

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ

ВЕРТИКАЛЬНОГО
ДРЕНАЖА

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ

СУВ МАСАЛАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

Н. М. РЕШЕТКИНА

МИРЗАЧЎЛДА
ВЕРТИКАЛ ДРЕНАЖНИ
ЛОЙИҲАЛАШНИНГ
ГИДРОГЕОЛОГИК АСОСЛАРИ

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ НАШРИЁТИ

ТОШКЕНТ—1960

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

Н. М. РЕШЕТКИНА

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА
В ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ—1960

В работе рассматриваются условия применения и основные элементы расчета вертикального дренажа с целью орошения и мелиорации засоленных земель в зоне командования канала им. Кирова в Голодной степи.

На примере Голодостепского аллювиального бассейна показан метод определения региональных запасов подземных вод.

Работа рассчитана на инженеров-гидротехников, мелиораторов, гидрогеологов и может быть использована при проектировании вертикального дренажа в Голодной степи и других районах Средней Азии.

Ответственный редактор
член-корреспондент АН УзССР
Р. А. Алимов

ПРЕДИСЛОВИЕ

С первых лет развития орошения в Голодной степи начали проявляться неожиданные в то время и тяжелые последствия: подъем уровня грунтовых вод, засоление освоенных земель, снижение в связи с этим урожая сельскохозяйственных культур, а иногда и полная гибель их и выпад земель из сельскохозяйственного оборота.

Поэтому на протяжении более чем полувека вопрос о снижении уровня грунтовых вод на орошаемых массивах является одним из главных во всех мелиоративных исследованиях и проектах. Внимание исследователей и проектировщиков было направлено на изучение грунтовых вод и их роли в процессах засоления земель, а борьба с высоким положением их уровня велась с помощью открытой коллекторно-дренажной сети. При этом все исследования сосредоточивались главным образом в зоне современного орошения.

В связи с постановлением ЦК КПСС и Правительства Союза ССР от 16 августа 1956 г. о развитии орошения на целинных землях Голодной степи и об улучшении мелиоративного состояния на староорошаемых массивах гидрогеологические исследования были развернуты на территории всей Голодной степи и сопровождались глубоким бурением с целью разведки на воду для обеспечения водоснабжения новых совхозов.

Институт водных проблем и гидротехники АН УзССР по-новому рассмотрел проблему орошения Голодной степи и выдвинул предложение об использовании подземных вод на орошение с одновременным мелиоративным эффектом. Такая тематика была включена в 1956 г. в план работы института. В течение 1956—1958 гг. были проведены специальные теоретические исследования и обобщены результаты работ научно-исследовательских и производственных организаций.

Как показали расчеты Института водных проблем и гидротехники, запасы подземных вод позволяют получать в вегетационный период до $70 \text{ м}^3/\text{сек}$ и обеспечить орошение этими

водами площади примерно в 70—100 тыс. га в зоне между Правой веткой, Кировским каналом и ж. д. Сыр-Дарья — Мирзачуль. При этом одновременно решается проблема мелиорации этих земель.

В резолюциях XXI съезда КПСС особое внимание уделяется вопросам подъема урожайности сельскохозяйственных культур за счет мелиоративного улучшения орошаемых территорий, что еще больше повышает актуальность рассматриваемой проблемы в предстоящем семилетии не только для Голодной степи, но и для многих других оазисов республики (Ферганская долина, Бухарский оазис и др.).

Вертикальный дренаж с использованием подземных вод на орошение в таких масштабах в Советском Союзе будет применяться впервые. Поэтому осуществлению его на больших массивах должно предшествовать строительство опытно-производственных систем. В качестве участков для этого намечены: Шур-Узякский — на землях совхоза «Социализм» (5 000 га) и Мирзачульский — на территории г. Мирзачуля.

В процессе строительства и опытной эксплуатации этих систем проводятся специальные наблюдения и исследования, которые позволяют проверить и уточнить расчеты Института водных проблем и гидротехники АН УзССР.

Автором обосновывается возможность применения вертикального дренажа в Голодной степи с использованием подземных вод на орошение. В данной работе, кроме многолетних исследований автора, привлечен обширный и весьма ценный материал, собранный Узбекским гидрогеологическим трестом, проектными институтами «Узгипроводхоз» и «Средазгипроводхлопок», Министерством водного хозяйства, САНИИРИ и другими организациями.

При подготовке рукописи к печати ценные замечания при просмотре работы сделали М. М. Крылов, Г. Д. Антонова и А. А. Рачинский. Автор выражает им глубокую признательность.

Автор

Отв. редактор

Глава I

НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

До последнего времени в гидромелиоративной практике исходили главным образом из рассмотрения влияния верхних слоев подземных вод на мелиоративное состояние земель. В основу всех балансовых построений и мелиоративных расчетов были положены графики колебания уровня грунтовых вод и карты залегания их зеркала [28—30, 33, 36, 37, 66].

В данной работе мы рассматриваем не площади, а пространственные гидрогеологические структуры, внутри которых выделяем частные гидрогеологические бассейны и потоки подземных вод и показываем, что управление уровнем грунтовых вод невозможно без знания законов формирования и движения всех вод в толще этих бассейнов и потоков. Все подземные воды зоны насыщения (по Н. И. Толстихину) составляют единое природное целое и именно так они и должны изучаться.

