поверхности земли к периоду, когда начинается интенсивное испарение с его поверхности, и удерживать на этой глубине до конца лета, то вопрос о мелиорации земель отделения им. Ильича будет решен.

Определим, при каком режиме пьезометрического напора в подстилающих песках уровень грунтовых вод в этом отделении совхоза удовлетворял бы всем предъявляемым к нему требованиям в течение 1959/60 гидрогеологического года, если за проектную кривую глубины залегания грунтовых вод мы выбираем кривую 2 (рис. 2). Соответствующий такому режиму уровня грунтовых вод прогнозный баланс<sup>1</sup> на март — сентябрь 1960 г. приведен в табл. 2. При увеличении глубины залегания грунтовых вод за март с 0,81 до 2,0 м баланс получается отрицательным и равным 1269,94 м<sup>3</sup>/га.

Исходя из полученного баланса грунтовых вод на март, найдем, при каком положении пьезометрического напора уровень грунтовых вод может опуститься на 1,19 м в течение этого месяца за счет оттока 1269,94 м<sup>3</sup>/га в подстилающие пески. Для решения этой задачи воспользуемся следующим уравнением [5,6]

$$t - t_1 = \frac{a}{z - \lambda} \left[ y_n - y - \frac{\lambda_1 h}{z - \lambda} \ln \frac{y_n + \frac{\lambda}{z} (y_n - h)}{y + \frac{\lambda}{z} (y - h)} \right], \quad (2)$$

<sup>1</sup> Как в существующем водном балансе, так и в прогнозном мы пренебрегали изменениями водно-физических свойств почвы в зоне аэрации, что для ориентировочных расчетов вполне оправдано.



где  $t$  — время;

$\sigma$  — водоотдача грунта;

$\lambda$  — коэффициент фильтрации покровных суглинков;

$\varepsilon$  — количество воды, просочившейся из покровных грунтов в первый, хорошо проницаемый слой за время  $t - t_1$ ;

$y$  — положение уровня грунтовых вод в момент времени  $t$ , отсчитываемое от кровли первого, хорошо проницаемого водоносного пласта, подвергаемого дренированию,  $y = y_n$  при  $t_1 = t$ ;

$h$  — средний пьезометрический напор в дренируемом пласте за время  $t - t_1$ .

В рассматриваемом случае  $t - t_1 = 31$  суткам,  $\varepsilon = \omega = 0,126$  м/сутки,  $\lambda = 0,1$  м/сутки,  $\sigma = 0,1$ ,  $y_n = 19,79$  м,  $y = 18,6$  м. Подставляя эти значения в уравнение (2) и решая его подбором, получим  $h_{cp} = 17,54$  м. Если же уровень пьезометрического напора отсчитывать от поверхности земли, то  $h_{cp} = 3,06$  м.

Т а б л и ц а 2

Прогнозный баланс грунтовых вод отделения им. Ильича за период с марта по сентябрь 1960 г., м<sup>3</sup>/га

| Месяц | Приход |       |       |       | Расход |       |       | Питание грунтовых вод | Глубина залегания грунтовых вод, м | Изменение глубины залегания грунтовых вод | Изменение запаса грунтовых вод | $\omega$ |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|----------|
|       | $x_t$  | $f_k$ | $f_n$ | итого | $z$    | $J_n$ | итого |                       |                                    |                                           |                                |          |
| III   | 80     | —     | —     | 80    | —      | 0,06  | 0,06  | 79,94                 | 2,0                                | —1,19                                     | —1190                          | —1269,94 |
| IV    | 30     | —     | —     | 30    | —      | —     | —     | 30                    | 2,8                                | —0,8                                      | —800                           | —830     |
| V     | 43     | 98,5  | 113   | 254,5 | —      | —     | —     | 254,5                 | 2,8                                | —                                         | —                              | —254,5   |
| VI    | —      | 420   | 208   | 628   | —      | —     | —     | 628                   | 2,8                                | —                                         | —                              | —628     |
| VII   | —      | 625   | 210   | 835   | —      | —     | —     | 835                   | 2,8                                | —                                         | —                              | —835     |
| VIII  | —      | 711   | 210   | 951   | —      | —     | —     | 951                   | 2,8                                | —                                         | —                              | —951     |
| IX    | 6      | 279   | 120   | 405   | —      | —     | —     | 405                   | 2,8                                | —                                         | —                              | —405     |

Аналогично определим для апреля, при каком положении пьезометрического напора в подстилающих песках уровень грунтовых вод мог бы опуститься с 18,6 до 17,8 м.

В этом случае  $t_2 - t_1 = 30$  суткам,  $\varepsilon = 0,083$  м/сутки,  $y_n = 18,6$  м,  $y = 17,8$  м. Снова подставляя эти значения в уравнение (2) и решая его подбором относительно  $h_{cp}$ , получим, что при наших условиях уровень грунтовых вод мог бы опуститься на 0,8 м при  $h_{cp} = 17,12$  м.

Теперь определим, каким должен быть пьезометрический напор сечения мая — сентября 1960 г., чтобы уровень грунтовых вод все это время удерживался на глубине 2,8 м, для чего воспользуемся тем условием, что суммарный объем воды, поступающий на питание грунтовых вод за время  $t - t_1$ , должен равняться подземному оттоку за это же время, т. е.

$$\lambda \frac{y - h_{cp}}{y} = \frac{\omega}{t - t_1},$$

откуда

$$h_{cp} = y \left[ 1 - \frac{\omega}{\lambda(t - t_1)} \right]. \quad (3)$$



Воспользовавшись результатами прогнозного баланса грунтовых вод и уравнением (3), получаем для мая  $h_{cp} = 19,75$  м, июня — 19,34, июля — 18,45, августа — 18,2 и сентября — 18,2 м.

Соединив все эти точки, найдем кривую 3, которая определит такое распределение пьезометрического напора в течение апреля — сентября, при котором уровень грунтовых вод на рассматриваемой территории обязательно будет характеризоваться кривой 2'.

Теперь рассчитаем, какое понижение пьезометрического напора мы должны получить в пределах проектируемой площади, чтобы он определялся кривой 3 (в естественных условиях пьезометрический напор в отделении им. Ильича в соответствии с водным балансом характеризуется кривой 4).

Учитывая естественный уровень пьезометрического напора в пласте и полученную кривую 3, назначим понижение пьезометрического напора, которое необходимо создать откачкой из системы скважин вертикального дренажа в пределах отделения им. Ильича равным 3,5 м. Среднее снижение пьезометрического напора в копируемом пласте, соответствующее этому понижению, определится кривой 5. Теперь проверим, будет ли глубина залегания грунтовых вод, соответствующая проектному пьезометрическому напору в копируемом пласте (кривая 5), удовлетворять тем требованиям, которые были к ней предъявлены выше. Построим кривую 5, используя уравнение (2) и результаты прогнозного баланса грунтовых вод. По расчету откачку из системы скважин начинаем с марта и благодаря ей понижаем пьезометрический напор до глубины 3,82 м. Определим на какой глубине окажется уровень грунтовых вод к концу этого месяца. Для интервала времени в один месяц  $t - t_1 = 31$  суткам;  $y_n = 19,79$  м/сутки;  $y = ?$   $\omega = 0,1271$ ;  $h_{cp} = 17,78$ . Подставляя полученные данные в уравнение (2) и решая его подбором относительно  $y$ , узнаем, что к концу марта уровень грунтовых вод под влиянием откачек должен понизиться до 1,89 м.

Аналогично определяются понижения уровня грунтовых вод к концу каждого следующего месяца включая и сентябрь.

Все результаты вычисления показаны на рис. 2 в виде кривой 6.

Очевидно, вследствие отличия кривой 6 от 2 прогнозный баланс грунтовых вод, составленный нами для режима грунтовых вод, соответствующего кривой 2, будет отличаться от баланса грунтовых вод, получаемого при залегании их в соответствии с кривой 6.

Ввиду того что в обоих случаях в балансе грунтовых вод доминируют потери на фильтрацию, а с увеличением глубины залегания грунтовых вод они только увеличиваются, у нас есть все основания считать кривую 6 проектной, определяющей уровень грунтовых вод при работе системы скважин, так как в действительности он не будет выше кривой 6, а это и является наиболее существенным при проектировании.

Конечно, фактическое положение уровня грунтовых вод в расчетном периоде времени можно уточнить, определив прогнозный баланс грунтовых вод для кривой 6, и построить соответствующую ему кривую глубины залегания грунтовых вод так же, как сделано нами выше. Однако кривая 6 нас вполне удовлетворяет как по точности построения, так и получаемому при этом необратимому процессу рассоления почвенной толщи почвогрунтов. Рассматривая кривую 6, определяющую глубину залегания грунтовых вод в течение марта — сентября при среднем понижении пьезометрического напора в копируемом пласте на 3,5 м, видим, что начиная с июля уровень их оказывается намного



ниже проектного. Чтобы удерживать его на проектных отметках, достаточно создать такой пьезометрический напор, который соответствовал бы кривой 3, т. е. в течение первых 3 мес. откачек в пределах проектируемой территории необходимо получить среднее понижение пьезометрического напора 3,5 м, а затем — в соответствии с кривой 3.

Если откачками создадим среднее понижение пьезометрического напора 3,5 м и будем его удерживать таким до конца сентября, то уровень грунтовых вод опустится до глубины 5,67 м, что нам совершенно не нужно. Однако, если прекратим откачку в конце августа, уровень грунтовых вод к концу сентября поднимется только до глубины 2,61 м.

Следовательно, при работе скважин вертикального дренажа в отделении им. Ильича совхоза «Пахта-Арал» мелиоративное благополучие земель может быть достигнуто или при переменной интенсивности откачек из этих скважин, или же при постоянной интенсивности откачек в течение 6 мес. (март — август), во время которых будет получено понижение пьезометрического напора 3,5 м. Так как эксплуатация скважин, работающих с постоянной интенсивностью, наиболее проста, то последний вариант и может быть принят в качестве руководства к действиям.

Таким образом, используя предлагаемую нами методику расчета, можно определить во времени такой средний пьезометрический напор в первом, хорошо проницаемом водоносном пласте, подлежащем дренированию, при котором в покровных мелкоземлах будут получены скорости фильтрации, обеспечивающие создание нужного режима уровня грунтовых вод на рассматриваемом участке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Решеткина Н. М. Гидрогеологические основы вертикального дренажа, Ташкент, АН УзССР, 1960.
  2. Крылов М. М. К изучению динамического баланса грунтовых вод в целях гидрогеологического прогноза, Ташкент, АН УзССР, 1959.
  3. Владимиров А. Г. Мелиоративная гидрогеология, М., Госгеолтехиздат, 1960.
  4. Кенесарин Н. А. Формирование режима грунтовых вод орошаемых районов, Ташкент, АН УзССР, 1959.
  5. Александрян В. В. Проектирование и расчет вертикального дренажа, Ереван, Сельхозгиз, 1957.
  6. Барон В. А. Расчет колебаний уровня грунтовых вод. В сб. «Вопросы энергетики, гидротехники и горного дела», Ташкент, АН УзССР, 1961.
-



## ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА И ПРОНИЦАЕМОСТИ ПРИФИЛЬТРОВОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ НА ЕЕ ДЕБИТ

Нашими исследованиями установлено, что одна из главных причин вторичного засоления многих районов Средней Азии — напорность хорошо водопроницаемого песчано-гравелистого пласта, залегающего под покровным мелкоземом. В Узбекистане к таким районам относятся Голодная степь, Центральная Фергана, часть земель Бухарской области. Для улучшения мелиоративного состояния этих земель наряду с горизонтальным дренажем начинает применяться вертикальный.

Цель строительства скважин вертикального дренажа — понижение пьезометрического напора основного водоносного горизонта и, следовательно, создание постоянного нисходящего вертикального тока грунтовых вод, в результате которого происходит вытеснение солей из почвогрунтов и грунтовых вод покровного суглинка. Нисходящий ток грунтовых вод создается под действием разности напора между уровнем грунтовых вод и уровнем пьезометрического напора водоносного пласта.

Темпы рассоления почвогрунтов в данном районе определяются величиной разности напора  $\Delta h$ , которая в свою очередь зависит от количества воды, откачиваемой из водоносного пласта, т. е. от дебита скважин вертикального дренажа. В зависимости от гидрогеологических параметров скважины на площади должны располагаться так, чтобы при минимальном количестве достигалась необходимая разность напора, а это происходит с увеличением их дебита.

Дебит скважин при одинаковых гидрогеологических условиях возрастает с увеличением их диаметра, а также улучшением проницаемости прифильтровой зоны.

Расход скважин повышается, во-первых, за счет увеличения площади соприкосновения фильтра с грунтом водоносного горизонта, во-вторых, вследствие улучшения проницаемости зоны, прилегающей к фильтру. Улучшение происходит в результате выноса мелких и отложений более крупных частиц в прифильтровой зоне скважины.

Существуют различные мнения, объясняющие влияние увеличения диаметра на повышение дебита скважин.

По И. М. Буачидзе и В. М. Насбергу [2], влияние диаметра грунтового совершенного колодца на дебит, с точностью достаточной для расчетов, выражается формулой Дюпюи, по которой дебит скважины определяется логарифмической зависимостью от ее диаметра.

Н. Н. Карлов [4], рассмотрев данный вопрос, пришел к выводу, что при одинаковых коэффициентах фильтрации, мощности водоносного пласта и положении уровня воды в скважине дебит совершенной артезианской скважины обратно пропорционален логарифму отношения двойного радиуса действия к диаметру фильтра. Исходя из этого, он считает, что повышение дебита увеличением диаметра фильтра целесообразно только в мелкозернистых песках с небольшим радиусом депрессионной воронки, а в более крупнозернистых песках и граве-



листых грунтах, где радиус влияния больше 400 м, увеличение будет незначительным.

По В. Н. Щелкачеву [7], если движение потока подчиняется закону Дарси, влияние диаметра колодца на его дебит может быть определено из условия, вытекающего из формулы Дюпюи

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{\lg \frac{R_0}{R'}}{\lg \frac{R_0}{R''}} \quad (1)$$

где  $R_0$  — радиус влияния, или контур питания скважин;  
 $Q'$  — дебит, соответствующий радиусу скважины  $R'$ ;  
 $Q''$  — дебит, соответствующий радиусу  $R''$ .

Если поток воды к скважине на контакте двух слоев подчиняется закону Краснопольского, то увеличение дебита определяется по формуле.

$$\frac{Q''}{Q'} = \sqrt{\frac{R'}{R''}} \quad (2)$$

По мнению В. Н. Щелкачева, формула (1) дает заниженный результат, а формула (2), наоборот, несколько завышенный. При этом он отмечает, что в гидродинамически несовершенных скважинах зависимость дебита от диаметра более значительна и только когда скважина вскрывает кровлю пласта, имеющего большую мощность, дебит ее приблизительно пропорционален диаметру.

В формуле Зихарда для определения максимального дебита  $Q = \pi dh \sqrt{\frac{k}{15}}$  а также в формуле Н. М. Победоносцева [6] для определения коэффициента фильтрации допускается прямо пропорциональная зависимость между дебитом скважины и ее диаметром.

По мнению Г. Н. Каменского [3], действительные соотношения между дебитом и диаметром скважины занимают среднее положение между крайними значениями, вытекающими из формулы Дюпюи и пропорциональной зависимости дебита скважины от ее диаметра.

А. П. Коротаев [5] лабораторными исследованиями установил, что в безнапорных условиях зависимость дебита от радиуса больше в мелкозернистых грунтах и при больших понижениях, чем в крупнозернистых грунтах и при малых понижениях.

Для сравнительной оценки влияния диаметра колодца на дебит в условиях безнапорного водоносного пласта Г. Н. Ассовский и А. А. Комарова [1] опробовали скважины, оборудованные сетчатыми фильтрами, обмотанными латунной сеткой галунного плетения, различных диаметров, в мелкозернистых песках. Полученные результаты показали, что при одинаковых коэффициентах фильтрации, мощности водоносного слоя, понижении уровня воды при откачке, длине фильтра дебит скважин возрастает, в ненапорных водах приблизительно на половину относительного увеличения диаметра скважин. Так, при увеличении диаметра скважины с 95 до 174 мм, т. е. на 83%, он повысился на 48%, а при увеличении с 95 до 280 мм (на 200%) — на 100%. При вычислении же дебита по формуле Дюпюи он возрастал соответственно на 10 и 18%.

Аналогичные расчеты В. Н. Щелкачева [7] показывают, что с увеличением диаметра скважины в десятикратном размере дебит воз-



растает на 25—45%, если расчет производится по формуле (1), и в 3,16 раза — по формуле (2).

Таким образом, все теоретические проработки [2, 4, 5, 7], исходящие из закона Дарси показывают, что при десятикратном увеличении диаметра фильтра прирост дебита составляет не более 30—50%, при этом, по их данным, по мере увеличения диаметра величина прироста падает. Резкое возрастание дебита происходит только в пределах 8—10".

Известно, что с ростом дебита увеличивается рабочий напор и связанный с ним радиус влияния скважин, а также меняется проницаемость фильтровой зоны. Между тем во всех вышеуказанных работах не учитывается приращение рабочего напора, контура питания, а также изменения проницаемости прифильтровой зоны скважин, происходящие в результате выноса мелкозернистых частиц из области контакта фильтра с грунтом водоносного горизонта.

В связи с этим интересно рассмотреть результаты наблюдений, полученные по скважинам вертикального дренажа, построенных в Голодной степи, хотя по длине фильтра они несколько отличаются друг от друга.

В 1928 г. для изучения влияния вертикального дренажа на понижение уровня грунтовых вод на склоне Шурузякского понижения Н. В. Макридин заложил одну скважину.

Литологическое строение Шурузякского массива представляет следующую картину. На глубину 20—28 м залегают суглинки с отдельными редкими прослойками глин и песков. Покровные суглинки подстилаются разнотернистыми песками, местами с примесью гравия и прослойками глин, реже гравия, мощностью 20—35 м. Ниже залегает гравелисто-песчаная толща с прослойками плывунных песков и глин. Содержание гравия в составе толщи различно: в отдельных пластах до 95%, в других — до 10—15.

Н. В. Макридин принял такую конструкцию скважины. Покровный суглинок и мелкозернистый плывунный песок перекрывался 12-дюймовыми трубами общей длиной 46 м. С 45 м в эту трубу на глубину 70 м опущен перфорированный каркас из 10-дюймовой трубы, обмотанной сеткой из гальванизированной проволоки. В интервале 45—51 м сетка имела плетение с просветом 3 мм; на глубине от 51 до 57 м — 1 мм, а в интервале 57—69 м — 3 мм. Нижняя часть 10-дюймовой трубы забита деревянной пробкой.

Результаты откачки приводятся в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что прирост удельного дебита происходит только в результате улучшения проницаемости прифильтровой зоны скважины, т. е. за счет формирования естественного гравийного фильтра. При этом по мере повышения дебита и удельного дебита отмечалось возрастание контура питания скважины, что указывает на увеличение мелниорируемой площади.

В этом же районе в 1949 г. Г. Д. Антоновой построена скважина глубиной 80 м. Она оборудована гравийно-сетчатым фильтром из каркаса, представляющего собой 12-дюймовую перфорированную трубу с круглыми отверстиями при скважности 10%.

Каркас обмотан 3-миллиметровой проволокой с шагом витков 15—20 мм. Гравийно-сетчатый фильтр установлен в интервале 22,76—74,25 м, и с глубины 74,25 ÷ 77,08 м располагался отстойник.

Фильтр изготовлен из сетки квадратного плетения с просветом 1,5 × 1,5 мм, а зазор между сетками засыпан гравием с размером частиц 2—8 мм (толщина слоя 5—7 см).



Достигнутый максимальный дебит при понижении уровня воды в скважине 25—26 м составляет 53—54 л/сек, удельный дебит — 2 л/сек.

Несмотря на то что диаметр скважины Антоновой на 2" больше диаметра скважины Макридина, удельный дебит ее в 2 раза меньше. Это объясняется большими потерями напора гравийно-сетчатого фильтра.

Т а б л и ц а 1

| Длина<br>фильтра,<br>м | Дебит<br>скважины,<br>л/сек | Понижение<br>в скважине,<br>м | Удельный<br>дебит,<br>л/сек | Удельный<br>дебит на 1 м<br>фильтра,<br>л/сек |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| 25                     | 11                          | 3,5                           | 3,1                         | 0,44                                          |
| •                      | 14                          | 4,1                           | 3,5                         | 0,55                                          |
| •                      | 32                          | 7,9                           | 4,1                         | 1,28                                          |
| •                      | 37                          | 8,1                           | 4,5                         | 1,48                                          |

Принятая сетка просветом  $1,5 \times 1,5$  мм не обеспечила формирования гравийного фильтра большой толщины из грунта водоносного пласта.

В 1959 г. на Шурузякском массиве на территории совхоза «Социализм» построено 12 скважин диаметром 700 и 900 мм.

Техническая характеристика конструкции первых 7 скважин, эксплуатировавшихся в 1960/61 г. приводится в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

| Номер<br>скважи-<br>ны | Глубина,<br>м | Диаметр<br>проходки,<br>мм | Длина рабо-<br>чей части,<br>м | Толщина<br>обсыпки,<br>мм |
|------------------------|---------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1                      | 75            | 700                        | 24,3                           | 187,5                     |
| 2                      | 68            | 900                        | 25,0                           | 287,5                     |
| 3                      | 83            | 900                        | 33,5                           | 287,5                     |
| 4                      | 74            | 900                        | 35,85                          | 287,5                     |
| 5                      | 76            | 700                        | 39,3                           | 187,5                     |
| 6                      | 76            | 900                        | 37,0                           | 287,5                     |
| 9                      | 69            | 700                        | 40,5                           | 187,5                     |

П р и м е ч а н и е. Диаметр фильтрового каркаса скважин 325 мм; тип перфорации шелевой; скважность 21%.

Результаты, полученные в процессе откачки, показывают, что несмотря на лучшие условия для работы фильтра в составе толщ содержится значительно меньшее количество мелкозернистых песков. Удельный дебит 1-ой скважины на 3,2 л/сек меньше удельного дебита 2-ой, где толщина обсыпки на 100 мм больше. Удельный же дебит 3-ей скважины на 2,27—5,5 л/сек (на 20—60%) больше, чем у 5-ой и 9-ой, хотя рабочая часть каркаса последних на 5—7 м длиннее фильтра 3-ей скважины (табл. 2 и 3).

В гидродинамических, несовершенных по глубине вскрытия пласта скважинах увеличение дебита занимает близкое положение к пропорциональной зависимости дебита скважин от их диаметра (рис. 1). В таких скважинах в процессе откачки вследствие выноса мелких частиц и отложения более крупных в зоне контакта обсыпки с грунтом водо-



носного горизонта происходит дальнейшее формирование естественно-гравийного фильтра. Данное явление сильнее в скважинах, оборудованных фильтрами меньшего диаметра. Поэтому увеличение дебита скважины благодаря формированию естественно-гравийного фильтра не учитывается при сравнении.

Т а б л и ц а 3

| Номер скважины | Дебит, л/сек | Понижение, м | Удельный дебит, л/сек | Удельный дебит на 1 м фильтра, л/сек |
|----------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 1              | 110          | 10           | 11                    | 4,52                                 |
| 2              | "            | 7,8          | 14,2                  | 4,4                                  |
| 3              | "            | 7,40         | 14,8                  | 3,3                                  |
| 5              | "            | 8,75         | 12,5                  | 2,82                                 |
| 9              | 90           | 9,0          | 10                    | 2,22                                 |

Сметная стоимость строительства (включая строительную откачку) скважин глубиной 100 м, диаметром 700 мм составляет 20916, а диаметром 900 мм — 22478,7 руб. Удельная затрата на 1 л/сек расхода

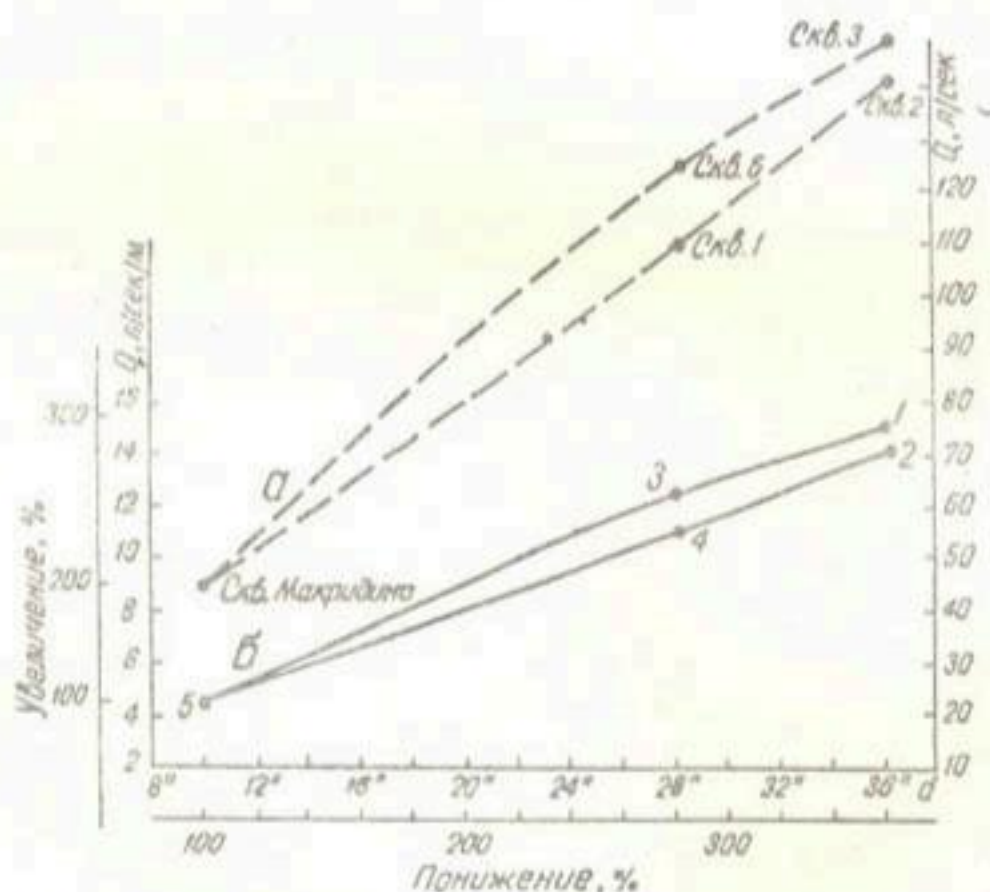


Рис. 1. График изменения дебита скважин в зависимости от диаметра.

$a-Q=f(s, d)$ . Кривые дебита приведены для  $s=10$  м;  $b-q=f(s, d)$ : 1—точка, полученная на скв. 3 ( $d=900$  мм), 2—на скв. 2 ( $d=900$  мм), 3—на скв. 5 ( $d=700$  мм), 4—на скв. 1 ( $d=700$  мм), 5—на скв. Макридино ( $d=250$  мм).

(при одинаковом понижении динамического уровня воды в скважине — 10 м) у скв. 1 и 5 диаметром 700 мм достигает 167—190 руб., а у скв. 2 и 3 диаметром 900 мм—152—158,5, т. е. на 10—12% дешевле.

В 1952 г. на территории колхоза им. Карла Маркса Сырдарьинского района пробурено 3 скважины вертикального дренажа, вскрыв-



шие следующий разрез: суглинок — 2,1 м, супесь — 2,4, песок мелко-вернистый заиленный — плавун — 1,4, песок мелкозернистый, содержащий рассеянные зерна гальки, гравия, а также прослой глины и суглинков (мощность прослоев не превышает 10 см). К подошве толщи содержание в песке гравелисто-галечникового материала возрастает; преобладают частицы размером от 0,25 до 0,1 мм (82—91%); частицы < 0,1 мм составляют от 3—4 до 15%. Общая мощность песчаной толщи 38,5 м; она подстилается суглинками мощностью 10,8 м в интервале 43,3—54,1 м. Ниже залегают различные по толщине прослойки суглинков, супеси и песков.

Характеристика фильтрового каркаса скважин приводится в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

| Номер скважины | Глубина, м | Тип фильтра                       | Диаметр фильтрового каркаса, мм | Длина фильтра, м | Диаметр проходных отверстий, мм | Скважность, % |
|----------------|------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------|
| 1              | 48         | Гравийно-сетчатый                 | 14" (350)                       | 41               | 14—18                           | 10            |
| 2              | 50         | Дырчатый, с проволоочной обмоткой | .                               | 42               | .                               | .             |
| 3              | 51         | .                                 | .                               | 43               | .                               | .             |

В процессе строительной откачки при помощи компрессоров и насоса ВП-24 × 5 большое количество песка, выносимое из прифильтровой зоны, замещалось засыпаемым в забой гравием. При этом по мере формирования фильтра увеличиваются как удельный дебит, так и радиус влияния скважины; величина приращения их соответствует количеству погружаемого гравия, т. е. образовавшейся толщине обсыпки (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

| Номер скважины | Дебит, л/сек | Понижение, м | Удельный дебит, л/сек | Объем вынесенного песка, м³ |
|----------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1              | 41,3—50,8    | 7,8—10,1     | 5,02—5,04             | 45                          |
| 2              | 44,3—65,2    | 7,5—10,9     | 5,6—5,9               | 60—70                       |
| 3              | 25,1—40,5—90 | 3,8—6,2—12,7 | 6,4—6,55—7,1          | 110—120                     |

| Номер скважины | Объем засыпанного гравия, м³ | Диаметр просалочной воронки, м | Толщина образовавшегося фильтра, мм | Радиус влияния, м |
|----------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 1              | 45                           | 1,9                            | 0,325                               | 290               |
| 2              | 85—90                        | 2,6                            | 0,725                               | 340               |
| 3              | 135—145                      | 3,30                           | 1,35                                | 520               |

Удельные затраты (в расчете на 1 л/сек дебита) на строительство 2-ой и 3-ей скважин по сравнению с удельными затратами на строительство 1-ой снизились соответственно на 11 и 13—14%. Удельные капиталовложения на 1 га мелиорируемой земли 3-ей скважины почти в 2 раза меньше удельных затрат на 1 га 1-ой скважины.



Величина прироста дебита этих совершенных скважин оказывается между крайними значениями, вытекающими из формулы Дюпюи и пропорциональной зависимости дебита от диаметра (рис. 2.).

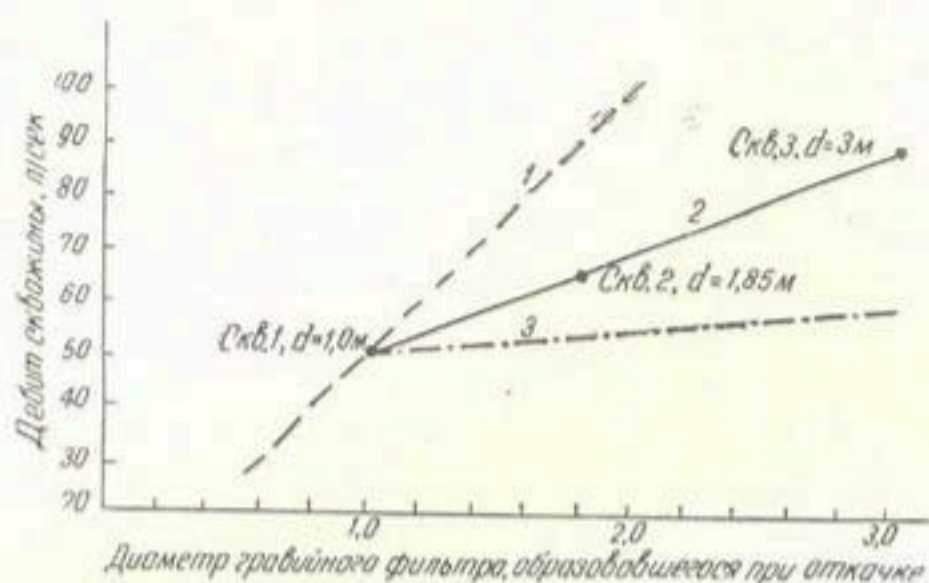


Рис. 2. График изменения дебита скважин в зависимости от диаметра.

1— $Q=f(d)$ —по формуле Зихарда, 2— $Q=f(S, d)$ —по данным Узбекского гидрогеологического треста, 3— $Q=f(d)$ —из зависимости Дюпюи.

Для мелиорации земель г. Гулистан построено 5 скважин.

Литологический разрез территории с поверхности представлен пылеватыми суглинками мощностью 25—35 м. Под ними залегают мелко-среднезернистые пески с размерами частиц 0,25—0,5 мм (30—40%) и 0,25—0,1 мм (40—50%). Мощность слоя 25—35 м. Ниже — суглинок тяжелый, являющийся водоупором для скважин мощностью 4—8 м.

Конструкцию этих скважин характеризуют данные табл. 6.

Т а б л и ц а 6

| Номер скважины | Глубина, м | Тип фильтрового каркаса         | Длина фильтрового каркаса, м | Размеры проходных отверстий, мм | Скважность, % |
|----------------|------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1              | 57,0       | Дырчатый с проволочной обмоткой | 15,8                         | 10                              | 22,5          |
| 2              | 46,0       | Щелевой                         | 15,4                         | 12                              | 26            |
| 3              | 48,5       | Щелевой                         | 14,42                        | 30×6                            | 25            |
| 4              | 49,0       | Дырчатый с проволочной обмоткой | 9,9                          | 10                              | 26,7          |
| 5              | 56,0       | Щелевой                         | 20,78                        | 10—12                           | 21,0          |

П р и м е ч а н и е. Диаметр фильтрового каркаса 326 мм.

Во всех пяти скважинах также отмечается увеличение удельного дебита при формировании гравийного фильтра (табл. 7). При этом прирост дебита в конце откачки составляет 200% к первоначальному, а размеры указанного диаметра фильтра в результате засыпки гравия в забой увеличиваются в 4—5 раз.



Особенно резкое изменение отмечается на скв. 4, где удельный дебит возрос на 250%. Кроме того, как дебит, так и удельный дебит ее на 50—70% больше, чем в других скважинах, хотя длина фильтра в 2 раза меньше; причем при формировании гравийного фильтра затраты на

Таблица 7

| Номер скважины | Начальный период откачки (без гравийного фильтра) |              |                       | В процессе формирования фильтра |              |                       |                           |              |                       |                        |                              |                                                             |
|----------------|---------------------------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|--------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                | дебит, л/сек                                      | понижение, м | удельный дебит, л/сек | дебит, л/сек                    | понижение, м | удельный дебит, л/сек | максимальный дебит, л/сек | понижение, м | удельный дебит, л/сек | объем выноса песка, м³ | объем засыпанного гравия, м³ | толщина гравийного фильтра, образовавшегося при откачке, мм |
| 1              | 29                                                | 6,1          | 4,75                  | 43,3                            | 8,4          | 5,2                   | 67                        | 12,2         | 5,5                   | 21                     | 23,8                         | 0,5                                                         |
| 2              | 20,5                                              | 6,5          | 3,1                   | 28,0                            | 8,0          | 3,5                   | 62,6                      | 12,1         | 5,3                   | 92,1                   | 34,2                         | 0,65                                                        |
| 3              | 20                                                | 4,3          | 4,6                   | 33,0                            | 5,5          | 6,0                   | 65                        | 10,0         | 6,5                   | 75,0                   | 38,0                         | 0,7                                                         |
| 4              | 23                                                | 6,5          | 3,55                  | 33,0                            | 7,0          | 4,6                   | 82                        | 10,0         | 8,2                   | 61,1                   | 28,0                         | 0,8                                                         |
| 5              | 26                                                | 5,3          | 4,9                   | 37,0                            | 5,8          | 6,4                   | 68                        | 10,5         | 6,5                   | 76,1                   | 42,9                         | 0,7                                                         |

1 л/сек дебита снизились по сравнению с первоначальными почти в 1,5—2 раза. Например, первоначальные затраты составляли 625—1000 руб. на 1 л/сек, а в конце откачки они снизились до 385—600 руб.

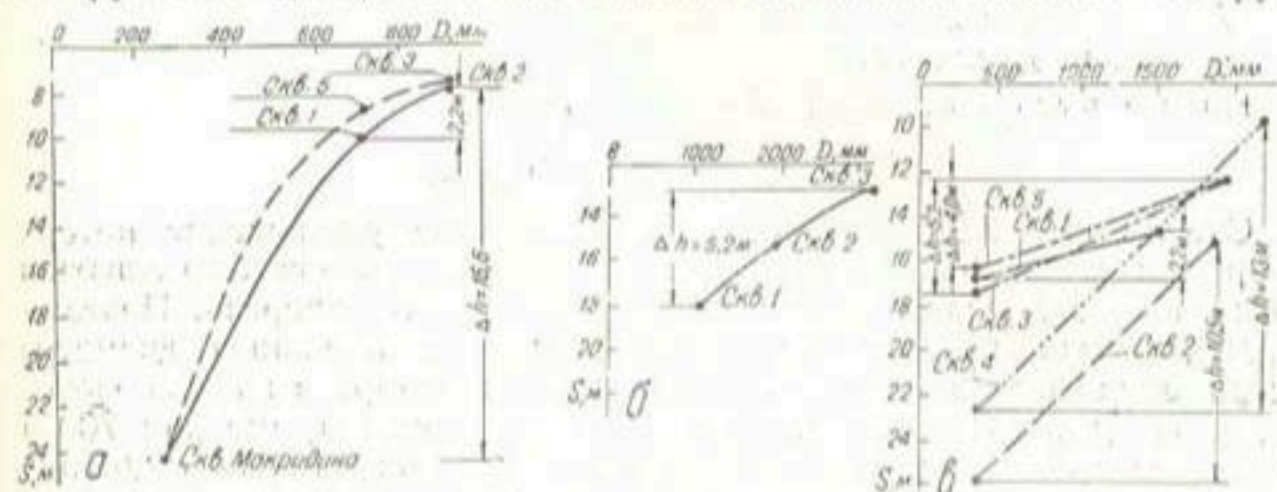


Рис. 3. График изменения понижения  $S$  в зависимости от диаметра скважин при постоянном дебите.

а—Шурузакский участок,  $Q=110$  л/сек; б—Великоалексеевский участок,  $Q=90$  л/сек; в—Гулистанский участок,  $Q=90$  л/сек.

Кроме того, из вышеприведенных таблиц видно, что во всех скважинах, построенных как в мелкозернистых, так и гравелистых грунтах, по мере увеличения толщины гравийной обсыпки происходит прирост удельного дебита и, следовательно, дебита скважин при одинаковом понижении. Это объясняется уменьшением входных сопротивлений в зоне гравийного фильтра скважины.

Снижение сопротивления в зоне фильтра в зависимости от увеличения диаметра скважины (толщины обсыпки) составляет значительную величину (рис. 3): на Шурузакском участке 1,5—2,5 м при изменении диаметра от 700 до 900 мм, 14—17 м при изменении диаметра от 250 до 900 мм; на Великоалексеевском — 5,5 м при изменении диаметра от 1 до 3 м, а на Гулистанском — от 2,2 до 4,0—5,2 м в скв. 1, 3 и 5; 10,5—13,0 м в скв. 2 и 4 при изменении диаметра гравийной обсыпки от 0,35 до 2 м. Такая большая разница первоначального сопротивления



между скв. 1, 3 и 5 и скв. 2 и 4 объясняется густотой шага витков проволоочной обмотки, поэтому в дальнейшем при оборудовании скважин гравийной обсыпкой от нее нужно отказаться.

Известно, что ежегодные эксплуатационные затраты вертикального дренажа складываются из следующих величин:

$$K_a = qK_1 + K_2 + K_3 + K_4,$$

где  $K_1$  — капитальные затраты (в руб.) на строительство и оборудование скважины;

$q$  — норма амортизации;

$K_2$  — затраты на текущий ремонт и прочие нужды;

$K_3$  — затраты на содержание эксплуатационного штата;

$K_4$  — затраты на электроэнергию, используемую для подъема воды

На электроэнергию насосно-силового оборудования приходится основная часть эксплуатационных затрат. Она выражается  $K_4 = nNT$ ,

где  $N$  — мощность, потребная для привода насоса, *квт.ч*;

$T$  — потребное время эксплуатации скважины (часы) назначается исходя из задания вертикального дренажа;

$n$  — число колодцев.

Потребная мощность двигателя насоса определяется по формуле

$$N = \frac{QH}{102\eta_{\text{н}}},$$

где  $Q$  — производительность насоса, *л/сек*;

$H$  — полная высота водоподъема;

$\eta_{\text{н}}$  — к. п. д. насоса.

Полная высота подъема  $H$  складывается

$$H = H_{\text{дин.ур}} + H_{\text{ст}} + \Sigma h_{\text{потерь}}.$$

Отсюда вытекает, что даже незначительное уменьшение потери напора позволяет снизить эксплуатационные затраты системы скважин вертикального дренажа благодаря экономии электроэнергии. Поэтому затраты, связанные со строительством скважин большого диаметра быстро окупаются за счет снижения потери напора в зоне фильтра. Так, разница затраты на строительство скважины диаметром 700 и 900 мм, составляющая  $22479 - 20916 = 1563$  руб., окупается за 2,5 года эксплуатации при уменьшении потери напора  $h = 2,5$  м, которая фактически имеется в скв. 1 и 2, а также в скв. 3 и 5 Шурузякского участка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ассовский Г. Н., Комарова А. А. „Разведка и охрана недр“, 1957, № 7.
2. Буачидзе И. М., Насберг В. М. „Разведка и охрана недр“, 1955, № 2.
3. Каменский Г. Н. Основы динамики подземных вод, ч. II, изд. 2, Госгеолгиздат, 1943.
4. Карлов Н. Н. „Разведка недр“, 1937, № 6.
5. Коротаев А. П. „Разведка недр“, 1938, № 1.
6. Победоносцев Н. М. Метод определения коэффициента фильтрации (водопроницаемости) водоносных грунтов при помощи пробных откачек воды из отдельных буровых скважин, В сб. „Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии“, вып. 8, Гидротехгеонинститут, 1933.
7. Щелкачев В. Н. „Нефтяное хозяйство“, 1945, № 10, 1946, № 2.



Н. М. РЕШЕТКИНА, Х. ЯКУБОВ, А. УМАРОВ, В. А. БАРОН

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ГОЛОДНОЙ СТЕПИ УЗССР

В 1956 г. ЦК КП УзССР и Советом Министров УзССР решено построить опытные системы вертикального дренажа в Голодной степи: одну в условиях Шурузякского понижения (Шурузякский участок), вторую в условиях надпойменной террасы (Мирзачульский участок).

**Шурузякский участок.** Расположен в средней части Шурузякского понижения, в 3 км к западу от центра совхоза «Социализм» Комсомольского района Ташкентской области. Понижение находится в пределах юго-восточной части Голодностепского аллювиального бассейна и в геолого-литологическом отношении имеет много общего со строением всего бассейна.

Поверхность участка почти ровная, с общим уклоном с юго-востока на северо-запад.

С гидрогеологической точки зрения наибольшее значение в сложении участка имеют четвертичные пролювиальные и аллювиальные отложения.

Суглинки и подстилающие их песчаная и гравийно-галечниковая толщи насыщены напорными водами и представляют собой единый мощный водоносный горизонт.

Источники питания грунтовых вод — фильтрационные воды из оросительных каналов и с орошаемых полей, а также подземные воды, поступающие из толщи песчано-галечникового аллювия Чирчика и Ангрена.

Отток грунтовых вод с территории по геологическим особенностям значительно затруднен.

Строительство опытно-производственной системы вертикального дренажа на этом участке начато в 1959 г. К началу 1961 г. имелось уже 11 основных скважин.

С июня 1960 г. и по настоящее время эксплуатировались в основном 5 скважин, из них 4 (№ 1, 2, 4, 5) расположены в плане по углам неправильного четырехугольника площадью 108 га, а одна (№ 6) внутри него, образуя «конверт». Расстояния между этими скважинами колеблются от 650 до 1100 м. Остальные скважины размещаются по левую и правую стороны от «конверта» на расстояниях 700—1100 м.

Для наблюдений за динамикой грунтовых и напорных вод на территории опытно-производственного участка площадью около 2000 га в 1960 г. установлено 112 пьезометров, собранных в 34 куста, на глубину 12, 35, 50 м, а в конце 1961 г. еще 10 кустов из 27 пьезометров с сетчатыми фильтрами, заложенными на глубинах от 5 до 50 м.



Для изучения водного баланса, поступления воды на балансовый участок, отвода дренажных вод с него и воды, откачиваемой из скважин, мы оборудовали все поверхностные водотоки водомерными сооружениями. Испарение и транспирацию определяли на стационарных точках по методике Скворцова.

Режим откачек воды из скважин в 1961 г. показан в табл. 1.

Таблица 1

| Режим работы                | Номер скважины |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|
|                             | 1              | 2    | 4    | 5    | 6    | 3    | 9    |
| Время откачек, час.         |                |      |      |      |      |      |      |
| расчетное                   | 8760           | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | 2928 |
| фактическое                 | 6003           | 4496 | 3240 | 4804 | 6227 | 977  | 788  |
| Простой, час.               | 2767           | 4264 | 5520 | 3956 | 2223 | 7883 | 2140 |
| Коэффициент работы скважин* | 0,68           | 0,51 | 0,37 | 0,54 | 0,75 | 0,11 | 0,26 |

\* Отношение времени фактического к расчетному.

Откачка воды из скважин проводилась с частыми перерывами, что отрицательно отражалось на результатах исследований.

О работе отдельных скважин можно судить по следующим данным.

| Номер скважины | Максимальный расход воды, л/сек | Снижение динамического уровня, м | Удельный дебит на 1 м понижения, л/сек |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
| 1              | 110                             | 9—10                             | 11—12                                  |
| 2              | "                               | 9—10                             | 11—12                                  |
| 4              | "                               | 10                               | 11                                     |
| 5              | "                               | 7,8—8                            | 13—14                                  |
| 6              | "                               | 10                               | 11                                     |
| 3              | "                               | 8                                | 13,5                                   |
| 9              | 80                              | 7,5                              | 10,5                                   |

Дебит всей системы скважин колебался в пределах 300—700 л/сек и в среднем составлял 0,5 м<sup>3</sup>/сек.

Таким образом, всей системой скважин в 1961 г. откачено 14,6 млн. м<sup>3</sup> минерализованных грунтовых вод.

Исходная (к началу откачек в 1961 г.) глубина грунтовых вод и пьезометрический напор (от поверхности земли, м) и их динамика в процессе откачек характеризуются данными табл. 2.

Таблица 2

| Дата определения | Площадь „конверта“    |                        | Балансовый участок    |                        |
|------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|                  | глубина грунтовых вод | пьезометрический напор | глубина грунтовых вод | пьезометрический напор |
| 1. I             | 1,3—1,4               | 1,0—1,8                | 1,3—1,4               | 1,4—1,8                |
| 30. III          | 2,5—3,5               | 3,0—4,5                | 1,2—1,5               | 1,4—1,8                |
| 30. XI           | 2,5—3,5               | 3,0—3,5                | 1,8—2,2               | 1,0—2,2                |

Наблюдения за скважинами, пробуренными до уровня грунтовых вод в марте 1961 г., показывают, что грунтовые воды в 50 м от основной скважины залегают на глубине 3,8 м; в 100 м — на 3,7; в 300 м — на 2,87 — 3,0.



Общее понижение пьезометрического напора на площади «конверта» в июле обеспечило снижение уровня грунтовых вод со средней скоростью 0,02 м/сутки, а на примыкающей территории она составляла 0,005—0,007.

По результатам полевых исследований установлены значения водопроницаемости покровного мелкозема и первой, хорошо проницаемой гравелистой толщи грунтов. Применяя метод наливов в мелкие шурфы, выявили, что коэффициент фильтрации покровных отложений равняется 1—3 м/сутки; при определении его методом Нестерова оказалось, что для верхних 2—3 м он изменяется в пределах 0,4—7,0 м/сутки.

Лабораторные испытания монолитов, отобранных при ручном бурении скважин, показали, что коэффициент фильтрации имел следующие значения.

| Глубина взятия пробы, м | $k$ , м/сутки |
|-------------------------|---------------|
| 6                       | 0,00034       |
| 8                       | 0,000115      |
| 10                      | 0,000162      |
| 12                      | 0,000204      |
| 14                      | 0,00157       |
| 19                      | 0,00063       |

Эти данные показывают, что покровные суглинки, мощность которых 20—25 м, неоднородны: верхние слои обладают большей водопроницаемостью, нижние — меньшей. Поэтому наиболее точным методом определения среднего коэффициента фильтрации покровных суглинков при вертикальном движении через них грунтовых вод следует признать непосредственные наблюдения за движением их по пьезометрам. Средний коэффициент фильтрации находится по формуле

$$k = \sigma \frac{LS}{\Delta H t},$$

где  $\sigma$  — водоотдача грунта;

$L$  — расстояние от уровня грунтовых вод до основного водоносного горизонта;

$S$  — понижение уровня грунтовых вод за время  $t$ ;

$\Delta H$  — разность напоров, под действием которой понижается уровень грунтовых вод.

Все результаты приведены в табл. 3.

Коэффициент фильтрации хорошо проницаемого гравийно-песчаного (водоносного) горизонта определялся по формуле Насберга с учетом основного предположения М. Е. Альтовского: дебит скважины зависит не от начального уровня воды в ней, а только от относительного понижения динамического уровня (табл. 4.)

Средний коэффициент фильтрации гравийно-песчаной толщи равняется 43 м/сутки, т. е. почти в 2 раза меньше принятого в проекте.

Радиус влияния одной скважины прослеживается на 800—900 м при  $Q = 100$  л/сек, а системы из пяти скважин — «конверта» — с расходом 0,7 м<sup>3</sup>/сек — 1800—1900 м.

Минерализация откачиваемой из скважины воды различная (1,39—1,96 г/л по плотному остатку) и по сравнению с 1960 г. имеет тенденцию к увеличению, что видно из следующих данных.



Номер скважины

Сентябрь 1960 г.

Сентябрь 1961 г.

|   |      |      |
|---|------|------|
| 1 | 1,63 | 1,80 |
| 2 | 1,75 | 1,96 |
| 3 | 1,54 | 1,61 |
| 5 | 1,28 | 1,39 |
| 6 | 1,28 | 1,41 |

Таблица 3

| Номер куста | $\alpha$ | $L, м$ | $S, м$ | $\Delta H, м$ | $t, сутки$ | $k, м/сутки$ |
|-------------|----------|--------|--------|---------------|------------|--------------|
| 1           | 0,04     | 25,5   | 0,25   | 0,5           | 4          | 0,13         |
|             | 0,1      |        |        |               |            | 0,3          |
| 5           | 0,04     | 17,5   | 0,3    | 0,67          | 8          | 0,04         |
|             | 0,1      |        |        |               |            | 0,1          |
| 6           | 0,04     | 19,3   |        | 0,15          | 13         | 0,12         |
|             | 0,1      |        |        |               |            | 0,3          |
| 15          | 0,04     | 23,9   | 0,07   | 0,2           | 2          | 0,17         |
|             |          | 24,25  | 1,5    | 0,8           | 4          | 0,45         |
|             | 0,1      | 23,9   | 0,07   | 0,2           | 2          | 0,42         |
|             |          | 24,25  | 1,5    | 0,8           | 4          | 0,13         |
| 16          | 0,04     | 22,75  | 2      | 2,75          | 3          | 0,07         |
|             | 0,1      |        |        |               |            | 0,17         |
| 17          | 0,04     | 24,0   | 0,22   | 0,52          | 7          | 0,06         |
|             |          | 24,2   | 0,15   | 0,8           | 3          |              |
|             | 0,1      | 24,0   | 0,22   | 0,52          | 7          | 0,15         |
|             |          | 24,2   | 0,15   | 0,8           | 3          |              |
| 24          | 0,04     | 28,0   | 0,7    | 0,9           | 4          | 0,2          |
|             | 0,1      |        |        |               |            | 0,5          |
| 36          | 0,04     | 20,25  | 0,06   | 0,4           | 3          | 0,04         |
|             |          |        |        |               |            | 0,1          |

Примечание. При  $\alpha = 0,04$   $k_{ср} = 0,13$  м/сутки, при  $\alpha = 0,1$   $k_{ср} = 0,3$ .