Работами советских гидрогеологов [8, 15, 25, 43, 44, 48, 84, 27а] установлены определенные закономерности в распределении подземных вод в земной коре, выраженные в горизонтальной (географической) и вертикальной (геологической) зональностях. Выявлена связь подземных вод с рельефом земной поверхности, которая в свою очередь определяется геологическими структурами, а также расчлененностью речной и овражной сетью. В соответствии с этим выделяются два типа гидрогеологических структур. Первый — с тенденцией в историческом развитии к погружению и накоплению слоистых осадочных толщ — гидрогеологические бассейны. Второй — с тенденцией к поднятию — массивы кристаллических пород и горноскладчатые области.

Внутри гидрогеологических структур намечается вертикальная зональность подземных вод, обусловленная глубиной и интенсивностью расчленения поверхности земли и различно проявляющаяся для разных структур. Общий характер вертикальной зональности, или, как мы говорим, ярусности, для гидрогеологических бассейнов установлен Б. Л. Личковым [47] и

Ф. А. Макаренко, который выявил трехчленную вертикальную зональность подземных вод для Сочи-Мацестинского района [48]; Н. К. Игнатович — для подземных вод палеозоя Русской платформы [25]; Т. П. Афанасьев — для Среднего Поволжья и Прикамья [8].

Следуя идеям этих авторов, мы выделяем в гидрогеологических бассейнах Узбекистана ясно выраженные ярусы подземных вод, различные по условиям питания и расходования, по гидрогеохимическим и гидрогеодинамическим условиям. Верхний ярус, подземный сток которого формируется к местным базисам (рекам, озерам, впадинам), характеризуется наибольшей динамичностью подземных вод и зависимостью их от гидрологических и климатических факторов. Пространственное распределение вод этого яруса в значительной мере обусловлено горизонтальной (географической) зональностью. Поэтому гидрохимическая характеристика их для различных географических зон различна. Нижние горизонты верхнего яруса часто включают большие запасы пресных напорных артезианских вод.

Средний ярус располагается ниже первого и формируется к крупным врезам земной коры и уровню моря. Он характеризуется напорными водами. В зависимости от условий проточности качество воды здесь может меняться от сульфатно-карбонатных до сульфатно-хлоридных. К этому ярусу приурочены воды нефтяных месторождений и многие минеральные воды лечебных источников и скважин. Климатические факторы проявляются здесь значительно слабее.

Нижний ярус — наиболее глубокие подземные воды, сток которых развивается в геологическом времени, а влияние климатических факторов практически не сказывается. В этом ярусе формируются высокоминерализованные термальные подземные воды и рассолы, которые могут в известных случаях представлять интерес как минеральное сырье для добычи некоторых элементов. С этой точки зрения могут быть интересны иногда и воды первых двух ярусов.

Эти общие закономерности в пространственном распределении подземных вод справедливы и для Узбекистана, для которого характерно сложное сочетание гидрогеологических бассейнов, приуроченных к равнинам, межгорным впадинам, котловинам (например, Ферганский, Зеравшанский, Голодностепский и др.), и питающих их горноскладчатых областей горных сооружений Тянь-Шаня и Памиро-Алая.

Географическая зональность подземных вод Средней Азии описана О. К. Ланге [43], им же проведено районирование грунтовых вод Средней Азии.

Развивая идею В. С. Ильина, давшего районирование Европейской части СССР, О. К. Ланге с учетом климатических, геоморфологических и литологических условий выделяет в Средней Азии две крупные зоны: 1) зону равновесия подземного стока и испарения, охватывающую зону пустынь (Каракумы, Устюрт, Кызылкумы, Муюнкумы и др.); 2) зону подгорных шлейфов и предгорных равнин, которая извилистой полосой тянется вдоль подножия гор, отделяя их от пустынных равнин зоны равновесия подземного стока и испарения.

Полученные в последние годы данные глубоких разведок на воду (до 1200 м) и нефть (до 4500 м) позволяют проследить гидрогеологические закономерности в вертикальном профиле и выделить для каждого из наших гидрогеологических бассейнов указанные выше три комплексные гидрогеодинамические и гидрогеохимические оболочки подземных вод.

Мощность их и индивидуальные черты, присущие каждому конкретному бассейну, различны и зависят от особенностей геологической и палеогеографической истории развития бассейна. Этот вопрос является предметом специального изучения и нами здесь не рассматривается.

С точки зрения задач орошаемого хозяйства, мелиорации засоленных земель и использования подземных вод на орошение наибольший интерес и значение имеют воды верхнего яруса, тесно связанные с климатом, почвами, поверхностными водами и ирригационным хозяйством, наиболее подвижные, а в условиях межгорных впадин обладающие наибольшими динамическими запасами пресных вод.

Орошаемые оазисы республики расположены в межгорных котловинах, долинах и дельтах рек на равнинах, сложенных слоистыми толщами континентальных отложений четвертичного возраста. Вертикальная гидрогеологическая зональность проявляется в этих районах неодинаково, поэтому мощность верхнего яруса подземных вод, достигая нескольких сотен метров в межгорных котловинах и долинах, уменьшается иногда до нескольких десятков метров на равнинах вдали от гор.