Наблюдениями установлено, что степень минерализации грунтовой воды и почвогрунтов (покровного суглинка) уменьшается с глубиной. Это уменьшение прослеживается до 16 м (данные анализа проб динамической точки III); ниже, на глубине 16—18 м, минерализация резко возрастает и в 1961 г. доходила до 7,020 г/л, в то время как в 1960 г. она составляла всего 2,496 г/л.

Таблица 4

| Номер скважины | $Q, м^3/сутки$ | $S, м$ | Номер куста | $S_1, м$ | $x_1, м$ | Номер куста пьезометров | $S_2, м$ | $x_2, м$ | $k, м/сутки$ |
|----------------|----------------|--------|-------------|----------|----------|-------------------------|----------|----------|--------------|
| 1              | 70             | 6,22   | 23          | 1,16     | 50       | 3                       | 0,29     | 500      | 40,6         |
|                | 120            | 13,05  | 1           | 1,8      | 30       | 23                      | 1,4      | 50       | 44,2         |
| 2              | 45             | 5,46   | 35          | 1,25     | 100      | 36                      | 0,99     | 358      | 45,7         |
| 4              | 160            | 14,7   | 5           | 3,42     | 40       | 4                       | 0,35     | 280      | 42,0         |
| 5              | 60             | 7,3    | 5           | 1,02     | 40       | 4                       | 0,37     | 280      | 40,5         |

Запасы солей в толще почвогрунтов под влиянием работы вертикального дренажа уменьшаются, передвигаясь вниз по профилю, что видно из следующих данных (результаты проб грунта из динамической точки II).



| Запасы солей на 1 га, т           | Октябрь<br>1960 г. | Октябрь<br>1961 г. | Уменьшение |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|------------|
| В метровом слое                   | 388,9              | 198,4              | 190,5      |
| В двухметровом слое               | 602,3              | 373,4              | 228,9      |
| Во всей толще покровных суглинков | 941,0              | 856,2              | 84,8       |

Анализ структуры водного баланса для участка показал следующее:

а) грунтовые воды накапливались преимущественно благодаря превышению подземного притока над оттоком;

б) испарение и транспирация грунтовых вод превышает инфильтрацию поливных вод и осадки вместе взятые. Однако к концу года баланс их оказывается положительным за счет подземного притока;

в) откачки воды из скважин вертикального дренажа существенного изменения в запасах грунтовых вод на площади 2000 га не дали, ввиду недостаточного количества их на такой площади, хотя в пределах «конверта» наблюдался положительный эффект от применения вертикального дренажа.

Коэффициент земельного использования площади балансового участка в 1961 г. составлял 0,6; главная культура — хлопчатник (до 70%).

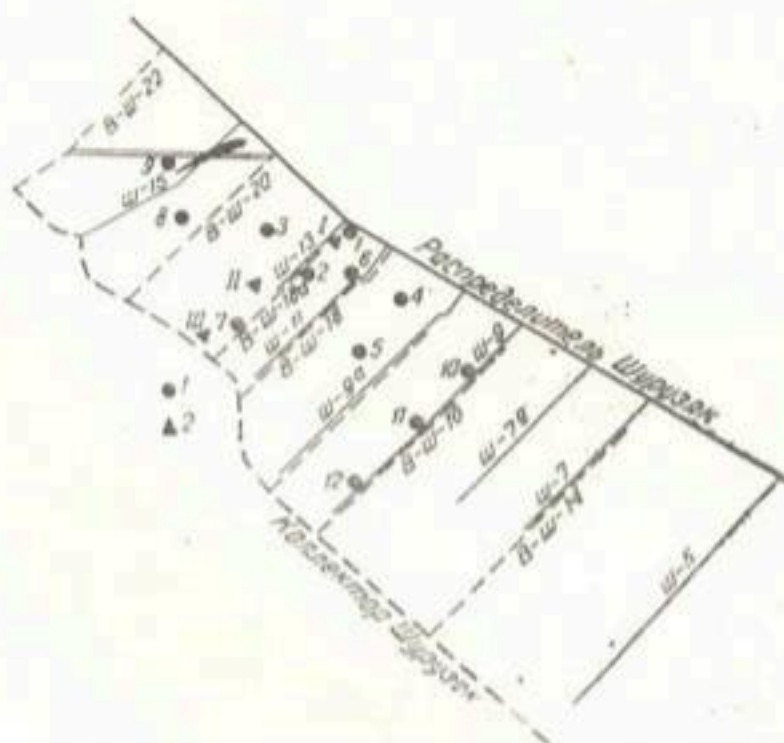
Средняя урожайность хлопчатника за 1959—1961 гг. на территории III отделения совхоза, куда входит балансовый участок, соответственно равнялась 15,1, 14,5 и 17,5 ц/га; на площади «конверта» (бригада 3), в зоне влияния системы вертикального дренажа, за эти же годы она составляла 16, 17,8 и 22,3 ц/га.

Результаты, приведенные выше, характеризуют достаточно высокую мелиоративную эффективность вертикального дренажа в рассматриваемых условиях.

**Мирзачульский участок (г. Гулистан).** Расположен в северо-восточной части Голодной степи на поверхности третьей надпойменной террасы Сыр-Дарьи. Поверхность равнинная, с общим уклоном с юго-востока на северо-запад.

В геологическом строении территории участка принимает участие мощная толща аллювиальных отложений четвертичного возраста, представленная различными по составу и плотности суглинками, песком, песком с включением гравия, мелкой гальки и глинами. С поверхности залегают суглинки, мощность которых колеблется в пределах 20—30 м.

Магистральный канал им. Кирова и канал К-3, ограничивающие территорию города с северо-востока и юга, проходят в полувыемке в полунасыпи с превышением горизонта воды над поверхностью земли



План опытно-производственного участка вертикального дренажа совхоза «Социализм» Комсомольского района Ташкентской области.

1—опытные вертикальные скважины; 2—точки, из которых отбирались образцы на полный химический анализ.



территории города на 1,5—2,0 м. Оба канала работают постоянно и очень редко закрываются на короткий период зимой и весной.

Грунтовые воды на участке формируются за счет подземного притока через покровные суглинки и фильтрационных вод из КМК и К-3.

Общей схемой мелиоративного улучшения земель Гулистана (бывш. Мирзачуль) с помощью вертикального дренажа на территории около 1000 га намечено строительство 25 скважин.

К 1961 г. в городе построено 5 скважин, размещенных на юго-восточном участке его территории, в развилке КМК — распределитель К-3. Расстояния между скважинами 400—500 м. Для наблюдения за грунтовыми водами на участке влияния скважин площадью около 150 га установлено 110 пьезометров.

В 1961 г. откачки проводились из трех скважин (№ 3, 4 и 5).

В процессе наблюдений за работой скважин получены следующие результаты.

| Параметры                               | Номер скважины |      |      |
|-----------------------------------------|----------------|------|------|
|                                         | 3              | 4    | 5    |
| Максимальный дебит, л/сек               | 65             | 55   | 58   |
| Общее понижение динамического уровня, м | 10             | 6    | 10   |
| Удельный дебит, л/сек                   | 6,5            | 8,5  | 5,8  |
| Коэффициент работы*                     | 0,93           | 0,79 | 0,85 |

\* Некоторое снижение коэффициента работы вызвано перерывами в подаче электроэнергии.

Основные источники питания грунтовых вод на территории города и прилегающих к нему земель, составляющих балансовый участок площадью 1000 га — фильтрационные потери из канала имени Кирова (КМК), отвода-распределителя К-3, а также из городской оросительной сети.

Расход составляют испарение и транспирация, а также отвод дренажных вод системой открытых коллекторов Исторического, Верхне-сардобинского и откачки из скважин вертикального дренажа.

Откачки из трех скважин позволили снизить пьезометрический напор водоносного пласта на 0,2—0,4 м по сравнению с напором на недренируемой территории.

В декабре 1961 г. грунтовые воды на балансовом участке залегали на глубине 1,0—1,5 м, а пьезометрический напор устанавливался на 1,5—2 м от поверхности земли.

Совместное действие всех факторов, в том числе и откачек из скважин, определило положение уровня грунтовых вод на участке: в 1961 г. он был на 0,3—0,4 м ниже, чем в 1960 г.

В общем же малое количество действующих скважин, недостаточно регулярная откачка воды из них и сравнительно невысокие дебиты не дали заметных изменений запасов грунтовых вод на всем балансовом участке. Поэтому для ускорения необратимого процесса рассоления почвогрунтов и грунтовых вод на балансовом участке, т. е. для улучшения мелиоративного состояния территории г. Гулистана, необходимо увеличить количество действующих скважин вертикального дренажа, их дебит и срок откачки грунтовых вод.



Н. М. РЕШЕТКИНА, З. П. ПУШКАРЕВА

**НАБЛЮДЕНИЕ ЗА СОЛЕВЫМ ПРОФИЛЕМ ПОКРОВНЫХ  
СУГЛИНКОВ И МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ ОТКАЧИВАЕМЫХ ВОД  
НА ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМ УЧАСТКЕ  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В СОВХОЗЕ «СОЦИАЛИЗМ»**

Институт водных проблем и гидротехники АН УзССР в течение трех лет ведет комплексные наблюдения и исследования в процессе строительства и опытной эксплуатации вертикального дренажа. Одно из важных звеньев этого комплекса — исследование солевого профиля покровных суглинков с целью выявления состава и запасов легкорастворимых солей, а также наблюдения за рассолоением под влиянием орошения и промывок на фоне работающей системы вертикального дренажа.

Схема притока воды в системе колодцев вертикального дренажа приведена в статье Н. М. Решеткиной, помещенной в этом сборнике.

В соответствии со схемой движения грунтовых вод в покровных суглинках под влиянием откачек определяется движение солей главным образом в виде растворов. Теоретически под влиянием работы системы скважин должны возникнуть нисходящие токи солевых растворов, постепенное опреснение верхней части профиля под влиянием орошения и промывок и перемещение солевых масс вниз по разрезу. Естественно, этот процесс достаточно сложен. Не все соли находятся в растворе и могут быть сразу вытеснены первыми же порциями воды. Ввиду различной растворимости солей перемещение их по профилю будет неравномерным. Прежде всего должны вымываться легкорастворимые соли и перемещаться вниз по разрезу наиболее подвижные ионы натрия и хлора. Таким путем довольно длительное время будет происходить опреснение почвенно-грунтового профиля покровных суглинков под влиянием выщелачивания из них солевых масс в подстилающие пески. В связи с этим естественно ожидать некоторое повышение минерализации подземных вод в подстилающих песках, что должно быть отмечено в виде увеличения минерализации откачиваемой воды.

Такова в общих чертах теоретическая схема рассолоения почвогрунтов и грунтовых вод под влиянием работы системы вертикального дренажа.

Для того чтобы пронаблюдать эту картину в натуре, принята следующая методика исследований. В центральной части опытно-производственного участка по створу, расположенному от распределителя Шурузяк к коллектору Шурузяк, на характерных фонах выбраны три динамические точки, по которым систематически ведутся наблюдения путем бурения скважин на всю мощность покровных суглинков с отбором керна для определения содержания легкорастворимых солей в водной вытяжке. Определения делаются три раза в год (март, июль,



Результаты химического анализа водной и солянокислой вытяжки грунта (Шурузакский участок)

| Глубина взятия<br>образца, м | pH | Сухой<br>остаток,<br>% | Водная вытяжка, % и мэкв (нижний ряд) |                 |                              |                  |                  | Солянокис-<br>лая вытяж-<br>ка (SO <sub>3</sub> ), % | CaCO <sub>3</sub> , % | Содержа-<br>ние со-<br>лей, мг/г | SO <sub>4</sub><br>Cl | Ca<br>Mg | Ca+Mg<br>Na+K |
|------------------------------|----|------------------------|---------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------|---------------|
|                              |    |                        |                                       |                 |                              |                  |                  |                                                      |                       |                                  |                       |          |               |
|                              |    |                        | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>         | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> |                                                      |                       |                                  |                       |          |               |

|         |     |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |      |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| 0,0—0,1 | 7,5 | 0,420 | 0,049 | 0,012 | 0,240 | 0,078 | 0,014 | 0,025 | 0,300  | 6,16  | 6,3   | 14,7  | 3,4  | 4,6  |
| 0,1—0,2 | 7,6 | 0,692 | 0,80  | 0,34  | 4,99  | 3,89  | 1,15  | 1,09  | 0,506  | 6,07  | 10,4  | 36,5  | 3,3  | 6,1  |
| 0,2—0,4 | 7,4 | 0,670 | 0,049 | 0,009 | 0,439 | 0,136 | 0,024 | 0,033 | 0,605  | 6,86  | 20,1  | 38,8  | 3,3  | 10,8 |
| 0,4—0,6 | 7,6 | 2,310 | 0,80  | 0,25  | 9,14  | 6,78  | 1,97  | 1,44  | 16,678 | 6,25  | 69,3  | 155,8 | 26,1 | 34,5 |
| 0,6—1,0 | 7,0 | 1,832 | 0,049 | 0,008 | 0,410 | 0,136 | 0,024 | 0,019 | 8,185  | 9,68  | 109,9 | 99,6  | 43,3 | 37,2 |
| 1,0—1,5 | 7,2 | 1,378 | 0,80  | 0,22  | 8,54  | 6,78  | 1,97  | 0,81  | 6,365  | 10,03 | 102,3 | 84,4  | 22,5 | 77,1 |
| 1,5—2,0 | 8,0 | 0,232 | 0,049 | 0,009 | 1,196 | 0,495 | 0,007 | 0,016 | 0,424  | 11,62 | 17,4  | 12,4  | 1,4  | 37,6 |
| 2,5—2,9 | 7,2 | 0,156 | 0,80  | 0,25  | 24,90 | 24,70 | 0,57  | 0,68  | 0,321  | 11,62 | 9,4   | 7,0   | 1,6  | 13,8 |
| 3,0—4,0 | 8,2 | 0,172 | 0,049 | 0,008 | 0,889 | 0,370 | 0,010 | 0,006 | 0,272  | 9,86  | 15,8  | 9,5   | 0,5  | 6,2  |
| 4,0—5,0 | 7,2 | 0,148 | 0,61  | 0,22  | 18,51 | 18,46 | 0,82  | 0,25  | 0,239  | 10,91 | 22,2  | 6,0   | 0,7  | 21,2 |
| 5,0—6,0 | 7,2 | 0,260 | 0,037 | 0,007 | 0,092 | 0,015 | 0,019 | 0,008 | 0,243  | 10,03 | 44,2  | 17,1  | 3,6  | 1,8  |
| 6,0—7,0 | 7,6 | 0,160 | 0,61  | 0,17  | 2,91  | 1,80  | 0,57  | 1,32  | 0,167  | 11,44 | 27,2  | 9,4   | 2,4  | 1,3  |
| 7,0—8,0 | 7,6 | 0,245 | 0,043 | 0,006 | 0,077 | 0,020 | 0,005 | 0,024 | 0,165  | 11,44 | 41,7  | 13,5  | 3,2  | 1,0  |
|         |     |       | 0,70  | 0,1   | 1,60  | 1,0   | 0,41  | 1,06  |        |       |       |       |      |      |
|         |     |       | 0,043 | 0,007 | 0,123 | 0,025 | 0,005 | 0,040 |        |       |       |       |      |      |
|         |     |       | 0,70  | 0,19  | 2,56  | 1,30  | 0,41  | 1,74  |        |       |       |       |      |      |

Скважина 1



|            |     |       |               |               |               |               |               |               |       |       |      |      |     |     |
|------------|-----|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|------|------|-----|-----|
| 8,0—9,0    | 7,8 | 0,210 | 0,043<br>0,70 | 0,007<br>0,19 | 0,107<br>2,23 | 0,018<br>0,90 | 0,003<br>0,25 | 0,045<br>1,97 | 0,137 | 10,56 | 35,8 | 11,7 | 3,6 | 0,6 |
| 9,0—10,0   | 7,8 | 0,180 | 0,043<br>0,70 | 0,007<br>0,19 | 0,091<br>1,83 | 0,016<br>0,80 | 0,003<br>0,25 | 0,038<br>1,67 | 0,165 | 11,08 | 30,6 | 9,6  | 3,2 | 0,6 |
| 10,0—11,0  | 7,8 | 0,220 | 0,043<br>0,70 | 0,007<br>0,19 | 0,118<br>2,46 | 0,014<br>0,70 | 0,003<br>0,25 | 0,055<br>2,40 | 0,156 | 11,08 | 37,4 | 12,9 | 2,8 | 0,4 |
| 11,0—12,0  | 7,6 | 0,170 | 0,043<br>0,70 | 0,007<br>0,19 | 0,082<br>1,71 | 0,010<br>0,50 | 0,003<br>0,25 | 0,042<br>1,85 | 0,128 | 10,21 | 28,9 | 9,0  | 2,0 | 0,4 |
| 12,0—13,0  | 8,0 | 0,180 | 0,043<br>0,70 | 0,008<br>0,23 | 0,066<br>1,37 | 0,010<br>0,50 | 0,005<br>0,41 | 0,032<br>1,39 | 0,123 | 10,03 | 30,6 | 5,9  | 1,2 | 0,6 |
| 13,0—14,0  | 8,0 | 0,180 | 0,049<br>0,80 | 0,008<br>0,23 | 0,077<br>1,60 | 0,012<br>0,60 | 0,005<br>0,41 | 0,037<br>1,62 | 0,123 | 11,08 | 30,6 | 6,9  | 1,4 | 0,6 |
| 14,0—15,0  | 7,8 | 0,130 | 0,049<br>0,80 | 0,009<br>0,25 | 0,034<br>0,70 | 0,012<br>0,60 | 0,005<br>0,41 | 0,018<br>0,75 | 0,165 | 11,62 | 22,1 | 2,8  | 1,4 | 0,6 |
| 15,0—16,0  | 8,0 | 0,200 | 0,061<br>1,0  | 0,015<br>0,42 | 0,082<br>1,71 | 0,010<br>0,50 | 0,005<br>0,41 | 0,051<br>2,22 | 0,144 | 11,08 | 36,0 | 4,1  | 1,2 | 0,4 |
| 16,0—17,0  | 8,0 | 0,201 | 0,049<br>0,80 | 0,014<br>0,39 | 0,105<br>2,19 | 0,010<br>0,50 | 0,003<br>0,25 | 0,060<br>2,63 | 0,173 | 11,26 | 36,2 | 5,6  | 2,0 | 0,3 |
| 17,0—18,0  | 8,0 | 0,210 | 0,049<br>0,80 | 0,016<br>0,51 | 0,087<br>1,81 | 0,012<br>0,60 | 0,003<br>0,25 | 0,052<br>2,27 | 0,154 | 11,08 | 37,7 | 3,5  | 2,4 | 0,4 |
| 18,0—19,0  | 7,8 | 0,245 | 0,043<br>0,70 | 0,026<br>0,73 | 0,110<br>2,29 | 0,016<br>0,80 | 0,003<br>0,25 | 0,061<br>2,67 | 0,170 | 12,14 | 44,2 | 3,1  | 3,2 | 0,4 |
| 19,0—20,0  | 8,0 | 0,315 | 0,049<br>0,80 | 0,033<br>0,93 | 0,143<br>2,95 | 0,016<br>0,80 | 0,005<br>0,41 | 0,080<br>3,50 | 0,216 | 12,14 | 56,6 | 3,2  | 1,9 | 0,3 |
| 20,0—20,7  | 8,0 | 0,278 | 0,049<br>0,80 | 0,028<br>0,79 | 0,115<br>2,24 | 0,016<br>0,80 | 0,007<br>0,56 | 0,057<br>2,47 | 0,165 | 11,97 | 35,0 | 2,8  | 1,4 | 0,5 |
| 20,7—21,70 | 7,7 | 0,233 | 0,049<br>0,80 | 0,033<br>0,93 | 0,088<br>1,83 | 0,018<br>0,90 | 0,005<br>0,41 | 0,052<br>2,25 | 0,134 | 10,91 | 41,4 | 1,9  | 2,2 | 0,6 |
| 21,7—22,75 | 7,8 | 0,160 | 0,043<br>0,70 | 0,026<br>0,73 | 0,058<br>1,25 | 0,018<br>0,90 | 0,003<br>0,25 | 0,034<br>1,49 | 0,093 | 7,74  | 16,8 | 1,7  | 3,6 | 0,8 |



| Глубина взятия<br>образца, м | pH | Сухой<br>остаток,<br>% | Водная вытяжка, % и мэкв (нижний ряд) |                 |                              |                  |                  | Солянокис-<br>лая вытяж-<br>ка (SO <sub>3</sub> ), % | CaCO <sub>3</sub> , % | Содержа-<br>ние со-<br>лей, мг/г | SO <sub>4</sub><br>Cl | Ca<br>Mg | Ca+Mg<br>Na+K |
|------------------------------|----|------------------------|---------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------|---------------|
|                              |    |                        | Водная вытяжка, % и мэкв (нижний ряд) |                 |                              |                  |                  |                                                      |                       |                                  |                       |          |               |
|                              |    |                        | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>         | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> |                                                      |                       |                                  |                       |          |               |

|         |     |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |      |      |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------|------|
| 0,0-0,1 | 7,1 | 2,504 | 0,049 | 0,023 | 1,654 | 0,468 | 0,078 | 0,141 | 2,048  | 6,51  | 53,0  | 3,6  | 4,8  |
| 0,1-0,2 | 7,0 | 2,176 | 0,80  | 0,65  | 34,44 | 23,35 | 6,41  | 6,13  | 1,636  | 6,86  | 80,0  | 3,5  | 4,8  |
| 0,2-0,4 | 7,0 | 2,500 | 0,049 | 0,014 | 1,505 | 0,420 | 0,073 | 0,128 | 3,580  | 6,69  | 65,5  | 4,3  | 6,9  |
| 0,4-0,6 | 7,3 | 2,408 | 0,80  | 0,39  | 31,33 | 20,96 | 6,00  | 5,56  | 17,204 | 6,16  | 102,1 | 11,5 | 7,4  |
| 0,6-1,0 | 7,4 | 2,444 | 0,043 | 0,019 | 1,698 | 0,520 | 0,073 | 0,107 | 18,420 | 7,04  | 122,5 | 19,9 | 7,2  |
| 1,0-1,5 | 7,1 | 1,200 | 0,70  | 0,54  | 35,35 | 25,95 | 6,00  | 4,64  | 1,066  | 7,80  | 60,0  | 18,9 | 11,9 |
| 1,5-2,0 | 7,1 | 0,280 | 0,043 | 0,011 | 1,522 | 0,548 | 0,029 | 0,090 | 0,247  | 12,14 | 15,3  | 1,6  | 6,8  |
| 2,0-2,5 | 7,6 | 0,205 | 0,70  | 0,23  | 3,52  | 2,40  | 1,48  | 0,57  | 0,247  | 11,97 | 9,0   | 2,2  | 3,6  |
| 2,5-3,0 | 7,6 | 0,308 | 0,043 | 0,009 | 0,179 | 0,034 | 0,018 | 0,035 | 0,216  | 11,44 | 14,9  | 1,1  | 2,1  |
| 3,0-4,0 | 7,2 | 0,295 | 0,043 | 0,009 | 0,175 | 0,034 | 0,014 | 0,040 | 0,171  | 11,26 | 14,5  | 1,5  | 1,6  |
| 4,0-5,0 | 8,0 | 0,115 | 0,043 | 0,008 | 0,041 | 0,012 | 0,003 | 0,020 | 0,055  | 25,60 | 4,5   | 2,4  | 0,9  |
| 5,0-6,0 | 8,1 | 0,140 | 0,70  | 0,19  | 0,85  | 0,60  | 0,25  | 0,89  | 0,102  | 23,60 | 6,9   | 1,9  | 1,2  |
| 6,0-7,0 | 8,1 | 0,130 | 0,049 | 0,008 | 0,053 | 0,016 | 0,003 | 0,025 | 0,072  | 24,42 | 4,8   | 3,2  | 1,0  |
| 7,0-8,0 | 7,8 | 0,150 | 0,80  | 0,23  | 1,10  | 0,80  | 0,25  | 1,08  | 0,082  | 24,42 | 5,6   | 1,7  | 0,9  |
| 8,0-9,0 | 8,1 | 0,140 | 0,049 | 0,010 | 0,049 | 0,010 | 0,003 | 0,031 | 0,062  | 24,01 | 3,5   | 2,0  | 0,5  |



|              |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |     |      |      |
|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|
| 9,0 — 10,0   | 8,2 | 0,170 | 0,061 | 0,011 | 0,049 | 0,018 | 0,003 | 0,027 | 0,102 | 26,81 | 29,0 | 3,3 | 3,6  | 1,0  |
| 10,0 — 11,0  | 8,2 | 0,138 | 0,061 | 0,011 | 0,045 | 0,010 | 0,005 | 0,030 | 0,082 | 24,81 | 23,5 | 3,0 | 1,2  | 0,7  |
| 11,0 — 12,0  | 8,2 | 0,160 | 0,067 | 0,011 | 0,045 | 0,010 | 0,005 | 0,033 | 0,072 | 24,81 | 27,2 | 3,0 | 1,2  | 0,6  |
| 12,0 — 13,0  | 8,2 | 0,152 | 0,067 | 0,012 | 0,038 | 0,010 | 0,005 | 0,028 | 0,078 | 23,60 | 25,8 | 2,3 | 1,2  | 0,4  |
| 13,0 — 14,0  | 8,2 | 0,160 | 0,067 | 0,012 | 0,037 | 0,010 | 0,007 | 0,026 | 0,066 | 24,42 | 27,2 | 2,2 | 0,8  | 0,9  |
| 14,0 — 15,0  | 8,2 | 0,210 | 0,085 | 0,013 | 0,072 | 0,022 | 0,005 | 0,040 | 0,082 | 24,81 | 35,7 | 4,0 | 2,7  | 0,9  |
| 15,0 — 16,3  | 8,2 | 0,196 | 0,085 | 0,010 | 0,053 | 0,032 | 0,002 | 0,023 | 0,066 | 26,01 | 45,9 | 3,9 | 10,0 | 1,7  |
| 16,3 — 17,0  | 8,2 | 0,140 | 0,061 | 0,010 | 0,025 | 0,032 | 0,002 | 0,001 | 0,070 | 21,60 | 17,6 | 1,8 | 10,0 | 44,0 |
| 17,0 — 17,75 | 8,2 | 0,160 | 0,061 | 0,016 | 0,030 | 0,018 | 0,006 | 0,016 | 0,070 | 24,81 | 21,6 | 1,4 | 1,8  | 2,0  |
| 17,75 — 19,0 | 8,2 | 0,128 | 0,061 | 0,014 | 0,024 | 0,013 | 0,002 | 0,025 | 0,062 | 20,47 | 28,8 | 1,3 | 4,0  | 0,7  |
| 19,0 — 20,0  | 8,2 | 0,142 | 0,049 | 0,011 | 0,029 | 0,014 | 0,002 | 0,028 | 0,049 | 19,62 | 25,6 | 2,0 | 4,4  | 1,0  |

Связи из 3

|           |     |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |      |
|-----------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| 0,0 — 0,1 | 7,4 | 2,242 | 0,049 | 0,024 | 1,415 | 0,560 | 0,019 | 0,033 | 4,659  | 11,82 | 31,3  | 43,4  | 17,9 | 20,4 |
| 0,1 — 0,2 | 7,4 | 2,094 | 0,030 | 0,007 | 1,386 | 0,516 | 0,019 | 0,051 | 4,663  | 14,24 | 40,1  | 244,3 | 16,5 | 12,2 |
| 0,2 — 0,4 | 7,0 | 2,678 | 0,030 | 0,032 | 1,736 | 0,538 | 0,034 | 0,181 | 9,747  | 13,03 | 80,3  | 40,1  | 9,6  | 3,7  |
| 0,4 — 0,6 | 6,9 | 3,482 | 0,030 | 0,153 | 2,119 | 0,548 | 0,054 | 0,394 | 17,946 | 11,82 | 104,5 | 10,2  | 6,1  | 1,8  |
| 0,6 — 0,1 | 7,5 | 3,820 | 0,030 | 0,336 | 2,205 | 0,560 | 0,055 | 0,630 | 16,513 | 16,42 | 229,2 | 4,2   | 6,2  | 1,2  |
| 1,0 — 1,5 | 7,1 | 2,828 | 0,030 | 0,114 | 1,748 | 0,600 | 0,037 | 0,163 | 14,070 | 16,80 | 212,1 | 11,3  | 9,9  | 4,5  |
| 1,5 — 2,0 | 7,3 | 2,482 | 0,030 | 0,050 | 1,609 | 0,580 | 0,018 | 0,114 | 11,210 | 20,81 | 179,0 | 23,7  | 20,0 | 6,1  |



| Глубина взятия<br>образца, м | pH  | Сухой<br>остаток,<br>% | Водная вытяжка, % и мэкв (нижний ряд) |                 |                               |                  |                  | Солянокис-<br>лая<br>вытяжка<br>(SO <sub>2</sub> ), % | CaCO <sub>3</sub> , % | Содержа-<br>ние со-<br>лей, мг/2а | $\frac{SO_4}{Cl}$ | $\frac{Ca}{Mg}$ | $\frac{Ca+Mg}{Na+K}$ |
|------------------------------|-----|------------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
|                              |     |                        | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>         | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | Na+K <sup>+</sup>                                     |                       |                                   |                   |                 |                      |
| 2,0 — 2,5                    | 8,1 | 0,462                  | 0,049<br>0,80                         | 0,050<br>1,41   | 0,219<br>4,56                 | 0,024<br>1,20    | 0,005<br>0,41    | 0,119<br>5,16                                         | 25,22                 | 34,6                              | 3,2               | 2,9             | 0,3                  |
| 2,5 — 3,0                    | 8,1 | 0,286                  | 0,049<br>0,80                         | 0,050<br>1,41   | 0,106<br>2,21                 | 0,015<br>0,75    | 0,002<br>0,16    | 0,081<br>3,51                                         | 25,42                 | 21,9                              | 1,6               | 4,7             | 0,3                  |
| 3,0 — 4,0                    | 8,2 | 0,300                  | 0,055<br>0,90                         | 0,048<br>1,35   | 0,116<br>2,41                 | 0,014<br>0,70    | 0,005<br>0,41    | 0,032<br>3,55                                         | 23,60                 | 45,0                              | 1,8               | 1,7             | 0,4                  |
| 4,0 — 5,0                    | 8,1 | 0,356                  | 0,049<br>0,80                         | 0,051<br>1,44   | 0,141<br>2,94                 | 0,022<br>1,10    | 0,007<br>0,58    | 0,080<br>3,50                                         | 23,60                 | 53,4                              | 2,0               | 1,9             | 0,5                  |
| 5,0 — 6,0                    | 8,2 | 0,284                  | 0,061<br>1,00                         | 0,048<br>1,35   | 0,100<br>2,08                 | 0,010<br>0,50    | 0,005<br>0,41    | 0,081<br>3,52                                         | 24,81                 | 48,3                              | 1,5               | 1,2             | 0,3                  |
| 6,0 — 7,0                    | 8,2 | 0,196                  | 0,067<br>1,10                         | 0,031<br>0,87   | 0,053<br>1,10                 | 0,012<br>0,60    | 0,005<br>0,41    | 0,047<br>2,06                                         | 24,42<br>Сл. соды     | 33,3                              | 1,3               | 1,4             | 0,5                  |
| 7,0 — 8,0                    | 8,2 | 0,164                  | 0,067<br>1,10                         | 0,020<br>0,56   | 0,047<br>0,98                 | 0,012<br>0,60    | 0,001<br>0,08    | 0,045<br>1,96                                         | 24,42<br>Сл. соды     | 27,8                              | 1,7               | 7,5             | 0,3                  |
| 8,0 — 9,0                    | 8,0 | 0,120                  | 0,061<br>1,0                          | 0,019<br>0,54   | 0,027<br>0,56                 | 0,014<br>0,70    | 0,005<br>0,41    | 0,023<br>0,99                                         | 20,42                 | 20,4                              | 1,0               | 1,7             | 1,2                  |
| 9,0 — 9,70                   | 8,1 | 0,136                  | 0,061<br>1,0                          | 0,020<br>0,56   | 0,033<br>0,69                 | 0,012<br>0,60    | 0,005<br>0,41    | 0,029<br>1,24                                         | 22,42                 | 16,2                              | 1,2               | 1,4             | 0,8                  |
| 9,70—11,0                    | 8,0 | 0,120                  | 0,061<br>1,0                          | 0,021<br>0,59   | 0,023<br>0,48                 | 0,010<br>0,50    | 0,002<br>0,16    | 0,032<br>1,41                                         | 24,01                 | 26,5                              | 0,8               | 3,1             | 0,5                  |
| 11,0 — 12,0                  | 8,0 | 0,120                  | 0,061<br>1,0                          | 0,019<br>0,54   | 0,025<br>0,52                 | 0,010<br>0,50    | 0,005<br>0,41    | 0,026<br>1,15                                         | 21,22                 | 20,4                              | 1,0               | 1,2             | 0,6                  |
| 12,0 — 13,0                  | 7,8 | 0,116                  | 0,061<br>1,0                          | 0,020<br>0,56   | 0,025<br>0,52                 | 0,012<br>0,60    | 0,005<br>0,41    | 0,024<br>1,07                                         | 20,01                 | 19,7                              | 0,9               | 1,4             | 0,9                  |



|             |     |       |               |               |               |               |               |               |       |       |      |     |     |     |
|-------------|-----|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|------|-----|-----|-----|
| 13,0 — 14,0 | 8,0 | 0,110 | 0,061<br>1,0  | 0,018<br>0,51 | 0,022<br>0,46 | 0,010<br>0,50 | 0,002<br>0,16 | 0,030<br>1,31 | 0,068 | 21,22 | 18,7 | 0,9 | 3,1 | 0,5 |
| 14,0 — 15,0 | 7,8 | 0,113 | 0,061<br>1,0  | 0,021<br>0,59 | 0,016<br>0,35 | 0,008<br>0,45 | 0,005<br>0,41 | 0,025<br>1,09 | 0,109 | 21,22 | 19,2 | 0,5 | 1,1 | 0,8 |
| 15,0 — 16,0 | 7,8 | 0,100 | 0,061<br>1,0  | 0,018<br>0,51 | 0,021<br>0,44 | 0,010<br>0,50 | 0,002<br>0,16 | 0,029<br>1,29 | 0,061 | 21,60 | 18,0 | 0,9 | 3,1 | 0,5 |
| 16,0 — 17,0 | 7,8 | 0,112 | 0,061<br>1,0  | 0,018<br>0,51 | 0,020<br>0,42 | 0,010<br>0,50 | 0,005<br>0,41 | 0,023<br>1,02 | 0,042 | 22,01 | 20,2 | 0,8 | 1,2 | 0,9 |
| 17,0 — 18,0 | 8,0 | 0,110 | 0,061<br>1,0  | 0,017<br>0,48 | 0,021<br>0,44 | 0,010<br>0,50 | 0,002<br>0,16 | 0,029<br>1,26 | 0,045 | 22,81 | 19,8 | 0,9 | 3,1 | 0,5 |
| 18,0 — 19,0 | 8,0 | 0,125 | 0,049<br>0,80 | 0,014<br>0,39 | 0,021<br>0,44 | 0,012<br>0,60 | 0,005<br>0,41 | 0,014<br>0,62 | 0,062 | 24,40 | 22,5 | 1,1 | 1,4 | 1,6 |
| 19,0 — 20,0 | 8,0 | 0,115 | 0,055<br>0,90 | 0,017<br>0,48 | 0,023<br>0,48 | 0,012<br>0,60 | 0,005<br>0,41 | 0,020<br>0,85 | 0,062 | 22,01 | 20,7 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| 20,3 — 20,6 | 8,0 | 0,110 | 0,049<br>0,80 | 0,011<br>0,31 | 0,018<br>0,37 | 0,014<br>0,70 | 0,002<br>0,16 | 0,014<br>0,62 | 0,042 | 14,00 | 5,9  | 1,0 | 4,4 | 1,4 |



ноябрь) в интервалах 0—0,2; 0,2—0,4; 0,4—0,6; 0,6—0,8; 0,8—1,0; 1,0—1,5; 1,5—2,0; 2,0—2,5; 2,5—3,0; 3,0—4,0 м и глубже через каждый метр. Кроме того, в эти же сроки и в тех же точках отбираются пробы грунтовых вод с разных глубин для характеристики минерализации по профилю.

Первые пробы для характеристики профилей взяты в июле 1960 г., когда были подготовлены шесть первых скважин к пуску в опытную эксплуатацию и, таким образом, были получены исходные данные, характеризующие засоленность почвенно-грунтового профиля покровных суглинков и минерализацию грунтовых вод до начала действия вертикального дренажа. В течение 1960/61 г. продолжались наблюдения за солевыми профилями покровных суглинков по указанным трем точкам и одновременно за минерализацией откачиваемых вод.

Основные результаты исследований, хотя их и нельзя считать полностью законченными, все же представляют несомненный интерес и сводятся к следующему.

**Точка 1.** Расположена в 80 м к югу от распределителя Шурузяк и 50 м к югу от скв. 1 на перелог. Почвенный покров представлен солончаком. Засоление приурочено к верхней полутора-двухметровой толще и достигает 4,5%. Тип засоления в анионной части сульфатный, в катионной — смешанный с преобладанием кальция. Однако магний и натрий представлены также достаточно существенно — 0,02—0,04% (табл. 1). Глубже 2 м засоление резко убывает и на всю мощность покровных суглинков 20—21 м не превышает 0,2—0,3%, т. е. практически профиль промыт. По механическому составу суглинки довольно однообразны, хотя в средней и нижней частях разреза встречаются более тяжелые разности в виде маломощных прослоек. Грунтовые воды на глубине 2 м имеют минерализацию 4,0 г/л. В интервале с 3 до 15 м минерализация падает до 3,1 г/л, а ниже к подошве пласта возрастает до 6,5 г/л (на глубине 22,7 м).

**Точка 2.** Находится в 500 м к северу от скважины 2, примерно в центре створа между распределителем Шурузяк и коллектором Шурузяк, т. е. характеризует центральную часть опытного участка. Точка расположена на люцерне 3-го года, распаханной под хлопчатник весной 1961 г.

Почвенный покров представлен лугово-солончаковыми почвами, также сильнозасоленными (1,5—2,0%). Солевой профиль (рис. 1, 2) аналогичен описанному по точке 1: солевой максимум, хорошо выраженный, приурочен к верхним 2 м, где засоление достигает 2,5%. Ниже содержание солей резко падает и не превышает 0,2—0,3%. Грунтовые воды на глубине 2 м обладают минерализацией 3,7 г/л. Примерно эта же минерализация сохраняется и ниже по профилю, и только вблизи песчаного горизонта на глубине 20 м она повышается до 6,5 г/л.

**Точка 3.** Расположена на целине в 50 м от коллектора Шурузяк, ее солевой профиль дает в общем такую же конфигурацию, как и в первых двух.

Таким образом, на Шурузякском участке вертикального дренажа довольно строго выдерживается картина распределения солей по почвенно-грунтовому профилю в покровных суглинках, представляющая исходную обстановку, в которой проходит работа вертикального дренажа. Она определяется в основном гипсовым максимумом солей в первых 2 м и общим опреснением всего нижерасположенного профиля покровных суглинков, для которых в толще от 2 до 20 м характерна минерализация грунтовых вод порядка 3—4 г/л, тогда как поверхностные слои грунтовых вод имеют засоление значительно большее за счет испарительной концентрации. Это особенно сказывается на треть-



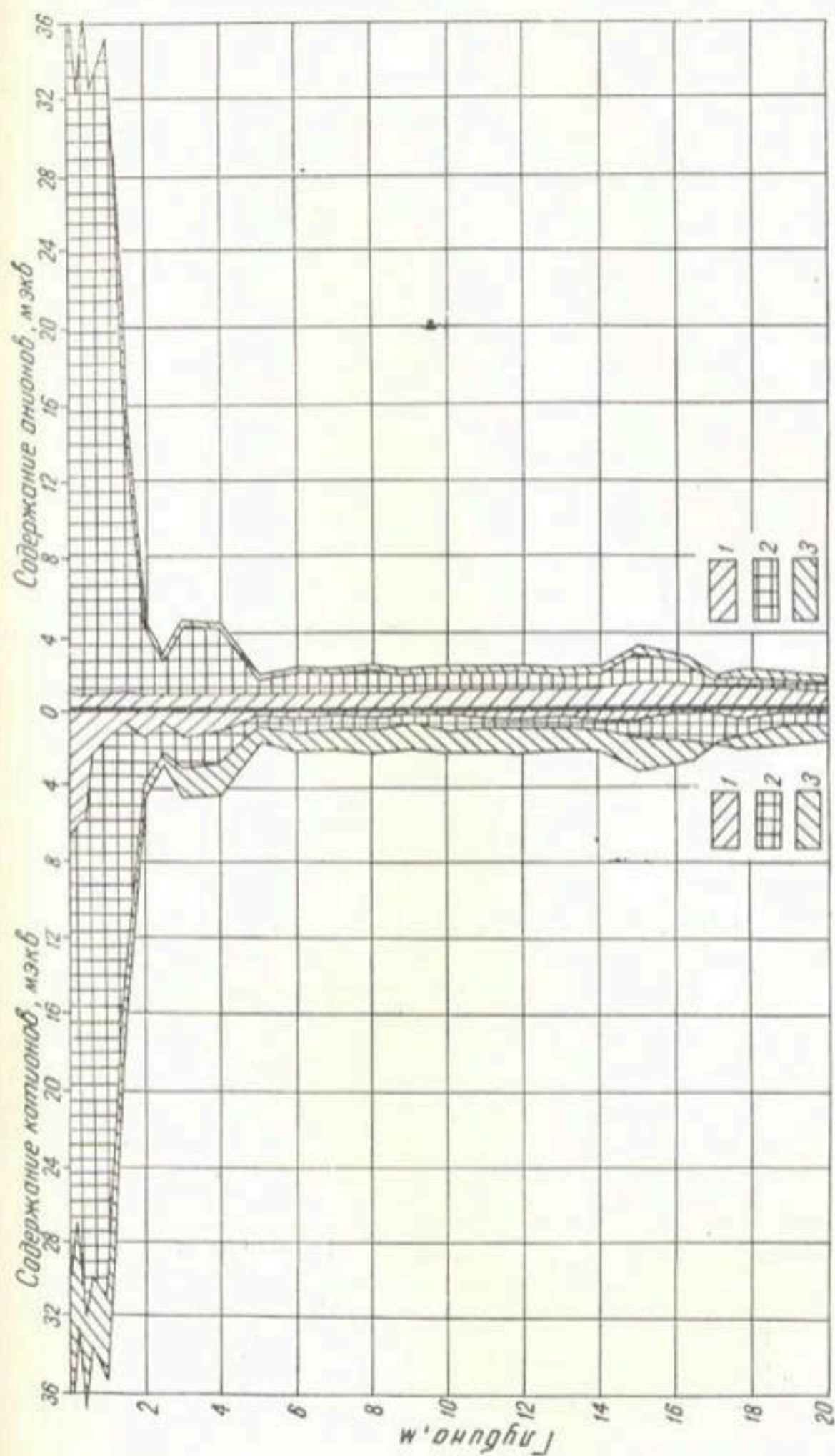


Рис. 1. Распределение легкорастворимых солей по точке 2 (июльский срок бурения 1960 г.).

Слева: Mg (1), Ca(2), Na+K (3); справа:  $\text{HCO}_3^-$  (1),  $\text{SO}_4^{2-}$  (2), Cl<sup>-</sup> (3).



ей точке, где даже на глубине 5 м минерализация грунтовых вод достигает 7 г/л и только ниже опускается до нормальной величины — 3—4 г/л.

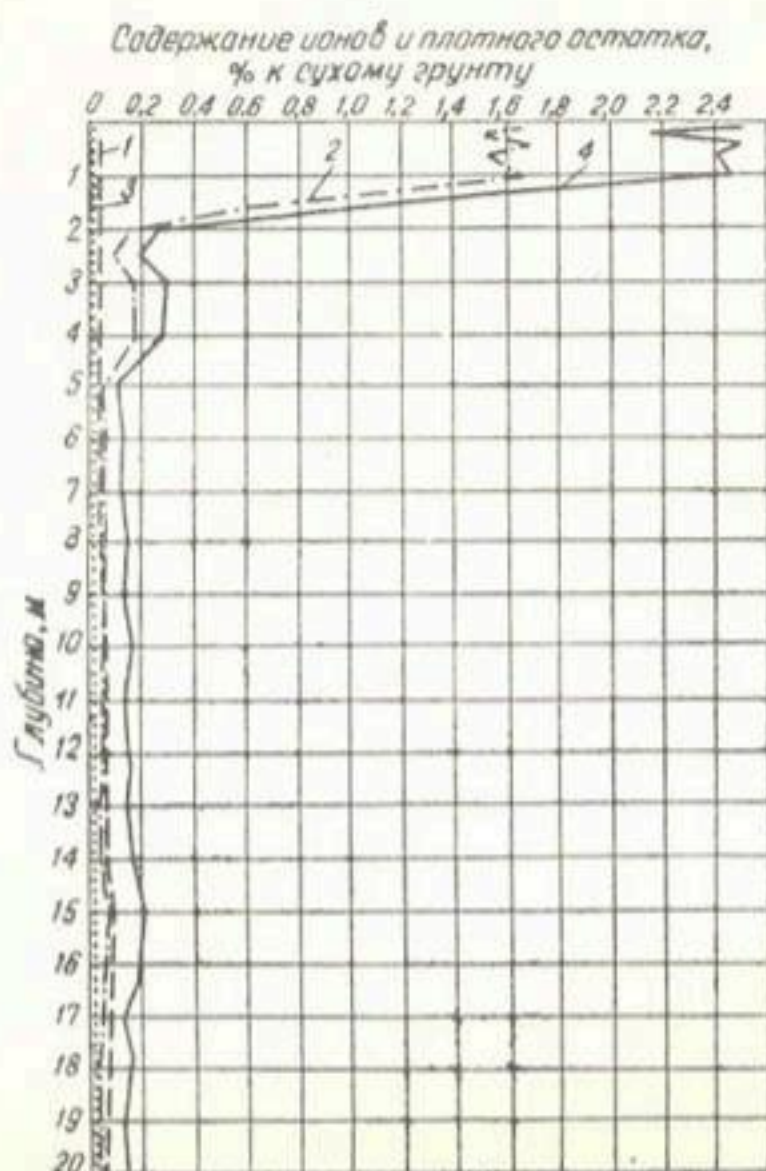


Рис. 2. Распределение легкорастворимых солей по точке 2.

1— $\text{HCO}_3^-$ , 2— $\text{SO}_4^{2-}$ , 3— $\text{Cl}^-$ , 4—плотный остаток.

Повторные наблюдения (табл. 2) показали общую тенденцию к снижению как общих запасов солей по всем точкам, так, в особенности, и уменьшение засоленности в верхней двух-трехметровой толще. При

Таблица 2

Содержания солей по точке 2 на Шурузянском участке вертикального дренажа, т/га

| Время отбора проб | Слой 0—1 м |         |        | Слой 0—5 м |         |        | По всей толще суглинков |         |        | Глубина бурения, м |
|-------------------|------------|---------|--------|------------|---------|--------|-------------------------|---------|--------|--------------------|
|                   | 1960 г.    | 1961 г. | ±      | 1960 г.    | 1961 г. | ±      | 1960 г.                 | 1961 г. | ±      |                    |
| Март              | —          | 215,0   | —      | —          | 403,6   | —      | —                       | 564,1   | —      | 12                 |
| Июль              | 364,1      | 167,8   | —196,3 | 575,0      | 338,2   | —236,8 | 923,7                   | 688,3   | —235,4 | 18                 |
| Октябрь           | 388,9      | 198,4   | —190,5 | 669,0      | 570,2   | —99,0  | 941,0                   | 856,2   | —84,0  | 17                 |

этом наблюдается очень интересная картина оттеснения сверху солевого максимума вниз по профилю. Например, наиболее показательна



картина, полученная по точке 2 (рис. 3). Здесь ясно намечается опреснение верхнего трехметрового профиля с вымывом из него до 230 т/га солей. Вместе с тем в интервале 3—6 м отмечен новый максимум солей, которого ранее не было; запасы их в этой толще увеличились на 157 т/га.

Однако общий баланс солей по профилю с октября 1960 г. по октябрь 1961 г. оказался отрицательным, т. е. за этот период вынесено в подстилающие пески 84 т/га.

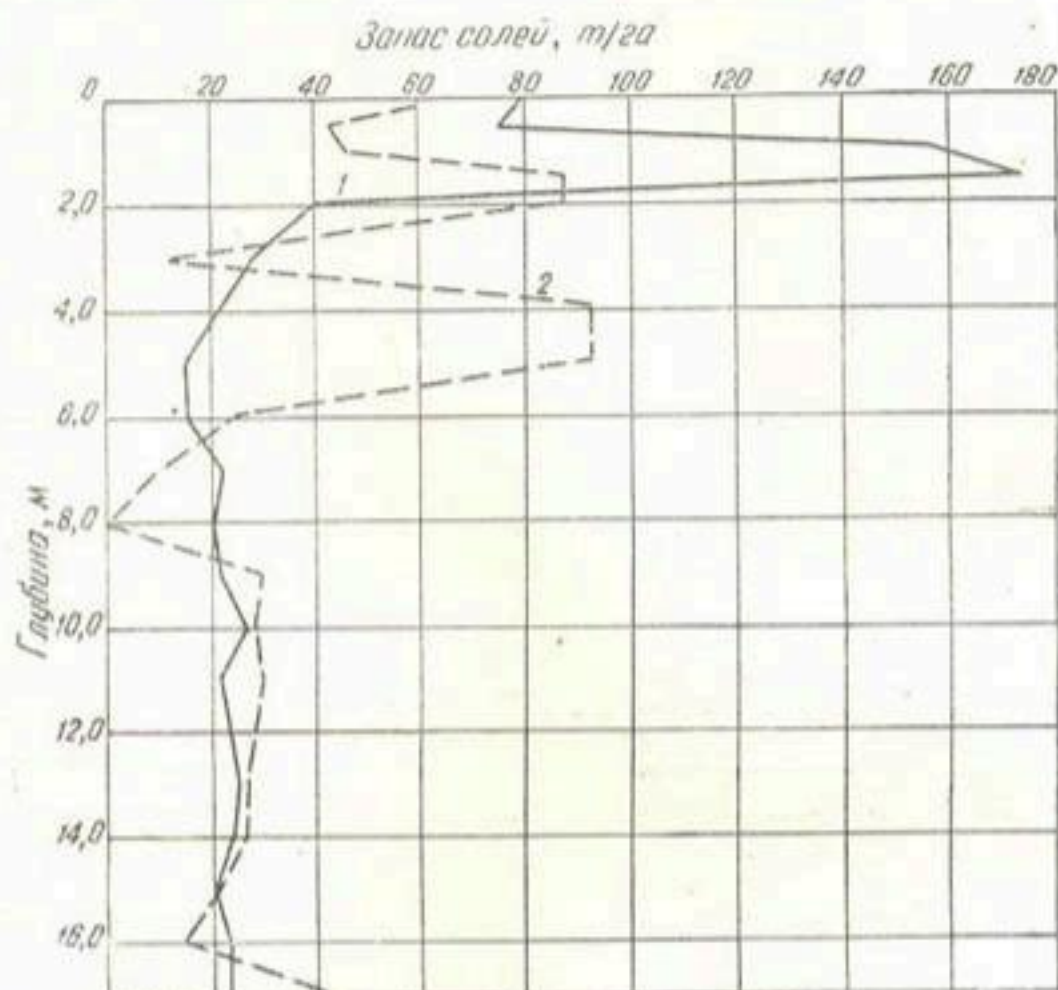


Рис. 3. Содержание солей, т/га, в покровных суглинках по точке 2 (октябрьский срок бурения)  
1—1960 г., 2—1961 г.