Под верхним ярусом подземных вод в оазисах Узбекистана мы понимаем всю зону насыщения от уровня грунтовых вод, представленную континентальными четвертичными, а иногда и третичными отложениями различного генезиса (аллювиального, пролювиального, озерного). Эта толща характеризуется линзообразным залеганием отдельных пластов как водоносных (песков, гравия и галечников), так и разделяющих их слабопроницаемых пород (суглинков и глин). Этой особенностью строения верхнего яруса обусловлена, с одной стороны, пестрота распределения подземных вод

(в плане и по профилю, на относительно небольших отрезках, гидростатические напоры и минерализация их могут значительно меняться), а с другой — известная общность их, что особенно важно при их эксплуатации. Нижняя граница верхнего яруса определяется историей развития гидрогеологических бассейнов.

Конец третичного времени характеризуется значительной денудацией рельефа Средней Азии и отложением громадных глинистых толщ в обширных озерных котловинах, размеры которых значительно превосходили современные. Новые фазы альпийской орогении привели к возникновению горных систем Тянь-Шаня и Памиро-Алая и к накоплению мощных толщ обломочного материала в котловинах и долинах у подножий гор. Таким образом, древнечетвертичные континентальные отложения легли на мощные глины неогена, явившиеся естественным водоупором, или нижней границей верхнего яруса подземных вод.

Внутри верхнего яруса намечается также своеобразная вертикальная дифференциация подземных вод, характер которой для межгорных котловин и аллювиальных равнин в зоне пустынь резко различен.

Современная гидрогеохимическая и гидрогеодинамическая картина верхнего яруса, отдельные элементы которой характеризуются данными буровых скважин, сложилась под влиянием длительного процесса формирования подземных вод в течение всего четвертичного периода. Этот процесс привел к существенным отличиям в количестве, качестве и пространственном развитии подземных вод верхнего яруса двух типов оазисов, характеризующих две гидрогеологические зоны по О. К. Ланге: 1) расположенных в межгорных котловинах и долинах, 2) в низовьях и дельтах рек на равнинах в области пустынь.

Межгорные котловины представляют собой крупные гидрогеологические бассейны, современное питание которых происходит в приподнятых краевых частях за счет инфильтрации вод поверхностных водотоков, атмосферных осадков и притоков подземных вод из окружающих горных сооружений (Ферганская котловина, Голодная степь, долина р. Зеравшан и др.).

Расхождение подземных вод сосредоточено в центральной низменной части, дренируемой крупной рекой. Для подземных вод верхнего яруса в этого типа оазисах характерно увеличение напорности водоносных горизонтов с глубиной их залегания, уменьшение минерализации подземных вод вниз по профилю, повышение ее с последовательным изменением

от карбонатных к сульфатным и даже к хлоридно-сульфатным по направлению от окраины к центру котловины.

В целом межгорные котловины являются крупными аккумуляторами подземных вод хорошего качества, которые могут быть использованы на орошение и водоснабжение.

В оазисах, расположенных вдали от гор, в зоне равновесия подземного стока и испарения, верхний ярус представлен относительно маломощными бассейнами, сложенными мелкоземистыми и песчаными отложениями, содержащими подземные воды, связанные в питании и режиме с режимом реки. Этим определяется совершенно иной характер минерализации: она возрастает в сторону от реки и вниз по профилю. Общие запасы подземных вод, которые могут быть использованы на орошение и водоснабжение, крайне ограничены и непосредственно обязаны инфильтрации из русла реки, ее протоков или каналов.

Для более детального рассмотрения природы гидрогеологических бассейнов огромное значение имеет литология водосодержащих комплексов пород, определяющая условия формирования и движения подземных вод в толщах этих крупных подземных водохранилищ.

Рассмотрение закономерностей литологического строения гидрогеологических бассейнов облегчается представлением о фациально-ландшафтных зонах равнин Средней Азии, развитым в работах В. И. Попова. В основе выделения зон лежит учение об осадочной дифференциации и осадочной интеграции. Эти процессы и обязанные им фации, развиваясь главным образом при участии энергии рельефа, в областях, тектонически приподнятых (гидрогеологические горноскладчатые области) и тектонически опущенных (гидрогеологические бассейны), протекают различно. В первых преобладают денудация и смещение (интеграция) продуктов осадкообразования, а во вторых — аккумуляция и дифференциация осадков на разности, специализированные по составу.

Нас интересуют области опусканий — гидрогеологические бассейны, для которых наиболее характерны отличия фациально-литологического состава заполняющих их осадочных формаций, образующих здесь аккумулятивные равнины.

По ведущему процессу транспортировки осадков от гор к центру депрессий, согласно В. И. Попову [65], выделяем следующие фациально-ландшафтные пояса.

1. Подгорно-веерный (пролювиально-равнинный), опоясывающий широким шлейфом подножия гор, сложенный подгорными конусами выносов — суходольными и речными, принесенными сюда с гор грязевыми (силевыми) и водными (постоянными и временными) потоками (поперечными к прости-

рацию гор). На фоне этого главного и ведущего процесса развиваются другие, имеющие подчиненное значение: веерно-потоковый-аллювиальный (сосредоточенный в линейно вытянутых промоинах), эоловый, такрыный, солончаковый, озерный и т. д.

2. Равнинно-долинный (аллювиально-равнинный) пояс включает всю совокупность осадков крупных водных потоков, долины которых заложены по оси продольных понижений в межгорных долинах и котловинах и продолжаются часто далеко в равнине (например, долины рек Сыр-Дарья, Зеравшана, Кашка-Дарья, Аму-Дарья). Ведущим здесь является аллювиальный процесс, т. е. перенос и отложение материала водами речных потоков. Он сопровождается и иными, подчиненными процессами, столь же разнообразно представленными, как и в пролювиальной равнине.

3. Равнинно-ветровой (эолово-равнинный) пояс, где в связи с отмиранием других более активных процессов транспортировки осадков ведущую роль играет деятельность ветра.

В каждом из поясов выделяются следующие зоны, соответствующие последовательным фазам осадочной дифференциации: 1) обломочных пород, 2) мелкоземистых пород, 3) химических пород, 4) органогенных пород. Последние две зоны не всегда развиваются в намеченном порядке и располагаются иногда в пределах первых двух.

Среди твердых осадков зон размещается жидкая фаза — вода, формирующаяся в непосредственном взаимодействии с твердой фазой и определяющая гидрохимические условия зон. Каждый из трех выделенных фациально-ландшафтных поясов представляет самостоятельный гидрогеологический район со свойственными ему закономерностями формирования грунтовых вод. В каждом из них по условиям движения, питания, расходования и режима грунтовых вод можно выделить более мелкие единицы гидрогеологического районирования, совпадающие с фациально-ландшафтными зонами и подзонами.

Процесс осадочной дифференциации развивается полностью или частично в каждой стадии переноса и накопления континентальных осадков. Причиной нарушения процесса и, следовательно, рождения нового этапа являются обычно тектонические движения (поднятия и опускания); об их развитии свидетельствуют нагорные ступени и террасы, образующиеся как в горной части, так и на равнине.

С конца палеогена, когда море покинуло равнины Узбекистана, процесс переноса и отложения континентальных осадков неоднократно нарушался. Н. П. Васильковский [16] и Ю. А. Скворцов [81] установили для бассейна р. Сыр-Дарья в

четвертичном периоде четыре таких крупных нарушения, в соответствии с которыми различаются четыре эрозионно-аккумулятивных комплекса отложений: сохский (нанайский), ташкентский, голодностепский и сыр-дарьинский.

В природе мы всегда сталкиваемся со сложной картиной, ибо осадки современной стадии накладываются на более древние осадки ранее протекавших стадий, как правило, несколько смещаясь к центру депрессии вследствие поднятия гор. Переносу и отложению осадков каждой новой стадии предшествует интенсивная эрозия, которая либо частично, либо полностью уничтожает отложения предыдущего этапа. Поэтому сейчас мы наблюдаем лишь реликты более ранних этапов переноса и отложений осадков в виде нагорных ступеней и террас, сохранивших отдельные участки различных зон и подзон фациально-ландшафтных поясов.

Таким образом, в пределах выделенных на территории гидрогеологических бассейнов крупных фациально-ландшафтных поясов — подгорно-веерного, аллювиально-равнинного и равнинно-ветрового — имеются отложения четырех главных стадий развития процессов континентального переноса и накопления осадков. При этом образования определенных эрозионно-аккумулятивных комплексов (сохского, ташкентского, голодностепского и сыр-дарьинского) отличаются своим гипсометрическим положением и либо накладываются на более древние, либо вкладываются в эрозионный размыв в теле более древнего образования; иногда же эрозия может почти полностью смыть их.

Зеркало грунтовых вод в рассмотренных фациально-ландшафтных зонах имеет сплошное залегание. В орошаемых оазисах, расположенных в центральных частях межгорных котловин и долин и в низовьях рек на равнине, оно вскрывается на глубине 1—3 м. На подгорных равнинах глубина залегания грунтовых вод резко возрастает вместе с повышением отметок поверхности земли и достигает иногда нескольких сотен метров. На периферии оазисов, расположенных на равнине вдали от гор, глубина залегания зеркала грунтовых вод увеличивается, достигая нескольких десятков метров за пределами оазисов в окружающих пустынях.

Весь комплекс отложений верхнего яруса ниже зеркала грунтовых вод насыщен подземными водами и представляется гидравлически единым целым. Однако сложность и неоднородность литологического строения, частая смена пластов с резко разняющимися коэффициентами фильтрации создают своеобразную неоднородность в гидрогеодинамических и гидрогеохимических условиях гидрогеологических бассейнов.

Известная общность питания и режима подземных вод в толщах континентальных четвертичных отложений давно бы-

ла подмечена исследователями [37, 43, 69, 72, 87], и это служило им основанием называть все воды четвертичных отложений грунтовыми.

Наибольшее признание в Советском Союзе получило определение грунтовых вод, выдвинутое С. Н. Никитиным в конце прошлого столетия и поддержанное проф. О. К. Ланге, акад. Ф. И. Саваренским и другими, как вод, залегающих из первом от земной поверхности водоупоре, имеющих область питания, совпадающую с областью распространения. Грунтовые воды имеют свободное зеркало и в своем движении подчиняются силе тяжести. В этом определении имеется в виду водоупор в широком региональном развитии, в значительной мере изолирующий нижние горизонты от воздействия климатических и гидрологических факторов.

Такими классическими водоупорными слоями у нас в Средней Азии могут являться, например, толщи морских палеогеновых глин или мощные красноцветные глины континентального неогена, которые определяют крупные различия между водоносными комплексами.

Все же залегающие выше этих глин чрезвычайно пестрые по своему литологическому составу четвертичные отложения, по существу, представляют собой единый водоносный комплекс, что и служило основанием многим исследователям — О. К. Ланге [43], М. М. Решеткину [69], М. А. Шмидту [87], Н. М. Решеткиной [72] и другим — называть все воды в четвертичных отложениях грунтовыми.