Аналогичная картина с небольшими вариациями наблюдается и по двум другим точкам.

Таким образом, несмотря на то что опытные откачки только начались (см. статью А. Умарова настоящего сборника), мы зафиксировали рассоление почвенно-грунтового профиля покровных суглинков. Это устанавливается по данным отрицательного солевого баланса наблюдаемых солевых профилей.

В связи с тем, что вынос солей происходит в подстилающие пески, естественно ожидать некоторую тенденцию к увеличению минерализации откачиваемых вод. Результаты наблюдений по шести скважинам показывают, что степень минерализации (г/л) воды в 1961 г. увеличилась по сравнению с 1960 г.

| Номер<br>скважины | 1960 г. | 1961 г. |
|-------------------|---------|---------|
| 1                 | 1,63    | 1,80    |
| 2                 | 1,75    | 1,96    |
| 3                 | 1,54    | 1,61    |
| 5                 | 1,28    | 1,39    |
| 6                 | 1,28    | 1,41    |







|           |       |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5,0—6,0   | 0,214 | 0,031 | 0,010 | 0,125 | 0,020 | 0,014 | 0,030     | 0,499 | 0,333 | 2,600 | 0,998 | 1,151 | 1,283 |
| 6,0—7,0   | 0,190 | 0,043 | 0,018 | 0,077 | 0,018 | 0,010 | 0,025     | 0,692 | 0,508 | 1,602 | 0,898 | 0,822 | 1,082 |
| 7,0—8,0   | 0,176 | 0,034 | 0,008 | 0,077 | 0,013 | 0,007 | 0,027     | 0,547 | 0,266 | 1,602 | 0,659 | 0,575 | 1,181 |
| 8,0—9,0   | 0,118 | 0,044 | 0,022 | 0,048 | 0,010 | 0,006 | 0,032     | 0,708 | 0,620 | 0,998 | 0,499 | 0,393 | 1,474 |
| 9,0—10,0  | 0,062 |       |       |       |       |       | С л е д ы |       |       |       |       |       |       |
| 10,0—11,0 | 0,58  | 0,039 | 0,008 | 0,077 | 0,010 | 0,005 | 0,035     | 0,628 | 0,265 | 1,602 | 0,499 | 0,411 | 1,586 |
| 11,0—12,0 | 0,122 | 0,041 | 0,010 | 0,048 | 0,008 | 0,006 | 0,026     | 0,660 | 0,282 | 0,998 | 0,399 | 0,393 | 1,148 |
| 12,0—13,0 | 0,132 | 0,048 | 0,02  | 0,048 | 0,017 | 0,006 | 0,020     | 0,773 | 0,338 | 0,998 | 0,848 | 0,393 | 0,868 |
| 13,0—14,0 | 0,146 | 0,056 | 0,030 | 0,058 | 0,008 | 0,008 | 0,046     | 0,902 | 0,846 | 1,206 | 0,399 | 0,558 | 1,977 |
| 14,0—15,0 | 0,270 | 0,039 | 0,012 | 0,154 | 0,028 | 0,014 | 0,037     | 0,628 | 0,333 | 3,203 | 1,397 | 1,151 | 1,621 |
| 15,0—16,0 | 0,140 | 0,061 | 0,030 | 0,058 | 0,010 | 0,001 | 0,057     | 0,982 | 0,846 | 1,206 | 0,499 | 0,082 | 2,453 |
| 16,0—17,0 | 0,112 | 0,059 | 0,016 | 0,048 | 0,007 | 0,008 | 0,034     | 0,950 | 0,451 | 0,998 | 0,349 | 0,558 | 1,492 |
| 17,0—18,0 | 0,108 | 0,040 | 0,016 | 0,048 | 0,010 | 0,015 | 0,008     | 0,644 | 0,451 | 0,999 | 0,499 | 1,232 | 0,361 |

3 октября—24 ноября 1961 г.

|         |       |       |       |       |       |       |           |       |       |        |        |        |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 0,0—0,2 | 2,018 | 0,084 | 0,078 | 1,200 | 0,202 | 0,140 | 0,159     | 1,352 | 2,200 | 24,960 | 10,080 | 11,508 | 6,924 |
| 0,2—0,4 | 1,625 | 0,058 | 0,039 | 1,056 | 0,224 | 0,088 | 0,128     | 0,934 | 1,100 | 21,965 | 11,178 | 7,234  | 5,587 |
| 0,4—0,6 | 1,446 | 0,036 | 0,029 | 1,008 | 0,267 | 0,101 | 0,017     | 0,580 | 0,13  | 20,965 | 13,323 | 8,302  | 0,739 |
| 0,6—1,0 | 1,34  | 0,033 | 0,024 | 0,984 | 0,267 | 0,077 | 0,047     | 0,531 | 0,677 | 20,467 | 13,323 | 6,329  | 2,023 |
| 1,0—1,5 | 1,166 | 0,046 | 0,024 | 0,768 | 0,249 | 0,049 | 0,022     | 0,741 | 0,677 | 15,974 | 12,42  | 4,028  | 0,939 |
| 2,0—2,5 | 0,176 | 0,033 | 0,015 | 0,072 | 0,039 | 0,003 | 0,005     | 0,531 | 0,423 | 1,498  | 1,946  | 0,247  | 0,269 |
| 2,5—3,0 | 0,138 | 0,036 | 0,05  | 0,072 | 0,039 | 0,005 | 0,005     | 0,580 | 0,423 | 1,498  | 1,946  | 0,311  | 0,244 |
| 3,0—4,0 | 0,616 | 0,033 | 0,019 | 0,384 | 0,142 | 0,021 | 0,003     | 0,531 | 0,536 | 7,987  | 7,086  | 1,726  | 0,242 |
| 4,0—5,0 | 0,518 | 0,046 | 0,019 | 0,312 | 0,120 | 0,021 | 0,001     | 0,741 | 0,536 | 6,490  | 5,989  | 1,726  | 0,062 |
| 5,0—6,0 | 0,160 | 0,039 | 0,024 | 0,072 | 0,039 | 0,005 | 0,010     | 0,950 | 0,677 | 1,498  | 1,946  | 0,311  | 0,868 |
| 6,0—7,0 | 0,066 |       |       |       |       |       | С л е д ы |       |       |        |        |        |       |
| 7,0—8,0 | 0,008 |       |       |       |       |       |           |       |       |        |        |        |       |

С л е д ы

|           |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |       |           |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| 8,0—9,0   | 0,170 | 0,046 | 0,019 | 0,096 | 0,056 | 0,003     | 0,005 | 0,741 | 0,536 | 1,997 | 2,794 | 0,247     | 0,233 |
| 10,0—11,0 | 0,176 | 0,042 | 0,015 | 0,096 | 0,034 | С л е д ы | 0,034 | 0,676 | 0,423 | 2,097 | 1,697 | С л е д ы | 1,499 |
| 12,0—13,0 | 0,158 | 0,036 | 0,015 | 0,072 | 0,030 |           | 0,025 | 0,508 | 0,423 | 1,598 | 1,497 |           | 1,104 |
| 14,0—15,0 | 0,128 | 0,055 | 0,024 | 0,048 | 0,039 | 0,005     | 0,007 | 0,886 | 0,677 | 0,998 | 1,946 | 0,311     | 0,304 |
| 15,0—16,0 | 0,074 |       |       |       |       | С л е д ы |       |       |       |       |       |           |       |
| 16,0—17,0 | 0,230 | 0,039 | 0,068 | 0,072 | 0,039 | С л е д ы | 0,050 | 0,628 | 1,918 | 1,598 | 1,946 | С л е д ы | 2,198 |



Сравнительно небольшое увеличение минерализации связано с тем, что главное поступление на питание скважин приходится на глубины 35—70 м, где установлены фильтры скважин и по разрезу располагаются наиболее чистые пески с гравиями, обладающие большими коэффициентами фильтрации. Пески, подстилающие суглинки, представлены тонкозернистыми пылеватыми разностями, имеют мощность от 10 до 20 м и более и являются как бы подушкой, в некоторой мере аккумулирующей поступающие из суглинков соли и лишь постепенно отдающей их в поток подземных вод, направленный к скважинам вертикального дренажа. Поэтому несмотря на довольно значительный вынос солей из покровных суглинков за истекший год минерализация откачиваемых вод увеличилась сравнительно немного.

Возможно, при дальнейшей эксплуатации скважин проявится некоторая тенденция к увеличению минерализации откачиваемых вод. Однако в связи с тем что основной характер засоления сульфатный (гипсовый), минерализация увеличится не более чем до 3 г/л.

О времени, потребном для полного опреснения почвенно-грунтового профиля в покровных суглинках и грунтовых вод, на основании изложенного выше материала можно высказать следующие соображения. Анализируя рис. 3, видим, что за год вертикальная скорость перемещения солевого максимума вниз составила в среднем 2 м. Если принять, что она сохранится и в дальнейшем (а надо ожидать, что при развитии системы вертикального дренажа и нормальной ее работе она увеличится), то потребуется 10 лет для преодоления мощности в 20 м. Если же представить, что из общего запаса солей, составляющего, например, по профилю точки 2 около 900 т/га, за год вынесено 84 т/га, то за период вдвое меньший можно ожидать полное опреснение почвенного профиля.

Следует отметить, что 1960—1961 гг. посвящены в основном строительству опытно-производственных систем вертикального дренажа, поэтому откачки, обеспечивающие снижение пьезометрических напоров в песках и создание устойчивых нисходящих рассоляющих токов грунтовых вод, не проводились регулярно. Мало уделено внимания вопросам планомерного хозяйственного освоения земель опытно-производственного участка, планировкам и промывкам. Это будет сделано в 1962 г.

Несомненно, при регулярной работе скважин и проведении указанных выше агромелиоративных мероприятий рассоление будет идти значительно интенсивнее, и можно с уверенностью утверждать, что уже за 2 года освоения на фоне работы системы вертикального дренажа солончаки исчезнут полностью и профиль почвогрунтов надежно опреснится на глубину 6—10 м, а грунтовые воды — до 3—4 г/л.



А. УМАРОВ

### РЕГУЛИРОВАНИЕ БАЛАНСА ГРУНТОВЫХ ВОД В ПОКРОВНЫХ СУГЛИНКАХ С ПОМОЩЬЮ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА (НА ПРИМЕРЕ ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ)

Анализ материалов гидрогеологических исследований и производственного опыта по бурению скважин на воду позволил Институту водных проблем и гидротехники АН УзССР наметить пути использования подземных вод для орошения посредством применения вертикального дренажа в мелиоративных целях в Голодной степи [4].

Геологический разрез зоны современного орошения Голодной степи представлен с поверхности лессовидными суглинками мощностью 16—20 м и более, подстилаемыми песчано-гравийной аллювиальной толщей мощностью 150—200 м и более.

Пьезометрические напоры в подстилающих песках в отдельные периоды (особенно в летние месяцы) превышают уровень грунтовых вод, и благодаря этому образуется восходящий вертикальный ток из песков в суглинки. Под влиянием интенсивного расходования грунтовых вод на испарение и транспирацию легкорастворимые соли выносятся в верхние слои почвогрунтов и происходит вторичное засоление земель.

С применением вертикального дренажа в Голодной степи создаются нисходящие токи в суглинистой толще за счет понижения пьезометрического напора в песках и обеспечивается необратимое рассоление верхних слоев почвогрунтов.

Теоретические исследования по этому вопросу, проведенные Институтом водных проблем и гидротехники АН УзССР (Н. М. Решеткина), показали полную реальность этой задачи. При этом уже через два-три года работы системы вертикального дренажа можно получить устойчивый и достаточно интенсивный процесс рассоления верхних слоев почвогрунтов и грунтовых вод.

Для проверки этих теоретических положений и уточнения расчетных параметров при проектировании, строительстве и эксплуатации таких систем решено было построить специальные опытно-производственные системы вертикального дренажа в условиях Шурузякского понижения (совхоз «Социализм») и Голодностепского плато (г. Гулистан).

Опытно-производственный участок Шурузяк расположен в средней части Шурузякского понижения, занимающего центральную часть Голодностепского аллювиального бассейна, в 3 км к западу от центральной усадьбы совхоза «Социализм». Источник питания грунтовых вод — фильтрационные воды из ирригационных каналов и орошаемых полей, а также подземный приток по песчано-галечниковому аллювию Чирчика и Ангрена. Отток грунтовых вод с территории затруднен по гидро-



геологическим особенностям. Избыток притока их по сравнению с оттоком компенсируется главным образом испарением с почвы и транспирацией растениями.

Вся территория участка представлена почвами от слабо- или сильнозасоленных до солончаков. По нашим наблюдениям, в современных ирригационно-хозяйственных условиях пьезометрические напоры гравелисто-песчаного водоносного пласта летом и осенью стоят выше уровня грунтовых вод на 0,2—0,5 м.

Коэффициент земельного использования площади участка (КЗИ) составляет 0,4; главная культура — хлопчатник (до 70%), остальная территория не освоена и используется под выгон.

Борьба с засолением земель в совхозе «Социализм» велась с помощью промывок на фоне горизонтального открытого дренажа. Удельная протяженность коллекторно-дренажной сети (1960 г.) составляет 17,0 пог. м на 1 га. Глубина дрен 2,0—2,5 м, их техническое состояние плохое (заросли тростником). Этими дренами грунтовые воды собираются в магистральный коллектор Шурузяк, проходящий в тальвеге Шурузякской депрессии, отводятся за пределы участка и сбрасываются в р. Сыр-Дарью.

Удельный расход существующей коллекторно-дренажной сети, по нашим наблюдениям, колеблется от 0,07 до 0,14 л/сек с 1 га и меняется в зависимости от режима грунтовых вод, водоподачи и климатических условий года.

Строительство системы вертикального дренажа в совхозе начато в 1959 г. К началу 1961 г. имелось 11 основных скважин на территории 3-го отделения совхоза; площадь участка 2000 га. Для наблюдения за динамикой грунтовых и напорных вод на опытно-производственном участке установлено 139 пьезометров, собранных в 44 куста.

В связи с переключением участка в 1959 г. на вертикальный дренаж существующие горизонтальные дренажи используются как сбросные каналы для отвода откачиваемой напорной воды, не нужной для орошения после вегетации, в коллектор Шурузяк.

Для определения суммарного количества воды, отводимой дренажной системой, расчет дренажа производится по методу общего водного баланса и баланса грунтовых вод в покровных суглинках мелиорируемой территории.

Анализ общего водного баланса и баланса грунтовых вод суглинистой толщи позволяет правильно запланировать режим орошения, установить степень и характер необходимых мероприятий по регулированию зеркала грунтовых вод и служит основой для назначения оптимального режима откачек из систем вертикального дренажа.

В связи с этим в общий комплекс наблюдений на опытно-производственном участке вертикального дренажа, осуществляемый Институтом водных проблем и гидротехники АН УзССР, включены исследования водного баланса. На протяжении 3 лет на Шурузякском участке ведутся наблюдения за каждым элементом баланса грунтовых вод в покровных суглинках.

Границей балансового участка с севера принят водосбор В-Ш-22, с востока — распределитель Шурузяк, с юга — водосбор В-Ш-16 и с запада — коллектор Шурузяк; общая площадь выделенного контура 2000 га. Расчет водного баланса произведен по общеизвестному уравнению А. Н. Костякова [1].

Для учета поступления воды на балансовый участок, отвода дренажных вод с него и воды, откачиваемой из скважины, установлена сеть водомерных устройств. Испарение и транспирацию определяли на стационарных точках по методике А. А. Скворцова.



С июля 1960 г. начались откачки из системы 6 скважин. Однако они проводились с частыми перерывами в связи с различными техническими неполадками. Дебит всей системы скважин колебался в пределах 300—700 л/сек и в среднем за год составлял 0,5 м<sup>3</sup>/сек. Систематические откачки при общем дебите их 0,5 м<sup>3</sup>/сек на площади действия вертикального дренажа понизили пьезометрический напор на 2—2,5 м. В результате грунтовые воды начали опускаться со средней скоростью 0,02—0,03 м/сутки, отток их в песчано-гравелистый пласт составлял 20—30 м<sup>3</sup>/га в сутки.

Из анализа действия скважин следует, что общий дебит системы их формировался следующим образом: из дренируемого пласта к скважинам поступало 93,3% ее дебита за счет снижения уровня грунтовых вод на 4,2% и из второго хорошо проницаемого пласта — 2,5%. Для расчета водного баланса покровного суглинка в период откачек отток грунтовых вод в среднем принят 4% от общего дебита скважин.

На основании полученных значений отдельных элементов подсчитан общий водный баланс для толщи покровных суглинков с октября 1959 г. по октябрь 1961 г., а также прогнозированы изменения запасов грунтовых вод под влиянием откачек (табл.). В течение 1959—1960 гг. (до включения в работу скважин) накопление запасов грунтовых вод на участке происходило преимущественно за счет превышения подземного притока над оттоком, т. е. восходящей фильтрации из песчаного водоносного горизонта, подстилающего покровные суглинки, содержащие грунтовые воды.

В формировании грунтовых вод участвуют в известной мере потери воды на фильтрацию из оросителя Шурузак (11,1%), но главным образом приток грунтовых вод из песчаного водоносного горизонта (31,55%).

Откачка из 6 скважин вертикального дренажа, расположенных на участке площадью примерно 400 га, в июле, сентябре и октябре 1960 г. не вызвала существенных изменений запасов грунтовых вод на всем балансовом участке (2000 га) ввиду малого дебита и короткого срока откачек.

Существующая динамика водного баланса показывает, что осенняя водоподача для промывок почв и осадки приводят к подъему грунтовых вод на 1,25 м. Весенний спад их за счет испарения и транспирации тянется до июля. Под орошаемыми участками наблюдается подъем грунтовых вод из-за вегетационных поливов.

В 1961 г. откачка воды из скважин проводилась с частыми перерывами, что нашло отражение в сводных данных по водному балансу. Однако в пределах действия 5 скважин, расположенных по «конверту», понижение уровня грунтовых вод достигает 3,3 м. Интенсивная откачка напорных подземных вод и умелое использование их для орошения в вегетационный период на хлопковом поле между скв. 4, 5 и 6 площадью 25,5 га позволили увеличить урожайность сельскохозяйственных культур на этой территории и полностью ликвидировать засоление.

По статистическим данным совхоза «Социализм» Комсомольского района Ташкентской области и по наблюдениям Института водных проблем и гидротехники АН УзССР, урожай хлопка-сырца в зоне действия вертикального дренажа в пределах «конверта» (бригада 5, отделение III) составил в 1961 г. 22,3 ц/га; по сравнению с 1959 г. он увеличился на 6 ц/га.

Использование откачиваемых подземных вод из систем вертикальных дрен на орошение и промывки резко изменяет водный баланс покровного суглинка.



В таблице приводятся данные, прогнозирующие также изменения запаса грунтовых вод на балансовом участке при работе систем верти-

Таблица

Общий водный баланс опытно-производственного участка совхоза „Социализм“ (валовая площадь балансового участка 2000 га)

| Наименование статей                                      | Существующий       |       |                    |       | Прогнозный               |       |                          |       |
|----------------------------------------------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
|                                                          | 1.X1959—1.X1960    |       | 1.X1960—1.X1961    |       | q=500 л/сек              |       | q=1000 л/сек             |       |
|                                                          | м <sup>3</sup> /га | %     | м <sup>3</sup> /га | %     | м <sup>3</sup> /га в год | %     | м <sup>3</sup> /га в год | %     |
| Приход                                                   |                    |       |                    |       |                          |       |                          |       |
| Атмосферные осадки                                       | 3590,0             | 25,7  | 2565,0             | 23,6  | 3590,0                   | 30,3  | 2565,0                   | 22,4  |
| Водоподача по участку                                    | 4436,0             | 31,65 | 6705,5             | 61,5  | 4436,0                   | 37,4  | 6705,5                   | 58,5  |
| Фильтрационные воды из канала Шурузяк                    | 1533,0             | 11,1  | 1210,6             | 11,1  | 1533,0                   | 12,9  | 1210,6                   | 10,5  |
| Подземный приток                                         | 4425,0             | 31,55 | 23,2               | 0,2   | 1119,0                   | 9,4   | —                        | —     |
| Итого                                                    | 13 984,0           | 100,0 | 10 504,3           | 96,4  | 10 678,0                 | 90,0  | 10 481,4                 | 91,4  |
| Расход                                                   |                    |       |                    |       |                          |       |                          |       |
| Суммарное испарение и транспирация                       | 8703,0             | 62,3  | 6859,8             | 63,0  | 7695,0                   | 65,0  | 6759,7                   | 58,9  |
| Отвод грунтовых вод по горизонтальным дренам             | 4197,6             | 30,0  | 2101,1             | 19,3  | 1355,0                   | 11,4  | 696,3                    | 6,1   |
| Отток при помощи вертикального дренажа                   | 45,4               | 0,3   | 105,8              | 1,0   | 191,8                    | 1,6   | 630,7                    | 5,5   |
| Подземный отток                                          | 878,0              | 6,3   | 1829,6             | 16,7  | 2604,2                   | 22,0  | 3359,7                   | 29,5  |
| Итого                                                    | 13 824,0           | 98,9  | 10 896,3           | 100,0 | 11 846,0                 | 100,0 | 11 446,4                 | 100,0 |
| Баланс покровного суглинка                               |                    |       |                    |       |                          |       |                          |       |
| Изменение запаса грунтовых вод ( $\mu\Delta H$ )         | +160,0             | 1,1   | -392,0             | 3,6   | -1168,0                  | 10,0  | -965,3                   | 8,6   |
| Среднее изменение уровня грунтовых вод ( $\Delta H$ ), м | +0,2               | —     | -0,49              | —     | -1,46                    | —     | -1,2                     | —     |

Примечания. При определении оттока грунтовых вод с помощью вертикального дренажа учтено 4,0% от общего дебита откачек, т. е. та часть, которая поступила из суглинков; водоотдача или недостаток насыщения в зонах колебания уровня грунтовых вод для расчета приняты  $\mu=0,08$ ; при прогнозировании динамики уровня грунтовых вод подземный приток и отток покровного суглинка заимствованы из существующего водного баланса участка.

кального дренажа. В первом случае суммарный дебит системы вертикальных дрен принят в среднем 0,5 м<sup>3</sup>/сек, т. е. при откачке из системы 6 скважин (площадью 400 га) при существующем состоянии участка



достигается понижение уровня грунтовых вод на 1,46 м; во втором — в среднем 1,0 м<sup>3</sup>/сек, т. е. при откачке из системы 11 скважин на 2000 га и коэффициенте земельного использования 0,9 благодаря интенсивной откачке из системы вертикальных дрен и использованию откачиваемых подземных вод в вегетационный период уровень грунтовых вод уменьшается на 1,2 м.

В Голодной степи «критическая» глубина залегания грунтовых вод 2,5—3,0 м, в наших условиях—2,8 м. Проведенные нами исследования и результаты прогноза водного баланса покровного суглинка на опытном участке доказали достаточно высокую мелиоративную эффективность вертикального дренажа.

Для ускорения необратимого процесса рассоления почвогрунтов и грунтовых вод на балансовом участке и улучшения мелиоративного состояния совхоза «Социализм» необходимо увеличить количество действующих скважин вертикального дренажа, их дебит и срок откачки грунтовых вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Костяков А. Н. Основы мелиорации, М., Сельхозгиз, 1960.
  2. Крылов М. М. Основы мелиоративной гидрогеологии Узбекистана, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1959.
  3. Лебедев А. В. Прогноз изменения уровня грунтовых вод на орошаемых территориях, М., Геолыздат, 1957.
  4. Решеткина Н. М. Гидрогеологические основы вертикального дренажа, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960.
  5. Сляднев А. Ф. Методы изучения баланса грунтовых вод, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1961.
-



Э. И. ГРИНЕВ, Р. И. ПАРЕНЧИК

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЬЕЗОМЕТРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРИТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД

При исследовании закрытых горизонтальных дрен в совхозе «Фархад» применяли временные пьезометры, предложенные А. П. Вавиловым [1].

Литология опытного участка до глубины 200 м характеризуется данными по скважине Гидрогеологического треста, пробуренной в 1956 г. От поверхности до глубины 40 м залегает суглинок с прослойками глины, супеси и песка. На глубине 22 м встречен прослой глины, в интервале 40—46 м — суглинок с включением гальки и гравия, прослойками конгломерата на известковисто-глинистом цементе, ниже 46 м — суглинок с небольшим содержанием гальки и гравия, прослойками глины и супеси мощностью до 0,5 м. На глубине 50—58 м вскрыт водоносный горизонт, представленный галечником с суглинком в виде слабосцементированного конгломерата. Ниже водоносного горизонта до глубины 200 м залегает суглинок с редкими включениями гальки (до глубины 95 м) и известковистых конкреций, прослойками супеси, глины и песка мощностью до 1 м.

Створ пьезометров установлен на одной из дрен в середине между контрольными колодцами 2 и 3, пьезометры размещены кустами, влево и вправо от оси дрены до середины левого и правого междренений на расстояниях 1, 3, 10, 30, 100 м и в середине междренений. В одном кусте, расположенном в 1 м от оси дрены, установлено 5 пьезометров: первый — до глубины заложения дрены, а последний — до 20 м. Остальные кусты состоят из двух пьезометров, один из которых находится на глубине заложения дрены, второй — на глубине от 5 до 20 м. Всего установлено 27 пьезометров. Схема их размещения показана на рис. 1 (все размеры даны в метрах).

Все пьезометры устроены из водо-газопроводных металлических труб диаметром  $\frac{3}{4}$ ". Вода в пьезометры поступала через фильтр из 8 отверстий ( $d=2-3$  мм), расположенных двумя поясками, по 4 отверстия в каждом. Расстояние между поясками 10 мм. Нижний конец пьезометра забивали деревянной пробкой. Участок трубы от нижнего конца пьезометра до фильтра (длиной обычно 1 м) представлял собой отстойник для частиц грунта, попавших в пьезометр через фильтр.