Но вправе ли мы считать воды всей четвертичной толщи, или, вернее, всего верхнего яруса, грунтовыми? Мощность четвертичных отложений достигает нескольких сотен метров, а неоднородность и резкие фациальные различия в напластованиях обуславливают возникновение иногда на близких расстояниях обособленных струй и потоков, значительно разнящихся по минерализации и напорам. В известных условиях, например на периферии конусов выносов и в центральных частях межгорных котловин, глубокие слои подземных вод приобретают характер артезианских и дают самоизлив.

Таким образом, для нижних горизонтов вод этой толщи нарушаются два основных условия, определяющих понятие «грунтовые воды» — свободный уровень и совпадение области питания с областью развития, ибо в средних и нижних слоях толщи отдельные слои могут испытывать пьезометрический напор и в связи с этим иметь восходящее движение, а питание их часто связано с областями, расположенными далеко за пределами их развития. Поэтому правильнее называть воды в четвертичных отложениях Узбекистана подземными, сохранив термин грунтовые в применении лишь к самым верх-

ним их слоям, находящимся в непосредственном взаимодействии с поверхностью земли.

Возникает вопрос: что же считать за нижнюю границу грунтовых вод, если мы не имеем близко расположенных хорошо выдержанных водоупоров? Ведь нередки случаи, когда грунтовые воды, часто сильноминерализованные, вскрываются в толще суглинков, которые на глубине 20—30 м подстилаются песками или галечниками, содержащими слабонапорные пресные подземные воды (Голодная степь, Ферганская долина и др.).

Как же быть в этом случае? Объединять ли в единое понятие «грунтовые воды» эти два различных водоносных горизонта — различных по водоотдаче, химическому составу и общей минерализации, по напорам (первый — в суглинках — имеет свободное зеркало, тогда как второй не имеет его, так как прикрыт суглинистой кровлей), по условиям питания (ибо первый получает питание на территории своего развития сверху, от осадков и поверхностных водотоков, и снизу, из полунапорного слоя, второй же может иметь питание по пласту галечников и песков далеко в стороне). Поэтому в данном случае мы считаем неправильным объединять два различных водоносных горизонта понятием «грунтовые воды», полагая, что последнее справедливо лишь для первого.

Если бы мощность суглинков была небольшой, примерно 1—5 м, разница в химическом составе в гидродинамических условиях суглинков и подстилающих песков практически оказалась бы несущественной, то такое объединение было бы оправдано. Поэтому, принимая справедливыми и обязательными первые два условия, определяющие общепринятое понятие «грунтовые воды»: 1) наличие свободного зеркала и 2) совпадение области питания с областью распространения, мы считаем необходимым для среднеазиатских условий уточнить понятие нижней границы этих вод.

За нижнюю границу грунтовых вод мы предлагаем принимать первую резкую смену в литологии водосодержащей породы, которая определяет появление нового водоносного горизонта, значительно отличающегося по гидродинамическим и гидрохимическим условиям, независимо от того, будет ли это выражаться в смене суглинков галечниками или песков глинами. Всю остальную часть разреза верхнего яруса гидрогеологических бассейнов мы, следуя идеям А. Н. Мятиева [56, 57], называем напорным комплексом подземных вод.

Теория напорного комплекса разрабатывалась независимо от А. Н. Мятиева Н. К. Гиринским [18—20], Г. Н. Каменским [27] и другими, а позднее она получила обобщение в капитальной монографии П. Я. Полубариновой-Кочкиной [64].

Сущность теории напорного комплекса подземных вод заключается в следующем. В природе не существует абсолютных водоупоров и, следовательно, нет совершенно разобщенных водоносных горизонтов. В сложных слоистых водоносных комплексах хорошо проницаемые пласты — галечники и пески — разделяются полу- или слабопроницаемыми породами — супесями, суглинками, глинами, которые лишь затрудняют связь между водоносными горизонтами. Эта связь лимитируется мощностью и коэффициентом фильтрации слабопроницаемого пласта, разделяющего два водоносных горизонта.

Соотношение напоров этих горизонтов будет определять направление и скорость поступления воды из одного водоносного горизонта в другой.

$$\text{По закону Дарси } V = k \frac{H_1 - H_2}{m},$$

где V — скорость фильтрации через слабопроницаемый слой;

k — коэффициент этого слоя;

m — его мощность;

H_1 — напор в нижнем водоносном слое, из которого происходит фильтрация;

H_2 — напор в верхнем водоносном слое, в который через слабопроницаемый слой поступает вода.

Даже при сравнительно небольших различиях в напорах между водоносными горизонтами в региональном масштабе эти связи весьма существенны. Так, если разница пьезометрических уровней двух горизонтов составляет 1 м, а разъединяющий их слой водоупорной глины имеет мощность 10 м и коэффициент фильтрации 10^{-8} м/сек, то первый водоносный горизонт будет получать восходящей фильтрации ежедневно $86,4 \text{ м}^3$ воды с 1 км^2 территории. Эта вода несет с собой и соли, т. е. тем самым устанавливается и гидрогеохимическая связь между отдельными горизонтами.

Откачки понижают напор в том горизонте, из которого производится забор подземных вод колодцами, и, следовательно, нарушают установившиеся связи между горизонтами.