Для установки пьезометров сначала пробивали скважину до необходимой, заранее вычисленной глубины, на которой должен находиться фильтр пьезометра с учетом глубины отстойника. При этом испытывали 2 метода проходки скважин:



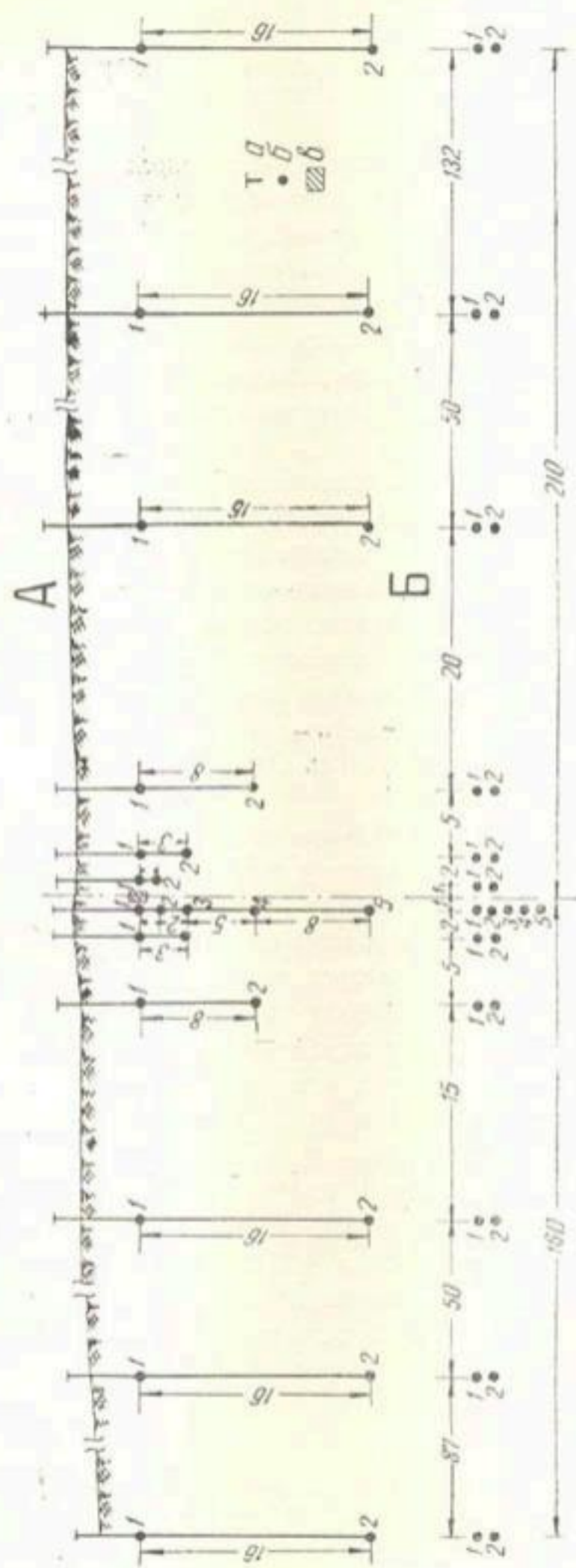


Рис. 1. Схема размещения пьезометров.

A—размещение пьезометров по профилю, B—размещение пьезометров в плазме; 1—устия пьезометров, 2—фильтр и номер пьезометра, a—дрена в фильтрующей обсыпке.



1) со сквозными наконечниками различной конструкции и накачиванием воды внутрь трубы, для чего использовали водяной ручной двухцилиндровый насос двустороннего действия, способный подавать 35—65 л/мин при напоре 30 м;

2) с глухим наконечником и подливом воды в затрубное пространство.

В результате испытаний выяснилось, что использование сквозных наконечников значительно облегчает установку пьезометров (2 человека могут свободно забивать трубы диаметром  $\frac{3}{4}$ " до глубины 20—30 м). Однако этот способ требует очень большого количества чистой воды и непрерывной подачи ее под большим напором, причем забивка до проектной глубины должна осуществляться без перерыва. При отсутствии достаточного напора и перерывах, вызванных наращиванием колонны труб, наконечник сразу забивается грязью, которая проникает и внутрь труб.

В наших опытах сквозные наконечники можно было применять только до глубины 7—10 м, а затем напор, создаваемый насосом, становился недостаточным и наконечник забивался грунтом. Из-за недостаточной мощности насоса и ограниченного количества воды мы отказались от этого способа. Поэтому скважины для пьезометров бурили с помощью глухого наконечника с подливом воды в затрубное пространство. При этом способе расходуется мало воды, но зато требуется в два раза больше рабочих. Следует отметить, что 4 человека без особых усилий могут пробить скважину до 30 м. Очень важно следить за вертикальностью скважины.

После того как скважину пробивали до проектной глубины, трубу с наконечником вынимали и в скважину опускали заранее подготовленный пьезометр. Во избежание быстрого заиливания в него непрерывно накачивали чистую воду до тех пор, пока он не опускался до дна.

Для очистки заиленных пьезометров через резиновую трубку с металлическим наконечником, опущенную до дна, накачивали насосом воду. Струя воды размывала ил, и он с водой выносился из устья трубы; этот процесс происходил быстро, в течение нескольких минут.

Замеры в пьезометрах производили одновременно с определением расходов воды в устье дрены. Замеры уровня воды осуществляли хлопущкой на тесмяной рулетке с точностью до  $\pm 1$  мм, а до дна (для проверки заиления и положения фильтра) — свинцовым грузиком на капроновой нити с точностью  $\pm 5$  см.

Из всех пьезометров брали пробы воды для анализа на засоление и определяли содержание плотного остатка и хлора, затем по формуле (1) — процент NaCl и по таблицам Н. М. Димо [2] — удельный вес ( $\gamma$ ) воды в каждом пьезометре.

$$C = \frac{1,65 A \times 100}{B}, \quad (1)$$



где  $C$  — содержание  $\text{NaCl}$ , %;  
 $A$  — содержание хлора, г/л;  
 $B$  — содержание плотного остатка, г/л.

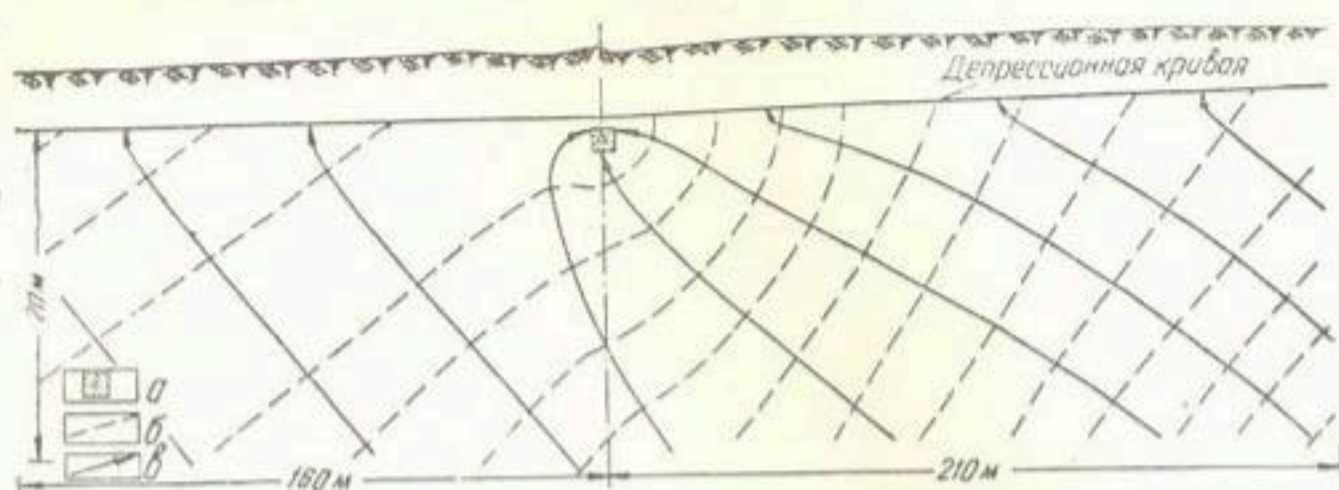


Рис. 2. Схема сетки движения грунтовых вод в 20-метровой толще почвогрунтов на участке от середины левого до середины правого междурений.  
 $a$  — дрена в фильтрующей обсыпке,  $b$  — эквипотенциалы,  $в$  — линии токов.

По удельному весу воды откорректированы отметки воды во всех пьезометрах (приведены к одной минерализации) по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = \Delta + \Delta h, \quad (2)$$

где  $\Delta_{\text{пр}}$  — приведенная отметка воды в пьезометре;  
 $\Delta$  — замеренная отметка воды в пьезометре;

$$\Delta h = (\gamma - 1) h,$$

где  $\gamma$  — удельный вес воды в пьезометре;

$h$  — замеренная высота столба воды в пьезометре над фильтром.

По откорректированным данным построены депрессионные кривые и гидродинамические сетки. На рис. 2 показана схематическая сетка движения грунтовых вод в 20-метровой толще при отсутствии поливов на участке длиной 370 м от середины левого до середины правого междурений, а на рис. 3 — то же на участке шириной 16 м, непосредственно прилегающем к дрена (по 8 м влево и вправо от нее).

При построении сеток производили корректировку напоров по отдельным пьезометрам, показания которых нарушали общую закономерность; при этом учитывали графики колебаний уровня воды во всех пьезометрах, форму депрессионных кривых и гидродинамических сеток.

По гидродинамическим сеткам и депрессионным кривым подсчитаны коэффициенты фильтрации.

По сеткам коэффициенты фильтрации определяли по формуле

$$k = \frac{qS}{B\Delta h}, \quad (3)$$



где  $q$  — расход на 1 пог.м дрены, м<sup>3</sup>/сутки;  
 $S$  — расстояние между эквипотенциалами, м (рис. 2 и 3);  
 $B$  — расстояние между крайними линиями тока, где движется расход  $q$ , м (берется с чертежа);  
 $\Delta h$  — падение напора на пути  $S$ , м.

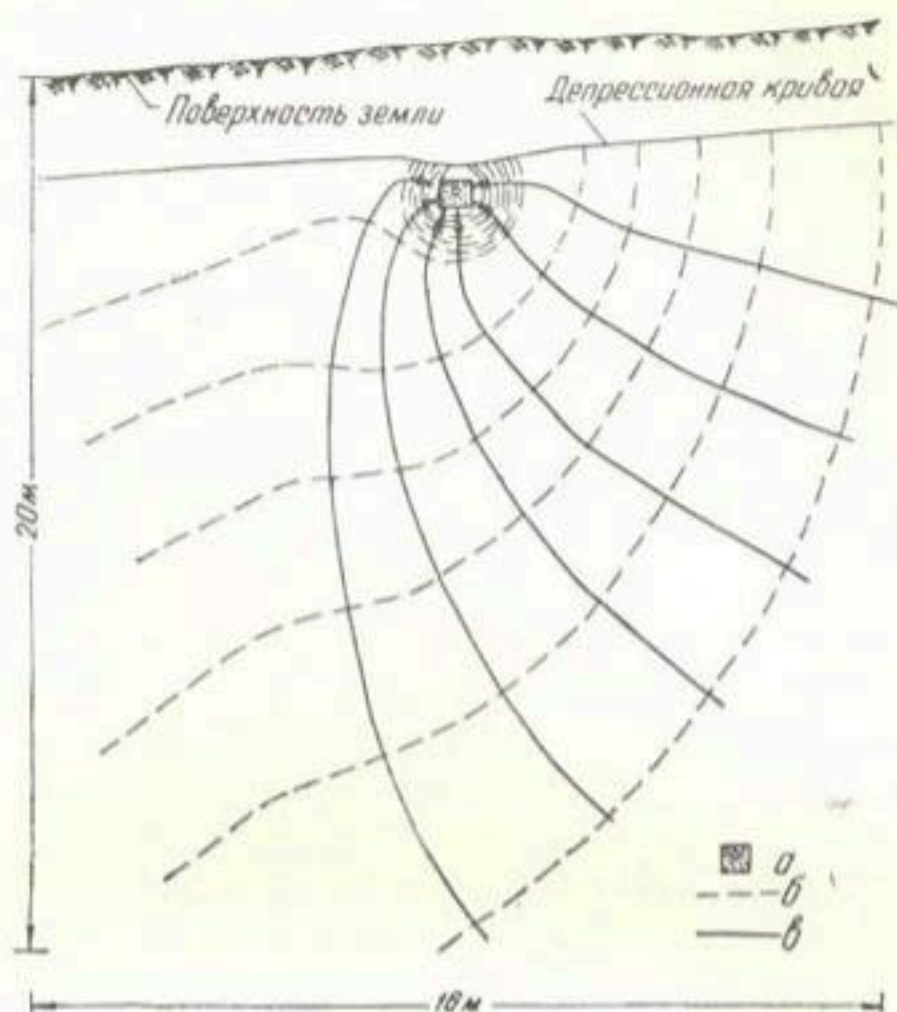


Рис. 3. Схема сетки движения грунтовых вод к закрытой дрене.

$a$ —дрена в фильтрующей обсыпке,  $b$ —эквипотенциалы,  $a$ —линии токов.

При построении сетки (с учетом особенности ее формы) для сравнения коэффициентов фильтрации по вертикали и горизонтали смоченный периметр фильтрующей обсыпки делили на равные части и проводили соответствующие линии токов, делящие поток на отдельные части, для которых подсчитывали коэффициенты фильтрации: для левых крайних линий токов—по вертикали, а для правых крайних—по горизонтали.

Коэффициенты фильтрации по депрессионным кривым подсчитывали по формуле

Таблица  
Коэффициенты фильтрации (м/сутки) по гидродинамическим сеткам и депрессионным кривым

| по вертикали | По сетке       |         | По депрессионным кривым |
|--------------|----------------|---------|-------------------------|
|              | по горизонтали | средний |                         |
| 6,70         | 0,95           | 3,40    | 2,13                    |
| 2,07         | 0,90           | 1,76    | 2,44                    |
| 1,92         | 0,37           | 1,30    | 0,72                    |
| 2,67         | 0,42           | 0,65    | —                       |
| 8,26         | 1,64           | 2,47    | —                       |
| 11,11        | 3,31           | 5,60    | 3,12                    |

$$k = \frac{1,47q \left( \lg \frac{2l}{b} - \frac{l}{2,3B} \right)}{h}, \quad (4)$$



где  $q$  — приток на 1 пог.м дрены с одной стороны;  
 $l$  — расстояние от оси дрены до выбранной точки кривой депрессии;  
 $b$  — ширина фильтра закрытой дрены;  
 $B$  — дальность действия дрены в одну сторону;  
 $h$  — напор в выбранной точке кривой депрессии относительно уровня воды в дрене.

### ВЫВОДЫ

1. Грунтовые воды в период наблюдений имели напорный характер, о чем свидетельствует восходящее направление линий токов.
2. Отклонение линий токов от вертикали в левую сторону (по рис. 2) связано с наличием общего уклона зеркала грунтовых вод справа налево, величина которого составляет 0,00365.
3. Коэффициенты фильтрации почвогрунтов по вертикали в несколько раз выше коэффициентов фильтрации по горизонтали. С глубиной они уменьшаются.
4. Величины коэффициентов фильтрации, подсчитанные по сеткам и депрессионным кривым имеют сравнительно большую величину. В расчетах дренажных сооружений по зоне Южного Голодностепского канала коэффициент фильтрации принимали равным 0,7 м/сутки.
5. Для расчетов дренажа следует принимать коэффициенты фильтрации, определенные откачками, по гидродинамическим сеткам или депрессионным кривым, причем второй метод дает не только величину коэффициента фильтрации, но и направление притока воды к дрене.
6. Вышеизложенные первые три пункта определили и характер поступления воды в дренаж. При отсутствии поливов вода в дренаж поступала с одной (по рис. 2 с правой) стороны, преимущественно с глубоких горизонтов.
7. При поливах в междреньях слева и справа от дрены гидродинамические сетки построить не удалось, так как вследствие слоистости и анизотропности почвогрунтов эквипотенциали принимали хаотический характер.
8. При поступлении воды в дренажную трубу потери напора резко возрастали, о чем свидетельствует загущение эквипотенциалей в непосредственной близости от дрены (фильтрующая обсыпка и прилегающая к ней зона).
9. Проведенные опыты показали необходимость более широкого применения пьезометров и скважин для натурного изучения дренажных сооружений и при мелиоративных исследованиях. Это особенно важно для проверки принятых проектных решений в сложных гидрогеологических условиях, в частности в Голодной степи, для которых трудно, а зачастую невозможно подобрать правильные теоретические решения, подтвержденные экспериментальными данными.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В а н и л о в А. П. Пьезометры для мелиоративных исследований, Бюллетень научно-технической информации САНИИРИ, Ташкент, 1957, № 2.
2. Д и м о Н. М. Метод определения по удельному весу плотного остатка в почвах и водах, Тбилиси, 1937.



Г. А. АХМЕДОВ

## О ТЕПЛОВОМ БАЛАНСЕ ЛЮЦЕРНОВОГО ПОЛЯ

Январский Пленум ЦК КПСС 1961 г. поставил большие задачи по дальнейшему расширению орошаемых земель. Необходимо развернуть комплексные работы по улучшению их мелиоративного состояния. Прежде всего следует правильно организовать орошение и определить общее количество воды, расходуемой при возделывании различных сельскохозяйственных культур.

При проектировании поливных режимов, расчете коллекторно-дренажной сети, составлении водного баланса орошаемых площадей и отдельных участков одной из важнейших задач является определение суммарного испарения сельскохозяйственных культур в орошаемых и вновь осваиваемых районах. В условиях орошаемого земледелия оно исчисляется методом теплового баланса, основывающимся на законе сохранения энергии.

Изучение теплового режима приобретает особо важное значение в условиях орошаемого земледелия и в первую очередь в связи с вопросом о расходе поливной воды.

Настоящая работа посвящена изучению теплового баланса и его составляющих орошаемого люцернового поля. Известно, что люцерна является спутником хлопчатника в хлопково-кукурузно-люцерновом севообороте, а также одной из сельскохозяйственных кормовых культур в республиках Средней Азии.

Тепловой режим люцернового поля, зависящий от различных агротехнических мероприятий, изучен недостаточно.

Мы стремились получить данные, достаточно полно характеризующие радиационный и тепловой режим люцернового поля в зависимости от уклонов и степени увлажнения почвы.

В основу статьи положены результаты наблюдений на опытном люцерновом поле агрометеостанции Бозсу в 1954 г.

Опытные участки располагались на общем поле размером  $80 \times 40$  м; расстояние между точками наблюдений составляло 20—30 м. Люцерна на обоих участках была 3-го года посева. Следует отметить, что полив — один из важных факторов, вызывающих изменения в тепловом режиме люцернового поля. Существенную роль играют также густота и высота стояния растений. Изменение теплового режима в свою очередь в той или иной степени вызывает соответствующую реакцию растений.

В отличие от других факторов влияние полива и уклона проявляется в резком изменении теплового режима люцернового поля, а



не постепенном, как это происходит, например, в процессе развития растений.

Укосы, а также поливы на обоих участках производили неодновременно. Наблюдения проводили на обоих участках при различной высоте люцерны и разном увлажнении почвы, включая все фазы развития люцерны: отрастание, бутонизацию и цветение.

Весь цикл развития заканчивается через 35—40 дней, после чего люцерну скашивают. За вегетационный период растение подвергали 5 раз скашиванию и 4 раза поливу. Работа была выполнена Отделом геофизики Института математики и механики им. В. И. Романовского АН УзССР под руководством Б. А. Айзенштата.

Тепловой и водный баланс орошаемых полей — основные факторы, определяющие распределение температуры влажности в нижних слоях атмосферы и верхнем слое почвы [2, 5, 6].

В приходе-расходе лучистой энергии, поступающей к деятельной поверхности, в тепловую энергию преобразуется величина радиационного баланса ( $R$ ). Непосредственно деятельная поверхность не является источником или накопителем тепла. Следовательно, радиационный приток тепла равняется сумме энергии физических процессов, происходящих на деятельной поверхности. Радиационный приток тепла ( $R$ ) расходуется на теплооборот в почве ( $B$ ), теплоотдачу путем турбулентного обмена между воздухом и деятельной поверхностью ( $P$ ) и на испарение деятельной поверхности ( $V$ ).

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$R = B + P + V.$$

Существующие методы измерений и расчетов позволяют с достаточной точностью определить величину радиационного баланса и потока тепла в почву.

Измерение радиационного баланса проводилось по балансомеру, изготовленному в Отделе метеорологии Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Теплообмен в почве вычисляется по формуле Цейтина [8]:

$$B(t) = c_p \int_0^H [T(z, t) - T(z, 0)] m(z) dz - \frac{c_p k}{H-h} \int_0^t [T(H, \tau) - T(h, \tau)] d\tau,$$

где  $c_p$  — объемная теплоемкость,  $T$  — температура почвы,  $z$  — глубина,  $H-h$  — две глубины в почве,  $t$  — время ( $\tau$  — переменное время, меняющееся от  $\tau=0$  до  $\tau=t$ ),  $k$  — коэффициент температуропроводности,

$$m(z) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 < z < h \\ \frac{H-z}{H-h} & \text{при } h < z < H. \end{cases}$$

Коэффициент температуропроводности находим по следующему выражению:

$$k = \frac{\int_0^H [T(z, \tau) - T(z, 0)] u(z) dz}{\int_0^t [T(0, \tau) - T(h, \tau)] d\tau + h \int_0^t \frac{T(H, \tau) - T(h, \tau)}{H-h} d\tau}.$$



где

$$u(z) = \begin{cases} z & \text{при } 0 \leq z \leq h \\ \frac{h}{H-h}(H-z) & \text{при } h \leq z \leq H. \end{cases}$$

Из всех известных нам способов определения теплообмена в почве и коэффициента температуропроводности указанные выше отличаются наибольшей точностью, так как часть потока тепла, зависящая от теплопроводности ( $c_p \cdot k$ ), представляет значительно меньшую долю от общего потока. Кроме того, по этим формулам температура определяется не на поверхности почвы, как это делается в других методах, а в более глубоких слоях, где ее можно установить наиболее верно. Точность и преимущество вычислений теплообмена в почве по изложенному методу уже проверены исследователями [6 и 7].

Расчет турбулентного потока тепла и тепла, затрачиваемого на испарение с деятельной поверхности, производили по следующим формулам:

$$P = \frac{R-B}{1+1,56 \frac{\Delta e}{\Delta t}} \quad \text{и} \quad V = \frac{R-B}{1+0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}}$$

Здесь  $\Delta e$  — разность абсолютной влажности между двумя высотами,  $\Delta t$  — разность температуры воздуха между двумя высотами.

Тепловой баланс люцернового поля характеризуется тем, что ход составляющих его за период вегетации и суточные изменения обуславливаются не только географическими условиями, но и особенностями характера деятельной поверхности в связи с развитием растений, режимом орошения, уклоном и различными агротехническими мероприятиями. Так как люцерна за вегетационный период скашивалась 5 раз, то весь цикл развития растений повторялся столько же.

Для характеристики составляющих теплового баланса люцерны в различные периоды вегетации, а также в разных агротехнических условиях рассмотрим сначала их изменения в течение суток (суточный ход) (рис. 1, 2, 3).

Общий характер суточных изменений радиационного баланса во всех случаях аналогичен. В дневной период радиационный баланс имеет достаточно симметричный ход относительно полудня.

Момент перехода радиационного баланса через нуль в разных условиях несколько различен. Например, на скошенном и неполином участках радиационный баланс переходит через нуль примерно через 50—60 мин. после восхода солнца, на 20—30 мин. позже, чем на нескошенном и политом, а вечером — за 70—80 мин. до захода солнца, опережая соответствующий момент перехода через нуль на нескошенном и политом участках на 30—40 мин. (рис. 2, 3) [3]. Аналогичны различия между моментами перехода радиационного баланса через нуль и в разные фазы развития растений (рис. 1).

Отмеченное явление объясняется тем, что температура деятельной поверхности скошенного и неполиного участков в переходные моменты (как и в течение всего дня) выше, чем на нескошенном и политом. Это, в свою очередь, вызывает большие потери тепла со скошенного и неполиного участков на излучение при одинаковых потоках радиации сверху.

Максимальные значения радиационного баланса во всех случаях наблюдаются в околополуденные часы, минимальные — вскоре после захода солнца и очень мало меняются в течение всей ночи.



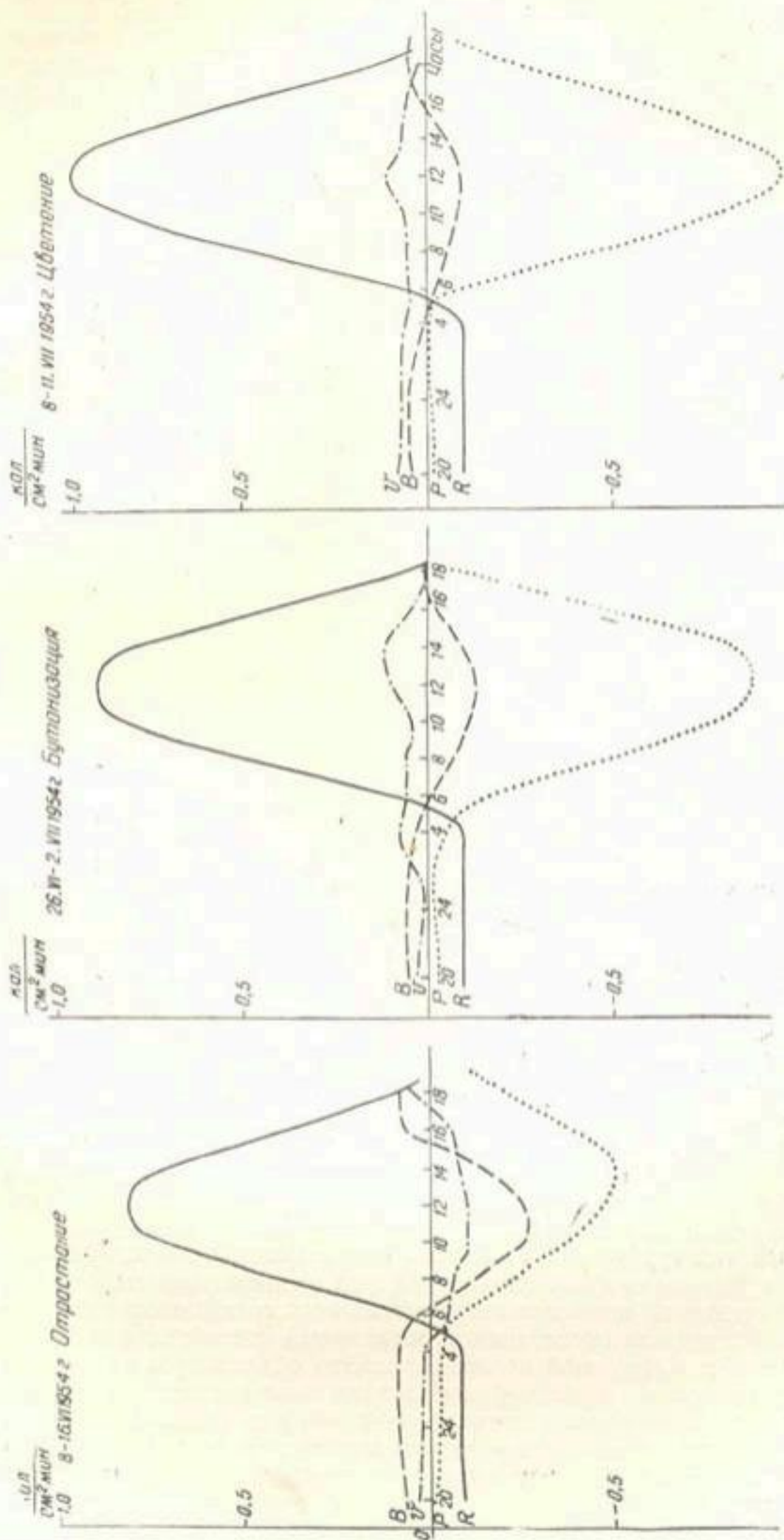


Рис. 1. Суточный ход составляющих теплового баланса люцернового поля по фазам развития растений.



С увеличением и ростом растительной массы полуденные значения радиационного баланса постепенно возрастают, так как люцерновое поле постепенно меняется от светлого к более темному, что обуславливает большее поглощение падающей радиации.

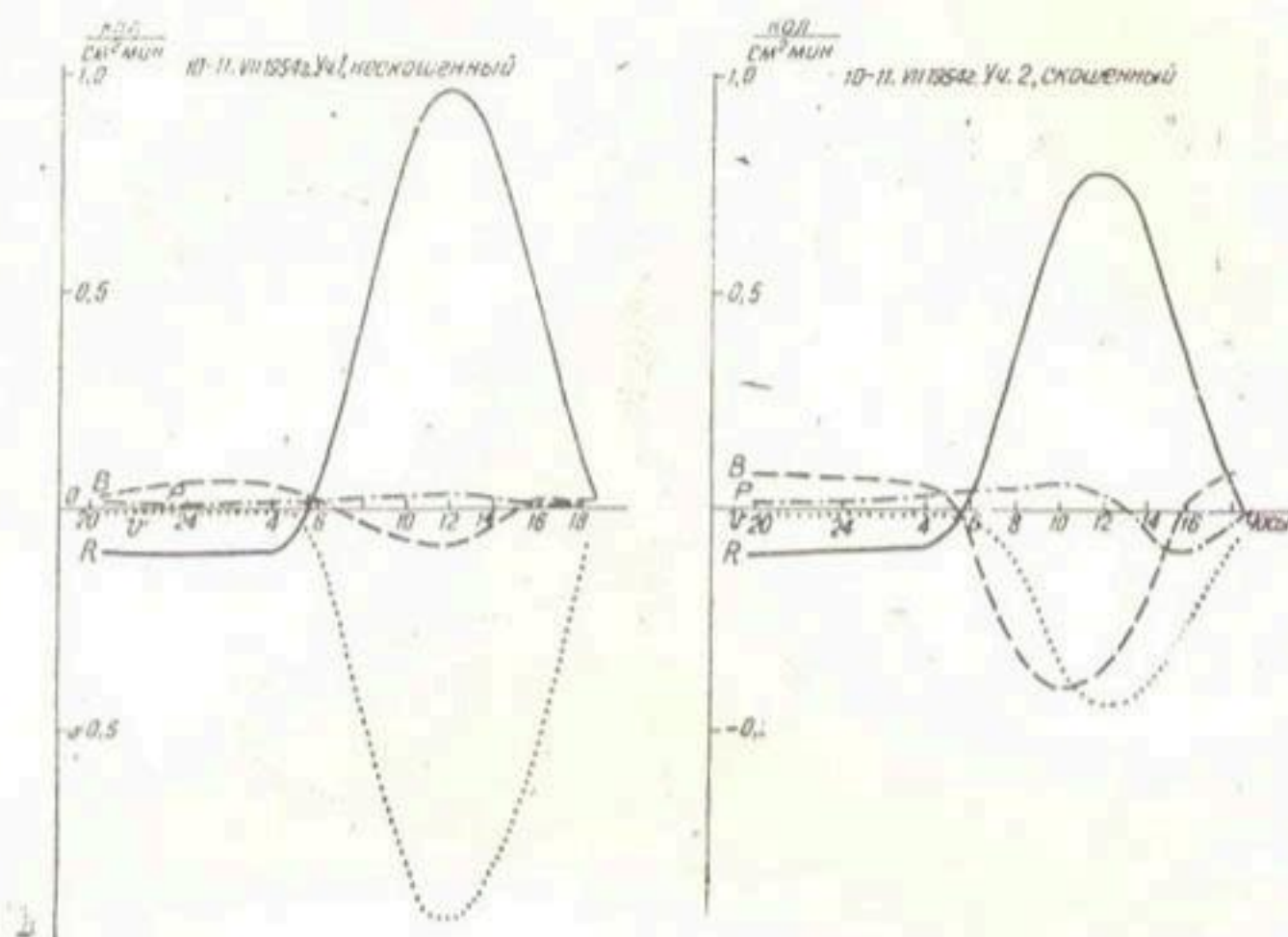


Рис. 2. Суточный ход составляющих теплового баланса люцернового поля в скошенном и нескошенном состояниях.

Это отчетливо видно из наблюдений за суточным ходом радиационного баланса на скошенном и нескошенном, а также на неполитом и политом участках (рис. 2 и 3).

Суточный ход потока тепла в почву во все периоды вегетации носит однообразный характер. Моменты перехода через нуль фиксируются утром, через 80—90 мин. после восхода солнца, и вечером, преимущественно между 15—16 час. Наибольшие дневные значения потока тепла за весь период в зависимости от состояния люцернового поля отмечаются в 10—12 час. дня, а минимальные — вскоре после захода солнца, около 20 час., в течение же ночи они почти не меняются.

Суточный ход турбулентного потока тепла между деятельной поверхностью и нижележащими слоями воздуха на люцерновом поле за весь период вегетации наиболее изменчив из всех составляющих теплового баланса. В период отрастания турбулентный поток тепла в основном направлен от деятельной поверхности. Это объясняется тем, что в вышеупомянутом состоянии люцернового поля к поверхности почвы под растениями проникает больше потока падающей радиации. Это в свою очередь обуславливает повышение температуры поверхности почвы под растениями. Таким образом, температура поверхности почвы выше, чем воздуха, поэтому турбулентный поток тепла направлен от поверхности в воздух.



В последующие периоды развития люцерны при быстром приросте зеленой массы турбулентный поток тепла в течение суток в основном направлен к деятельной поверхности. Причина этого — также разность температур деятельной поверхности и воздуха над люцерной. Благодаря круглосуточной инверсии температура окружающего люцерну воздуха в эти периоды развития выше, чем температура деятельной поверхности [1 и 2].

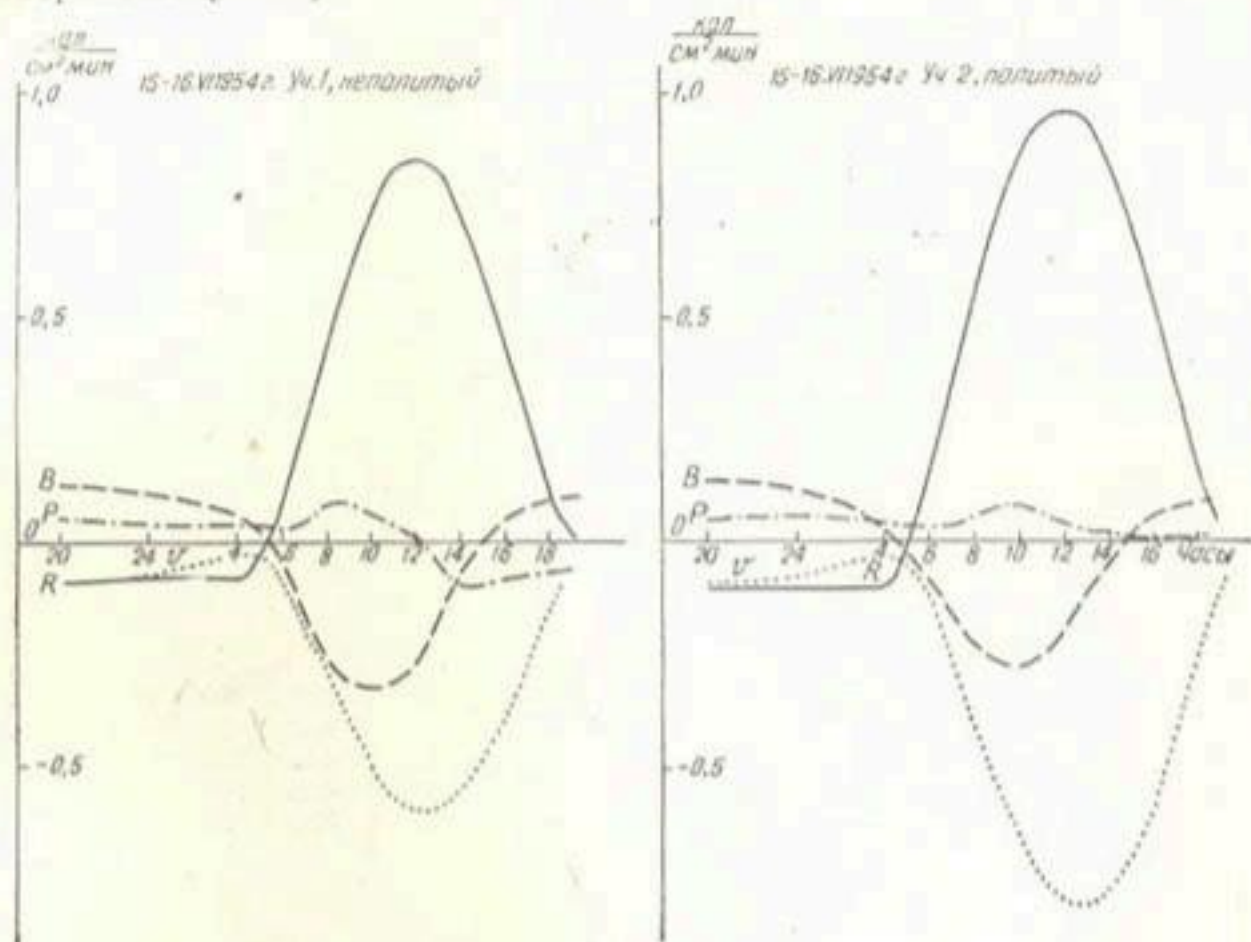


Рис. 3. Суточный ход составляющих теплового баланса люцернового поля в политом и неполитом состояниях.

Максимальные значения  $P$  наблюдаются преимущественно в полуденные и послеполуденные часы.

Суточный ход затраты тепла на суммарные испарения с люцернового поля в отличие от суточного хода турбулентного потока тепла характеризуется в различные периоды вегетации симметричностью относительно полудня, но значительным изменением максимальных величин в зависимости от состояния поля и периода развития растений. Момент наступления максимума суммарного испарения наблюдается всегда в околополуденные часы. Тепло, затрачиваемое на суммарное испарение, постепенно увеличивается с ростом растительной массы и достигает наибольшего значения в стадии цветения (рис. 1—3).

Для составления количественных характеристик составляющих теплового баланса в разные периоды вегетации люцерны и в различных состояниях поля рассмотрим их дневные суммы (табл. 1—4).

Рассмотрим особенности дневных сумм составляющих теплового баланса. Из табл. 1 и 3 следует, что дневные суммы радиационного баланса на люцерновом поле постепенно увеличиваются с ростом растительной массы и достигают максимальных значений в период цветения.

В конце вегетации при ослаблении интенсивности суммарной радиации значения дневных сумм радиационного баланса уменьшаются. Данные, приведенные в табл. 2, 4, показывают, что дневные суммы ра-



диационного баланса изменяются и в зависимости от состояния люцернового поля. Так, на нескошенном и политом участке они значительно выше, чем на скошенном и неполитом.

Основные факторы, вызывающие изменения в дневных суммах радиационного баланса при разных состояниях люцернового поля, — это различия в альбедо и ходе эффективного излучения подстилающих поверхностей.

Таблица 1

Дневные суммы составляющих теплового баланса люцернового поля и их соотношения (кал/см<sup>2</sup>) в среднем по фазам развития растений

| Дата        | $R$ | $B$ | $\frac{B}{R}, \%$ | $P$ | $\frac{P}{R}, \%$ | $V$ | $\frac{V}{R}, \%$ |
|-------------|-----|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|
| Отрастание  |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| 14—21.V     | 385 | 106 | 28                | 3   | 1                 | 276 | 71                |
| 8—16.VI     | 386 | 77  | 20                | 45  | 12                | 264 | 68                |
| 16—26.VII   | 420 | 80  | 19                | 55  | 13                | 285 | 68                |
| 24—31.VIII  | 315 | 90  | 29                | 55  | 17                | 170 | 54                |
| 28.IX—21.X  | 234 | 48  | 21                | 22  | 9                 | 164 | 70                |
| Бутонизация |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| 16—27.IV    | 312 | 45  | 14                | —41 | 13                | 308 | 99                |
| 28.V        | 416 | 26  | 6                 | —12 | 3                 | 402 | 97                |
| 26.VI—2.VII | 434 | 44  | 10                | —50 | 11                | 440 | 101               |
| 6—9.VIII    | 392 | 32  | 8                 | —45 | 11                | 405 | 103               |
| 2—15.IX     | 335 | 51  | 15                | —36 | 11                | 320 | 96                |
| Цветение    |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| 30.IV—8.V   | 396 | 39  | 10                | —65 | 17                | 422 | 107               |
| 1.VI        | 460 | 20  | 4                 | —82 | 18                | 522 | 114               |
| 8—11.VII    | 458 | 32  | 7                 | —44 | 10                | 470 | 103               |
| 12—17.VIII  | 410 | 27  | 7                 | —42 | 10                | 425 | 103               |
| 20—24.IX    | 325 | 15  | 5                 | —55 | 17                | 365 | 112               |

Как известно, альбедо, отражательная способность подстилающих поверхностей, зависит от их оптических свойств, а эффективное излучение — от их температур.

Так как по оптическим свойствам нескошенные и политые участки темнее, чем скошенные и неполитые, отражательная способность их меньше. Следовательно, чем больше отражательная способность подстилающих поверхностей, тем значительнее и эффективное излучение их. Это явление обуславливается еще и тем, что температура поверхности почвы на скошенных и неполитых участках выше, чем на нескошенных и политых.

Поток тепла в почву в различные периоды вегетации люцерны изменяется в сравнительно небольших пределах.

Наибольшие значения дневных сумм потока тепла в почву отмечаются в период отрастания, а также на скошенных и неполитых участках, что объясняется уменьшением затрат тепла на испарение и увеличение градиентов температуры почвы по глубине.

Наименьшие значения дневных сумм потока тепла в почву наблюдаются в последующие периоды вегетации и особенно на нескошенных и политых участках.



Это связано с увеличением затраты тепла на испарение и уменьшением градиентов температуры почвы по глубине, особенно в стадии бутонизации и цветения растений (табл. 1—4).

Таблица 2

Дневные суммы составляющих теплового баланса люцернового поля и их соотношения (кал/см<sup>2</sup>) при различном состоянии опытных участков

| Состояние поля | $R$ | $B$ | $\frac{B}{R}, \%$ | $P$ | $\frac{P}{R}, \%$ | $V$ | $\frac{V}{R}, \%$ |
|----------------|-----|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|
| Участок 1      |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| Нескошенное    |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| 7—8.V          | 425 | 50  | 12                | —10 | 2                 | 385 | 90                |
| 10—11.VII      | 454 | 20  | 5                 | —21 | 5                 | 455 | 100               |
| 16—17.VIII     | 355 | 20  | 6                 | —40 | 11                | 375 | 105               |
| 23—24.IX       | 275 | 20  | 7                 | —45 | 16                | 300 | 109               |
| Участок 2      |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| Скошенное      |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| 7—8.V          | 300 | 145 | 48                | —60 | 20                | 215 | 72                |
| 10—11.VII      | 345 | 152 | 44                | —2  | 1                 | 195 | 57                |
| 16—17.VIII     | 250 | 120 | 48                | —20 | 8                 | 150 | 60                |
| 23—24.IX       | 195 | 41  | 21                | +10 | 5                 | 144 | 74                |
| Участок 1      |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| Неполитое      |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| 15—16.VI       | 410 | 100 | 24                | 5   | 1                 | 305 | 75                |
| 26.VII         | 410 | 115 | 28                | —15 | 4                 | 310 | 76                |
| 31.VIII        | 306 | 86  | 28                | 40  | 13                | 180 | 59                |
| Участок 2      |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| Политое        |     |     |                   |     |                   |     |                   |
| 15—16.VI       | 485 | 85  | 17                | —30 | 6                 | 430 | 89                |
| 26.VII         | 480 | 50  | 10                | —20 | 4                 | 450 | 94                |
| 31.VIII        | 380 | 70  | 18                | —55 | 14                | 365 | 96                |

Таблица 3

Дневные суммы составляющих теплового баланса люцернового поля и их соотношения (кал/см<sup>2</sup>) по фазам развития растений (в среднем за вегетационный период)

| Фаза        | $R$ | $B$ | $\frac{B}{R}, \%$ | $P$ | $\frac{P}{R}, \%$ | $V$ | $\frac{V}{R}, \%$ |
|-------------|-----|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|
| Отрастание  | 344 | 80  | 23                | 34  | 10                | 230 | 67                |
| Бутонизация | 377 | 40  | 10                | —37 | 10                | 374 | 100               |
| Цветение    | 410 | 30  | 7                 | —58 | 14                | 438 | 107               |

Значения турбулентного потока тепла между деятельной поверхностью и нижележащими слоями воздуха в разные периоды развития растений и при различном состоянии поля меняются.



Так, в период отрастания люцерны и на неполитых участках турбулентный поток направлен с деятельной поверхности к вышележащим слоям воздуха; в фазы же бутонизации и цветения, а также при нескошенном и политом состоянии поля наблюдается обратная картина.

Наибольшие положительные значения дневных сумм турбулентного потока тепла наблюдаются в период отрастания люцерны и неполином состоянии поля, когда нагревание нижних слоев воздуха обусловлено в основном взаимодействием их непосредственно с поверхностью почвы под растениями.

Таблица 4

Дневные суммы составляющих теплового баланса люцернового поля и их соотношения (кал/см<sup>2</sup>) при различном состоянии поля (в среднем за вегетационный период)

| Состояние поля      | $R$ | $B$ | $\frac{B}{R}, \%$ | $P$ | $\frac{P}{R}, \%$ | $V$ | $\frac{V}{R}, \%$ |
|---------------------|-----|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|
| Нескошенное (уч. 1) | 377 | 28  | 7                 | -32 | 8                 | 381 | 101               |
| Скошенное (уч. 2)   | 273 | 114 | 42                | -18 | 7                 | 177 | 65                |
| Неполитое (уч. 1)   | 375 | 100 | 27                | 10  | 3                 | 265 | 70                |
| Политое (уч. 2)     | 448 | 68  | 15                | -35 | 8                 | 415 | 93                |

Максимальные отрицательные значения дневных сумм турбулентного потока тепла наблюдаются в последующие периоды развития растений, а также на нескошенных и политых участках. Это вызывается тем, что благодаря большим затратам тепла на испарение с люцернового поля температура воздуха в среде растений (деятельной поверхности) в течение суток ниже, чем над люцерной, т. е. отмечается инверсионный характер распределения температуры воздуха по вертикали.

Суммы тепла, затрачиваемые на испарение, и поток тепла в почву на нескошенном и политом участках превышают поступающее радиационное тепло. Недостаток его компенсируется за счет потока тепла из вышележащих слоев воздуха, имеющих более высокую температуру, чем деятельная поверхность (табл. 1—4).

Затраты тепла на испарение с люцернового поля в разные периоды развития растений и при различных состояниях участков колеблются в больших пределах. Так как в период вегетации люцерны в условиях Средней Азии почти не выпадает осадков, то испарение с люцернового поля обусловлено искусственным орошением. Изменение затрат тепла на испарение связано с развитием растений, корни которых глубоко проникают в почву, а следовательно, возрастает испарение из более нижних слоев почвы путем транспирации.

Дневные суммы затрат тепла на испарение по мере развития растений постепенно возрастают и достигают наибольших значений в стадии цветения и при нескошенном и политом состоянии поля, а наименьших — в период отрастания люцерны и при скошенном и неполином состоянии (табл. 1—4).

Испарение с поверхности почвы под люцерной определялось малыми почвенными испарителями.

По предварительным подсчетам выяснено, что максимальных величин испарение с поверхности почвы под люцерной достигает в период отрастания и при политом состоянии поля; по мере развития растений оно постепенно уменьшается и в стадии цветения доходит до минимума. Испарение с поверхности почвы под люцерной составляет лишь около



20—25% от суммарного испарения люцернового поля. Ход испарения с поверхности почвы зависит главным образом от степени развития растений и меньше — от изменений в приходе радиационного тепла.

В своей предыдущей работе [4] мы показали, что степень затенения горизонтальной поверхности под растениями люцерны постепенно возрастает и достигает значительной величины в стадии цветения. В связи с этим нагревание почвы от прямой солнечной радиации соответственно уменьшается, что, естественно, сказывается на испарении.

Кроме того, испарение с поверхности почвы падает благодаря ослабленному вертикальному обмену и значительному содержанию водяных паров в воздухе среди растений.

Приводим дневные суммы составляющих теплового баланса (ккал/га) за 5 циклов развития растений.

|          | <i>Отрастание</i>   | <i>Бутонизация</i>  | <i>Цветение</i>     |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <i>R</i> | 362·10 <sup>7</sup> | 189·10 <sup>7</sup> | 139·10 <sup>7</sup> |
| <i>B</i> | 83·10 <sup>7</sup>  | 20·10 <sup>7</sup>  | 9·10 <sup>7</sup>   |
| <i>P</i> | 38·10 <sup>7</sup>  | —19·10 <sup>7</sup> | —20·10 <sup>7</sup> |
| <i>V</i> | 241·10 <sup>7</sup> | 188·10 <sup>7</sup> | 150·10 <sup>7</sup> |

За весь вегетационный период (с 16. IV по 21. X) за дневные часы испарилось около 9650 м<sup>3</sup>/га воды, в частности 75—80% путем транспирации и 20—25% — с поверхности почвы под люцерной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенштат Б. А. Некоторые данные о температуре листьев хлопчатника, Труды ГГО, вып. 7(8), Л., Гидрометеониздат, 1952.
2. Айзенштат Б. А., Кириллова П. В., Лахтман Б. Л., Огнева Б. А. Изменение теплового баланса действительной поверхности при орошении, Труды ГГО, вып. 39 (101), Л., Гидрометеониздат, 1953.
3. Ахмедов Г. А. Некоторые черты микроклимата люцернового поля, В сб. «Метеорология и гидрология в Узбекистане», Изд-во АН УзССР, 1955.
4. Ахмедов Г. А. Световой и радиационный режимы в среде люцерны, Труды САНИГМИ, вып. 2(17), Л., Гидрометеониздат, 1959.
5. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности, Л., Гидрометеониздат, 1957.
6. Зуев М. В. Формирование микроклимата хлопкового поля, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук, Ташкент, 1955.
7. Муминов Ф. А. Основные черты микроклимата картофельного поля, «Изв. АН УзССР», сер. физ.-мат. наук, вып. 1, 1958.
8. Цейтлин Г. Х. К вопросу об определении некоторых тепловых свойств почвы, Труды ГГО, вып. 39(101), Л., Гидрометеониздат, 1953.



В. А. БАРОН

## НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В НАПОРНОМ ПЛАСТЕ

Рассмотрим движение потока подземных вод по напорному пласту (рис. 1), мощность которого равна  $T$ . Снизу он подстилается водоупором, а сверху в него поступает инфильтрационная вода с постоянной интенсивностью  $\varepsilon$ .

Пусть в начальный момент поток движется под действием разности напоров  $h_1 - h_2$  и функция, определяющая пьезометрический напор  $h$  в любой точке между сечениями  $0-0$  и  $l-l$ , имеет вид [2]

$$h = h_1 + \frac{\varepsilon x}{2kT_1} (l - x) - \frac{h_1 - h_2}{l} x. \quad (1)$$

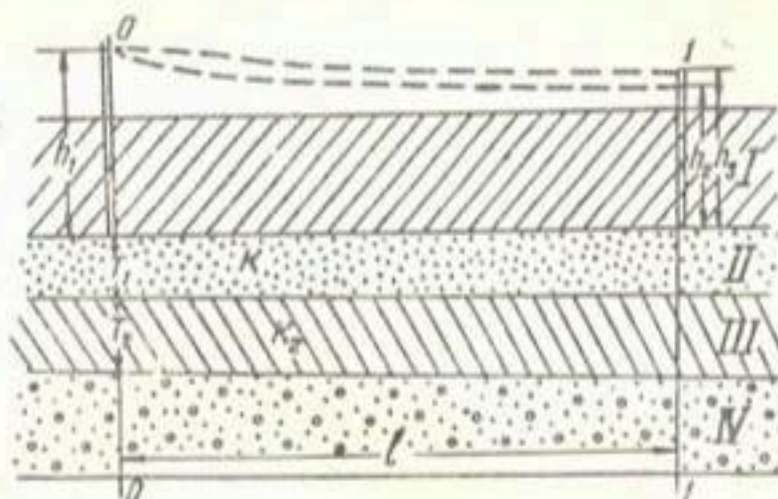


Рис. 1

Определим распределение напоров между этими сечениями для случая, когда в некоторый момент  $t$  в сечении  $l-l$  напор  $h_2$  увеличится на  $\Delta h$ , т. е.  $h = h_3 = h_2 + \Delta h$ .