Основываясь на теории напорного комплекса, А. Н. Мятлев [56, 57] и независимо от него Н. К. Гиринский [18, 20] в 1947—1948 гг. дали первые частные решения задачи о притоке воды к грунтовому и артезианскому колодцам в слоистой толще. Позднее теоретические решения были обобщены в работах П. Я. Полубариновой-Кочиной [64] и Т. И. Матвеевко [53].

Задача притока воды к колодцу применительно к условиям орошаемых оазисов Узбекистана [рис. 1] решалась В. А. Васильевым и Н. М. Решеткиной [14].

Указанные теоретические исследования и выведенные на основе их расчетные формулы относятся к равномерному, установившемуся движению подземных вод.

Между тем, как правило, приходится иметь дело с неустановившимся движением их к водозаборным сооружениям, в частности к колодцу вертикального дренажа. Это обусловлено как осушающим действием колодца, так и изменениями баланса подземных вод, их пополнением и расходом во времени, а также изменениями в режиме откачек.

В первый период работы колодца или всей системы вертикального дренажа, когда необходимо достигнуть заданной нормы осушения, режим откачки заведомо назначается неустановившимся, т. е. количество извлекаемой из колодца воды должно превышать все поступления в водоносный пласт, из которого происходит откачка. Только в этом случае уровень грунтовых вод будет понижаться. Это — стадия сработки статических запасов подземных вод до заданного горизонта.

В следующий период работы системы вертикального дренажа, когда уже достигнуто требуемое понижение уровня грунтовых вод и режим откачки относительно постоянен, мы могли бы считать движение к колодцу установившимся. На самом же деле вследствие естественных изменений в балансе подземных вод, определяющихся неравномерностью их питания и расходования в течение года, движение подземных вод к колодцам и в этот период является неустановившимся. Это следует учитывать при использовании тех или других расчетных формул или при интерпретации данных опытных откачек. Поэтому лишь условно в какие-то небольшие промежутки времени движение подземных вод к колодцам можно считать равномерным и соответственно этому применять те или иные расчетные формулы.

Наконец, сам режим эксплуатационной откачки может меняться, и на какие-то периоды, например зимой, вся или часть системы может отключаться.

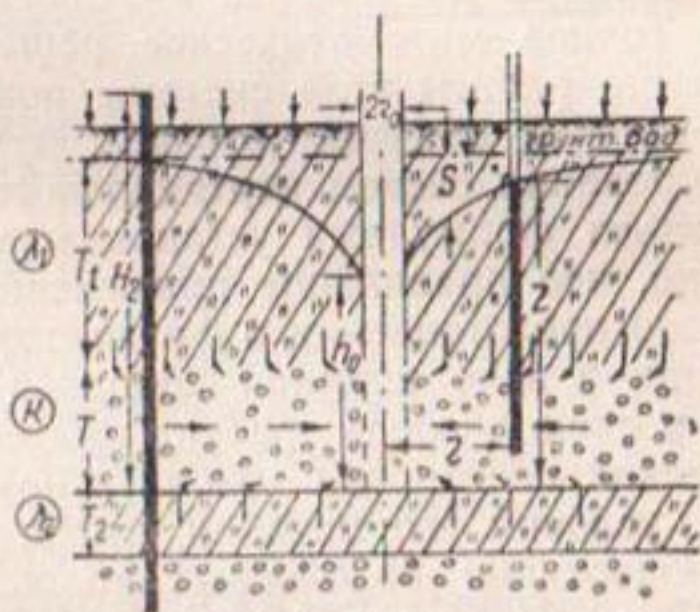


Рис. 1. Схема притока подземных вод к колодцу в слоистом грунте.

Для неустановившегося движения мы располагаем сравнительно небольшим числом теоретических решений отдельных частных задач, относящихся преимущественно к плоскому движению подземных вод [64].

Расчет притока воды к системе дренажных колодцев на мелниорируемом массиве — сложная пространственная задача. Точное математическое решение для неустановившегося режима работы этой системы пока не найдено. Поэтому при проведении опытных откачек, а также при расчетах и проектировании систем вертикального дренажа приходится пользоваться формулами установившегося движения; вполне понятно, что правильное применение их зависит от достаточно ясного представления о физической картине явлений, происходящих в зоне влияния колодцев вертикального дренажа. А это в свою очередь требует тщательного изучения гидрогеологической обстановки эксплуатируемого бассейна подземных вод, условий его питания, стока, коэффициентов фильтрации и водоотдачи водоносных толщ.

Чем тщательнее и подробнее будет изучено литологическое строение подземного водохранилища, чем глубже будет вскрыта современная картина подвижного гидрогеохимического и гидрогеодинамического равновесия внутри него, а также прослежены все изменения в геологическом времени, тем правильнее и надежнее будет расчет. Именно поэтому мы уделяем указанным выше вопросам столь большое внимание.

Глава II

ИЗУЧЕННОСТЬ И ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Краткие сведения из истории исследований

В связи с освоением земель и развитием орошения в Голодной степи вот уже более полувека ведутся исследования: почвенные, мелиоративные, гидрогеологические, в результате которых накоплен богатый фактический материал.

Исследования почвенно-мелиоративные и гидрогеолого-мелиоративные ставили целью обосновать проекты развития орошения и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель. Это самая обширная часть, занимающая по своему удельному весу главное место в исследованиях, осуществленных в Голодной степи. Они были начаты еще в конце прошлого века и первые сведения о грунтовых водах, еще очень разрозненные и отрывочные, мы находим в работах Н. А. Димо, В. В. Капелькина, М. Д. Спиридонова и др.

В послереволюционный период гидрогеологические и почвенно-мелиоративные работы получили широкий размах и сосредоточивались до 1956 г. в северо-восточной части Голодной степи, где шло развитие орошения. Исследования вели М. М. Решеткин, Г. И. Архангельский, В. С. Малыгин, Н. В. Макридин, В. А. Ковда, А. Н. Розанов, М. М. Крылов, М. А. Панков, Б. В. Федоров, В. М. Стец, Б. С. Коньков, А. Ф. Сляднев, Н. А. Кенесарин, А. Ф. Шелаев, Д. М. Кац и многие другие.

Исследовались главным образом почвенно-мелиоративные вопросы, связанные с освоением земель в зоне командования канала им. Кирова. В связи с этим тщательно изучались режим уровня грунтовых вод (М. М. Крылов, В. А. Ковда, Н. А. Кенесарин, Д. М. Кац и др.) и закономерности формирования минерализации верхних слоев грунтовых вод (В. А. Ковда и др.), а также связь их с почвенным профилем. Богатый фактический материал, собранный исследователями о водопроводимости, механическом составе, засоленности и других характеристиках, относился лишь к первым нескольким метрам водоносной толщи.

В 1948 г. были опубликованы труды бригады Почвенного института АН СССР (В. А. Ковда, А. Н. Розанов и др.), в течение многих лет проводившей исследования в Голодной степи. Эти работы вместе с работами Института почвоведения АН УзССР (М. А. Панков, 1945) и Института геологии (М. М. Крылов, 1948) подвели итог крупного этапа исследований в Голодной степи.

М. М. Крыловым разработано гидрогеологическое районирование узбекской части Голодной степи, в основу которого положены анализ режима уровня грунтовых вод как выразителя динамики их баланса и наблюдения за водным балансом на небольших ключевых участках. Как подчеркивает автор, при этом главное внимание уделялось верхним слоям грунтовых вод [38, стр. 38].

М. М. Крыловым была высказана также мысль о том, что отложения Чирчика и Ангrena прослеживаются под Сыр-Дарьей далеко в глубь Голодной степи и по ним осуществляется приток подземных вод с правобережья Сыр-Дарьи в глубинные горизонты Голодной степи. Приводя некоторые очень интересные данные по элементам баланса грунтовых вод для выделенных районов, М. М. Крылов не касается вопроса о запасах подземных вод и возможностях их использования.

Аналогичные исследования для казахской части Голодной степи провел Д. М. Кац, карта же районирования грунтовых вод по типам режима составлена им только для узбекской части орошаемой зоны [28].

Кроме того, для разрешения задач, связанных с проектированием орошения, были проведены производственные исследования проектными институтами «Узгипроводхоз» (К. Я. Опышко, М. В. Стукалова) и «Средазгипроводхлопок» (В. М. Толстунов, В. Р. Шредер), Узбекской гидрогеологической экспедицией Министерства геологии и охраны недр (Г. Д. Антонова, М. М. Иваницын, М. И. Павлов, Б. А. Славин, Х. Т. Туляганов и др.). В результате были выполнены гидрогеологические съемки на всей территории Голодной степи и заложена стационарная сеть по наблюдениям за грунтовыми водами.

Установлено, что в орошаемой части уровень соленых грунтовых вод поднят против естественного положения инфильтрацией оросительных вод выше так называемого критического. Следствием этого является интенсивное расходование грунтовых вод на испарение и транспирацию и вынос солей в верхние слои почв.

В качестве мероприятий по мелиоративному улучшению территории предлагались открытый горизонтальный дренаж для снижения уровня и отвода грунтовых соленых вод, а так-

же применение жесткого водопользования (с закрытием сети на невегетационный период) для уменьшения питания грунтовых вод. В этом плане велись все мелиоративные работы.

Однако предложение о закрытии ирригационной сети в невегетационный период встретило большие затруднения, связанные с отсутствием источников водоснабжения населенных пунктов, так как грунтовые воды всюду оказывались сильно засоленными.

Второе направление гидрогеологических исследований имело своей целью разведку глубинных подземных вод для обеспечения сельскохозяйственного водоснабжения.

Первые попытки строительства буровых колодцев в Голодной степи относятся к концу прошлого века. Частной буровой конторой «Гринуп и К^о» была пробурена первая скважина глубиной 135 м на ст. Мурзарабад почтового тракта Ташкент—Самарканд в центральной части Голодной степи. Предприниматели надеялись получить самоизливающуюся артезианскую воду; пресные воды, пригодные для питья, были вскрыты на глубине более 100 м, но их уровень не поднимался выше уровня грунтовых вод, т. е. 15—17 м. В то время воды, залегающие даже на незначительной глубине, были недоступны для эксплуатации.

Следующие скважины были пробурены: одна — в пос. Сыр-Дарьинском, другая — несколько позже в Золотой Орде (последняя с целью испытания вертикального дренажа).

Вследствие засоленности грунтовых вод и отсутствия самоизлива пресных подземных вод на доступных глубинах, попытки разведок долгое время не повторялись. Все водоснабжение осуществлялось за счет поверхностной воды, подаваемой в ирригационную сеть, которая должна была работать круглый год. Это, в свою очередь, вызывало большие потери из сети и подъем уровня соленых грунтовых вод с соответствующим ухудшением мелиоративного состояния орошаемых земель.