Математически эта задача сводится к решению уравнения

$$kT \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \varepsilon = \sigma \cdot \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  — эффективная порозность грунта, слагающего рассматриваемый пласт, при следующих начальных и граничных условиях:

$$a) \quad t = 0, \quad h = h_1 + \frac{\varepsilon x}{2kT} (l - x) - \frac{h_1 - h_2}{l} x;$$



$$\text{б) } t > 0, \quad x = 0, \quad h = h_1;$$

$$\text{в) } t > 0, \quad x = l, \quad h = h_2.$$

Применяя преобразования Лапласа по  $t$  к уравнению (2), получим обыкновенное линейное дифференциальное уравнение

$$kT \frac{d^2 H}{dx^2} + \frac{\varepsilon}{p} = \sigma p H - \sigma \left[ h_1 + \frac{\varepsilon x}{2kT} (l - x) - \frac{h_1 - h_2}{l} x \right] \quad (3)$$

с граничными условиями:

$$\text{б}^1) \quad t > 0, \quad x = 0, \quad H = \frac{h_1}{p};$$

$$\text{в}^1) \quad t > 0, \quad x = l, \quad H = \frac{h_2}{p}.$$

Общее решение уравнения (3) представляет собой сумму двух решений  $H_1$  и  $H_2$ , где

$$H_1 = -\frac{1}{p} \left[ \frac{\varepsilon x^2}{2kT} + \left( \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2kT} \right) x - h_1 \right] -$$

частное решение уравнения (3) и

$$H_2 = C_1 e^{ax} + C_2 e^{-ax} - \quad (5)$$

решение однородного дифференциального уравнения, соответствующего уравнению (3). Здесь  $a = \sqrt{\frac{\sigma p}{kT}}$ .

Таким образом, общее решение уравнения (3) такое:

$$H = C_1 e^{ax} + C_2 e^{-ax} - \frac{1}{p} \left[ \frac{\varepsilon x^2}{2kT} + \left( \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2kT} \right) x - h_1 \right]. \quad (6)$$

Из граничных условий „б<sup>1</sup>“ и „в<sup>1</sup>“ следует, что

$$C_1 = -C_2 = \frac{\Delta h}{2pshal},$$

где

$$\Delta h = h_2 - h_1.$$

Откуда

$$H = \frac{\Delta h}{p} \cdot \frac{shax}{shal} - \frac{1}{p} \left[ \frac{\varepsilon x^2}{2kT} + \left( \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2kT} \right) x - h_1 \right]. \quad (7)$$

Применяя теорему об  $L$ -изображении [3] к уравнению (7), получим

$$h = \frac{\Delta h}{2\pi l} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\lambda t} \frac{sh \sqrt{\frac{\sigma \lambda}{kT}} x}{sh \sqrt{\frac{\sigma \lambda}{kT}} l} \cdot \frac{d\lambda}{\lambda} - \frac{\varepsilon x^2}{2kT} - \left( \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2kT} \right) x - h_1. \quad (8)$$

Для вычисления интеграла, входящего в уравнение (8), рассмотрим контур (рис. 2) с радиусом  $\Gamma$ , равным  $\left(n + \frac{1}{2}\right)^2 \frac{\pi^2}{l^2}$  [3].



Так как полюсы подынтегральной функции находятся в точках

$$\lambda = 0 \quad \text{и} \quad \lambda_n = -\frac{kTn^2\pi^2}{c l^2},$$

а сам интеграл по контуру  $\Gamma$  равен нулю [3], то

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda t} \frac{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{c\lambda}{kT}} x}{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{c\lambda}{kT}} l} \cdot \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{x}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{\lambda_n t}}{n} \cos n\pi \sin \frac{n\pi x}{l}. \quad (9)$$

Подставив выражение (9) в (8), получим функцию, определяющую пьезометрический напор во времени в любой точке пласта между сечениями  $0-0$  и  $l-l$ ,

$$h = h_1 - \left( \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2kT} \right) x - \frac{\varepsilon x^2}{2kT} + \frac{2\Delta h}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{\lambda_n t}}{n} \cos n\pi \sin \frac{n\pi x}{l}. \quad (10)$$

Из (10) можно найти скорость потока в любом сечении  $x-x$  и расход, проходящий через него,  $Q$

$$V = k \frac{\partial h}{\partial x},$$

откуда

$$V = k \left[ -\frac{h_1 - h_2}{l} + \frac{\varepsilon}{kT} \left( \frac{l}{2} - x \right) + \frac{2\Delta h}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi \sin \frac{n\pi x}{l} e^{\lambda_n t} \right] \quad (11)$$

и

$$Q = kT \frac{h_1 - h_2}{l} - \varepsilon \left( \frac{l}{2} - x \right) - \frac{2\Delta h kT}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi \sin \frac{n\pi x}{l} e^{\lambda_n t}. \quad (12)$$

При  $x = 0$  получаем

$$Q = kT \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2}, \quad (13)$$

а при  $x = l$

$$Q = kT \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2}. \quad (14)$$

Следовательно, из уравнения (12) следует, что расход в сечениях  $0-0$  и  $l-l$  не зависит от времени: сразу же после перераспреде-

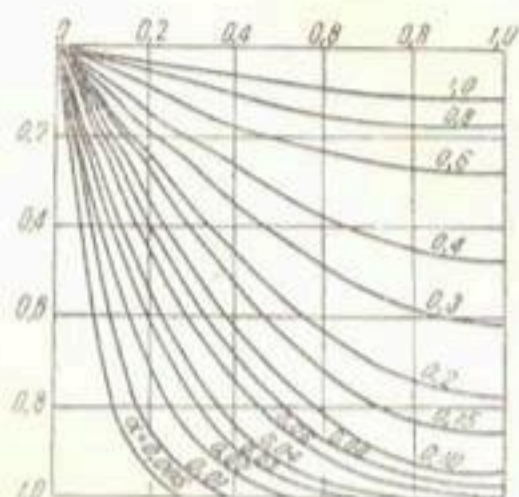


Рис. 2. Кривые распределения зависимости

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{erfc} [(2n-1) l - x] \times \right. \\ \times \sqrt{\frac{c\lambda}{4kTl}} - \operatorname{erfc} \times \\ \times [(2n-1) l + x] \sqrt{\frac{c\lambda}{4kTl}} \left. \right\} \\ \text{(по оси ординат) от} \left( 1 - \frac{x}{l} \right) \\ \text{(по оси абсцисс),}$$



ния граничных условий он становится постоянным и соответствует установившемуся движению.

Анализ решений (10) и (12) показывает, что ряд

$$\sum_1^{\infty} \frac{e^{\lambda_n t}}{n} \cos n\pi \sin \frac{n\pi x}{l} \quad (15)$$

сходится тем быстрее, чем больше критерий гомохронности

$$\alpha = \frac{kTt}{\sigma l^2}.$$

Так, при  $\alpha = 1,5$  в этом ряду можно ограничиться только первым членом, тогда

$$h = h_1 - \left( \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2kT} \right) x - \frac{\varepsilon x^2}{2kT} - \frac{2\Delta h}{\pi} \sin \frac{\pi x}{l} \exp \left( -\frac{kT\pi^2 t}{\sigma l^2} \right), \quad (16)$$

$$Q = kT \frac{h_1 - h_2}{l} - \varepsilon \left( \frac{l}{2} - x \right) + \frac{2\Delta h kT}{l} \sin \frac{\pi x}{l} \exp \left( -\frac{kT\pi^2 t}{\sigma l^2} \right) \quad (17)$$

и выражение (15) будет отличаться от (10) менее чем на 0,04%.

Однако в практических расчетах  $\alpha$  может оказаться очень маленьким, а при  $\alpha < 0,1$  ряд (15) сходится очень медленно.

Поэтому решение (12) несколько преобразуем, для чего воспользуемся тем, что [3]

$$\frac{1}{\sinh \lambda l} = 2 \sum_1^{\infty} e^{-(2n-1)\lambda l} \quad (18)$$

и

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi l} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda t} \frac{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{\sigma \lambda}{kT}} x}{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{\sigma \lambda}{kT}} l} \cdot \frac{d\lambda}{\lambda} &= \frac{1}{2\pi l} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda t} \sum_1^{\infty} \left( e^{-[(2n-1)l-x]\sqrt{\frac{\sigma \lambda}{kT}}} - \right. \\ &\quad \left. - e^{-[(2n-1)l+x]\sqrt{\frac{\sigma \lambda}{kT}}} \right) \frac{d\lambda}{\lambda} = \\ &= \sum_1^{\infty} \left\{ \operatorname{erfc} \left[ (2n-1)l-x \right] \sqrt{\frac{\sigma}{4kTt}} - \operatorname{erfc} \left[ (2n-1)l+x \right] \sqrt{\frac{\sigma}{4kTt}} \right\}. \quad (19) \end{aligned}$$

Откуда

$$\begin{aligned} h &= h_1 - \left( \frac{h_1 - h_2}{l} - \frac{\varepsilon l}{2kT} \right) x - \frac{\varepsilon x^2}{2kT} + \Delta h \sum_1^{\infty} \left[ \operatorname{erfc} \frac{(2n-1)l-x}{2} \sqrt{\frac{\sigma}{kTt}} - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{erfc} \frac{(2n-1)l+x}{2} \sqrt{\frac{\sigma}{kTt}} \right] \quad (20) \end{aligned}$$



и

$$Q = kT \frac{h_1 - h_2}{l} - \varepsilon \left( \frac{l}{2} - x \right) - \frac{\Delta h}{2} \sqrt{\frac{\sigma kT}{t}} \sum_1^{\infty} \left[ \operatorname{erfc} \frac{(2n-1)l-x}{2} \sqrt{\frac{\sigma}{kTt}} - \operatorname{erfc} \frac{(2n-1)l+x}{2} \sqrt{\frac{\sigma}{4kTt}} \right]. \quad (21)$$

Ряд (19) в решениях (20) и (21) сходится тем быстрее, чем меньше  $\alpha$ , и при  $\alpha < 0,4$  этот ряд можно заменять только его первым членом

$$\operatorname{erfc} \frac{l-x}{2} \sqrt{\frac{\sigma}{4Tt}} - \operatorname{erfc} \frac{l+x}{2} \sqrt{\frac{\sigma}{kTt}}, \quad (22)$$

причем расчет по формуле (22) дает полное совпадение с расчетом по формуле (19) с точностью до четвертого знака [3].

Если  $0,4 < \alpha < 1,5$ , бесконечный ряд (19) следует определять по номограмме (рис. 2), составленной А. В. Лыковым [3] и преобразованной нами применительно к нашим условиям.

Таким образом, при определении пьезометрического напора в любом сечении  $x-x$  напорного пласта или расхода потока, проходящего через него, при  $\alpha < 0,4$  следует пользоваться формулами (20) и (21), подставляя в них вместо бесконечной суммы (19) выражение (21).

При  $0,4 < \alpha < 1,5$  сумму (18) следует определять по номограмме (рис. 2) и при  $\alpha > 1,5$   $h$  и  $Q$  определяются по формулам (16) и (17).

Рассмотрим движение потока по напорному пласту II (рис. 1), через проницаемую кровлю которого сверху поступает инфильтрационная вода с постоянной интенсивностью  $\varepsilon$ , а снизу через слабопроницаемую подошву — со скоростью

$$V = k_2 \frac{h - h_0}{T_2}. \quad (23)$$

В выражении (23)  $k$  и  $T_2$ , соответственно, проницаемость и мощность пласта III, разделяющего II и IV хорошо проницаемые пласты, а  $h_0$  — пьезометрический напор пласта IV, принимаемый нами постоянным.

Пусть в сечении  $0-0$  пьезометрический напор  $h = h_1$ , а в сечении  $l-l$   $h = h_2$ .

Составим уравнение неразрывности для подземного потока, проходящего через пласт II.

Оно имеет вид [1]

$$kT \frac{d^2 h}{dx^2} - k_2 \frac{h - h_0}{T_2} + \varepsilon = 0. \quad (24)$$

Выражение (24) является линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, решение которого [2]

$$h = C_1 e^{\omega x} + C_2 e^{-\omega x} + h_0 + \varepsilon \frac{T_2}{k_2}, \quad (25)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  постоянные, определяемые из граничных условий,

и

$$\omega^2 = \frac{k_2}{kT T_2}.$$



Так как при  $x=0$   $h=h_1$  и  $x=l$   $h=h_2$ , то

$$C_1 = \frac{1}{2sh\omega l} \left[ h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} - \left( h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) e^{-\omega l} \right]$$

и

$$C_2 = \frac{1}{2sh\omega l} \left[ h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} - \left( h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) e^{\omega l} \right].$$

Следовательно,

$$h = \frac{\left( h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) sh\omega x + \left( h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) sh\omega (l-x)}{sh\omega l} + H + \varepsilon \frac{T_2}{k_2}. \quad (26)$$

Функция (26) определяет распределение пьезометрических напоров во времени в любом сечении  $x$  —  $x$  рассматриваемого напорного пласта.

Рассмотрим теперь случай, когда на одной границе пласта напор все время постоянный, а на другой в некоторый момент  $t$  увеличивается на  $\Delta h$ , т. е. при  $x=l$ ,  $h=h_3$ .

В этом случае уравнение неразрывности потока имеет вид

$$kT \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - k_2 \frac{h-h_0}{T_2} + \varepsilon = \sigma \frac{\partial h}{\partial t} \quad (27)$$

со следующими начальными и граничными условиями:

$$a) \quad t=0, \quad 0 \leq x \leq l;$$

$$h = \frac{\left( h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) sh\omega l + \left( h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) sh\omega (l-x)}{sh\omega l} + h_0 + \varepsilon \frac{T_2}{k_2};$$

$$б) \quad t > 0, \quad x=0, \quad h=h_1;$$

$$в) \quad t > 0, \quad x=l, \quad h=h_3.$$

Применяя к (27) преобразование Лапласа по  $t$ , получим линейное дифференциальное уравнение

$$\begin{aligned} \frac{d^2 H}{dx^2} - \frac{1}{kT} \left( \frac{k_2}{T_2} + \sigma p \right) H = \\ = - \sigma \frac{\left( h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) sh\omega x + \left( h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2} \right) sh\omega (l-x)}{kTsh\omega l} \\ - \frac{\left( \varepsilon + k_2 \frac{h_0}{T_2} \right) \left( \frac{1}{p} + \frac{\sigma T_2}{k_2} \right)}{kT} \end{aligned} \quad (28)$$

с граничными условиями

$$б^1) \quad t > 0, \quad x=0, \quad H = \frac{h_1}{p};$$

$$в^1) \quad t > 0, \quad x=l, \quad H = \frac{h_3}{p}.$$



Частным решением уравнения (28) является функция

$$h_1 = \frac{\left(h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) \operatorname{sh} \omega x + \left(h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) \operatorname{sh} \omega (l - x)}{p \operatorname{sh} \omega l} + \frac{h_0 + \varepsilon \frac{T_2}{k_2}}{p}; \quad (29)$$

общим решением однородного уравнения, соответствующего уравнению (28), — функция

$$h_2 = C_1 e^{\alpha x} + C_2 e^{-\alpha x}, \quad (30)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные, определяемые из граничных условий, а

$$\alpha = \sqrt{\frac{\frac{k_2}{T_2} + \varepsilon p}{kT}}. \quad (31)$$

Из (30) и (31) следует, что общим решением уравнения (28) будет выражение

$$h = C_1 e^{\alpha x} + C_2 e^{-\alpha x} + h_1, \quad (32)$$

где

$$C_1 = -C_2 = -\frac{\Delta h}{2p \operatorname{sh} \alpha l},$$

и, следовательно, общим решением уравнения (28) окажется функция

$$H = -\frac{\Delta h}{p} \cdot \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\operatorname{sh} \alpha l} + \frac{\left(h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) \operatorname{sh} \omega x + \left(h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) \operatorname{sh} \omega (l - x)}{p \operatorname{sh} \omega l} + \frac{h_0 + \varepsilon \frac{T_2}{k_2}}{p}. \quad (33)$$

Применяя к (33) теорему об  $L$ -отображении [3], получим

$$h = \frac{\left(h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) \operatorname{sh} \omega x + \left(h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) \operatorname{sh} \omega (l - x)}{\operatorname{sh} \omega l} + h_0 + \varepsilon \frac{T_2}{k_2} - \frac{\Delta h}{2\pi l} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda l} \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\operatorname{sh} \alpha l} \cdot \frac{d\lambda}{\lambda}, \quad (34)$$

так как

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi l} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda l} \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\operatorname{sh} \alpha l} \cdot \frac{d\lambda}{\lambda} &= \frac{1}{2\pi l} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda l} \frac{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{\frac{k_2}{T_2} + \varepsilon \lambda}{kT}}}{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{\frac{k_2}{T_2} + \varepsilon \lambda}{kT}}} \cdot \frac{d\lambda}{\lambda} = \\ &= \frac{\operatorname{sh} \omega x}{\operatorname{sh} \omega l} + \frac{2\pi}{l^2} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{e^{-\lambda_n l}}{\frac{n^2 \pi^2}{l^2} + \omega^2} n \sin \frac{n\pi x}{l}. \end{aligned} \quad (35)$$



Учитывая (35) в окончательном виде, можем записать, что пьезометрический напор в пласте II определяется следующим выражением:

$$h = h_{уст} + \frac{2\pi\Delta h}{l^2} \sum_1^{\infty} \frac{e^{\lambda_n t}}{\frac{n^2\pi^2}{l^2} + \omega^2} n \sin \frac{n\pi x}{l}, \quad (36)$$

где

$$h_{уст} = \frac{\left(h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) sh \omega x + \left(h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_1}{k_1}\right) sh \omega (l-x)}{sh \omega l} + h_0 + \varepsilon \frac{T_2}{k_2};$$

а расход через любое сечение  $x-x$

$$Q = Q_{уст} + \frac{2kT\pi^2\Delta h}{l^2} \sum_1^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{e^{\lambda_n t}}{\frac{n^2\pi^2}{l^2} + \omega^2} n^2 \cos \frac{n\pi x}{l}, \quad (37)$$

где

$$Q_{уст} = \frac{kT\omega}{sh \omega l} \left[ \left(h_2 - h_0 - \varepsilon \frac{T_2}{k_2}\right) ch \omega x + \left(h_1 - h_0 - \varepsilon \frac{T_1}{k_1}\right) ch \omega (l-x) \right].$$

Практически параметр  $\omega$  может измениться в пределах от 0 до 0,01, поэтому при  $\beta = \frac{kTt}{\varepsilon l^2} > 0,5$  с точностью до четвертого знака в формулах (36) и (37) можно ограничиться первым членом.

Следовательно, с точностью до четвертого знака

$$h = h_{уст} + \frac{2\pi\Delta h}{\pi^2 + \frac{kTt}{\varepsilon l^2}} \exp \left[ - \left( \frac{\pi^2}{l^2} + \frac{k_2}{kT T_2} \right) \frac{kT}{\varepsilon} t \right] \sin \frac{\pi x}{l}, \quad (38)$$

а

$$Q = Q_{уст} + \frac{2kT\pi^2\Delta h}{\left(\pi^2 + \frac{k_2 l^2}{kT T_2}\right) l} \exp \left[ - \left( \frac{\pi^2}{l^2} + \frac{k_2}{kT T_2} \right) \frac{kT}{\varepsilon} t \right] \cos \frac{\pi x}{l}. \quad (39)$$

При  $\alpha < 0,5$  ряд сходится медленно, и тем медленнее, чем меньше  $\alpha$ . Поэтому воспользуемся тем, что

$$\frac{1}{sh \alpha l} = 2 \sum_1^{\infty} e^{-(2n-1)\alpha l}, \quad \frac{sh \alpha x}{sh \alpha l} = \sum_1^{\infty} \left\{ e^{-(2n-1)\alpha(l-x)} - e^{-(2n-1)\alpha(l+x)} \right\};$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi l} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda t} \frac{sh \alpha x}{sh \alpha l} \frac{d\lambda}{\lambda} &= \frac{1}{2} \sum_1^{\infty} \left\{ e^{-(2n-1)\alpha(l-x)} \operatorname{erfc} \left[ \frac{2n-1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right] + \right. \\ &+ e^{-(2n-1)\alpha(l-x)} \operatorname{erfc} \left[ \frac{2n-1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right] - \\ &- e^{-(2n-1)\alpha(l+x)} \operatorname{erfc} \left[ \frac{2n-1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right] - \\ &- e^{-(2n-1)\alpha(l+x)} \operatorname{erfc} \left[ \frac{2n-1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right] \left. \right\} \end{aligned}$$



$$- e^{[(2n-1)l+x]\omega} \operatorname{erfc} \left[ \frac{2n-1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right], \quad (40)$$

где  $\gamma = \frac{kT}{cI}$  и  $\delta = \frac{k_2}{cI_2}$ .

Так как в выражении (40) с точностью до 1% весь бесконечный ряд можно заменить его первым членом, то

$$\begin{aligned} h = h_{\text{уст}} - \frac{\Delta h}{2} & \left[ e^{-\left(1-\frac{x}{l}\right)\omega t} \operatorname{erfc} \left( \frac{1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right) + \right. \\ & + e^{\left(1-\frac{x}{l}\right)\omega t} \operatorname{erfc} \left( \frac{1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right) - e^{-\left(1+\frac{x}{l}\right)\omega t} \operatorname{erfc} \left( \frac{1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right) - \\ & \left. - e^{\left(1+\frac{x}{l}\right)\omega t} \operatorname{erfc} \left( \frac{1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right) \right] \quad (41) \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} Q = Q_{\text{уст}} - \frac{\Delta h}{2} \omega & \left\{ e^{-\left(1-\frac{x}{l}\right)\omega t} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right) + \right. \right. \\ & + \frac{1}{\omega} \operatorname{derfc} \left( \frac{1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right) \left. \right] + e^{\left(1-\frac{x}{l}\right)\omega t} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right) + \right. \\ & + \frac{1}{\omega} \operatorname{derfc} \left( \frac{1-\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right) \left. \right] - e^{-\left(1+\frac{x}{l}\right)\omega t} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right) + \right. \\ & + \frac{1}{\omega} \operatorname{derfc} \left( \frac{1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} - \sqrt{\delta t} \right) \left. \right] - e^{\left(1+\frac{x}{l}\right)\omega t} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\omega} \operatorname{derfc} \left( \frac{1+\frac{x}{l}}{2\sqrt{\gamma t}} + \sqrt{\delta t} \right) \right] \left. \right\}. \quad (42) \end{aligned}$$

Таким образом, пьезометрический напор в любом сечении пласта II и расход через него полностью определены формулами (36), (37), (39), (40), причем при  $\frac{kTt}{cI^2} > 0,5$  следует пользоваться уравнениями (39), (40), а при  $\frac{kTt}{cI^2} < 0,5$  формулами (36), (37).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод, М., 1952.
2. Барон В. А. «Изв. АН УзССР», отделение технических наук, 1961, № 1.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности, М., ГТТИ, 1952.
4. Аравин В. И. и Нумеров С. Н. Теория движения жидкости и газов в недеформируемой пористой среде, М., ГТТИ, 1953.



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Предисловие                                                                                                                                                                                           | 5   |
| Э. Л. Окулич-Козарин. Принципы проектирования и производства планировочных работ на орошаемых землях.                                                                                                 | 7   |
| М. Д. Челюканов. Опыт полива хлопчатника по длинным бороздам.                                                                                                                                         | 23  |
| Н. М. Решеткина. Развитие вертикального дренажа в Узбекистане.                                                                                                                                        | 32  |
| В. А. Барон. О режиме откачек из скважин вертикального дренажа (в порядке обсуждения).                                                                                                                | 49  |
| Х. Якубов. Влияние диаметра и проницаемости прифилтровой зоны скважины на ее дебит.                                                                                                                   | 58  |
| Н. М. Решеткина, Х. Якубов, А. Умаров, В. А. Барон. Предварительные результаты исследования вертикального дренажа в Голодной степи УзССР.                                                             | 67  |
| Н. М. Решеткина, З. П. Пушкарёва. Наблюдение за соевым профилем покровных суглинков и минерализацией откачиваемых вод на опытно-производственном участке вертикального дренажа в совхозе «Социализм». | 73  |
| А. Умаров. Регулирование баланса грунтовых вод в покровных суглинках с помощью вертикального дренажа (на примере опытно-производственных участков Голодной степи).                                    | 87  |
| Э. И. Гринев, Р. И. Парничик. Опыт применения пьезометров при изучении притока грунтовых вод.                                                                                                         | 92  |
| Г. А. Ахмедов. О тепловом балансе люцернового поля.                                                                                                                                                   | 98  |
| В. А. Барон. Неустановившееся движение подземных вод в напорном пласте.                                                                                                                               | 108 |

Редактор *А. Н. Астахов*  
 Технический редактор *З. П. Горьковая*  
 Корректор *Ф. М. Денисова*

---

Р-03751. Сдано в набор 9/VI—62 г. Подписано к печати 20/VIII—62 г.  
 Формат 70×108<sup>1/16</sup>=3,62 бум. л., фактич. печ. л. 9,93. Уч.-изд. л. 9,75.  
 Изд. № 500. Тираж 650. Цена 82 к.

---

Типография Издательства АН УзССР, Хорезмская, 9. Заказ 588.  
 Адрес Издательства: ул. Куйбышева, 15.