Планомерные разведки подземных вод были начаты с 1954 г., когда Узбекской гидрогеологической экспедицией были пробурены по специально разработанной программе первые разведочные скважины на воду, которые выявили наличие пресных, пригодных для питья вод. Только после этого началось строительство буровых скважин на воду для сельскохозяйственного водоснабжения, принявшее особенно большой размах в последнее десятилетие, когда первые успехи позволили с большей уверенностью проектировать и строить скважины.

В последние годы на этой территории пробурено уже более 200 буровых скважин на воду, разведочных и эксплуатационных глубиной до 300 — 400 м и более. Большая часть скважин располагается в зоне современного орошения. Скважины

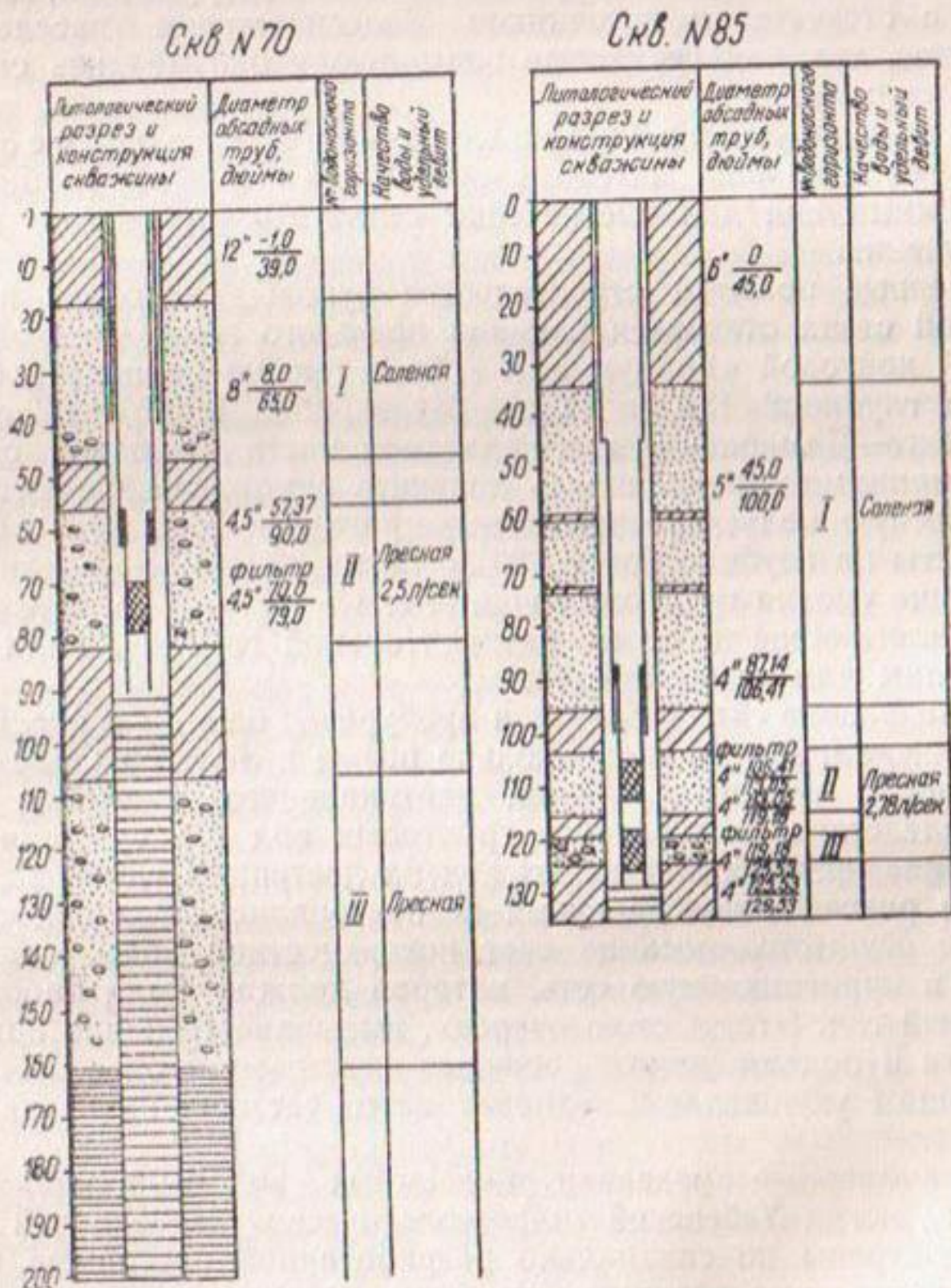


Рис. 2. Конструкция буровых скважин на воду (Узбекский гидрогеологический трест).

вскрывают в толще песчано-гравелистого аллювия пресные подземные воды. Производительность скважин, по данным опытных откачек, составляет от 10—15 до 100 л/сек, а удельный дебит их — от 1—2 до 5 л/сек (рис. 2).

Наконец, третье направление в гидрогеологических работах связано с идеей применения вертикального дренажа в целях понижения уровня соленых грунтовых вод, высказанной первыми составителями проекта развития орошения в Голодной степи Г. К. Ризенкампом и Н. В. Макридиным. В 1928 г. были заложены два колодца вертикального дренажа близ ст. Золотая Орда. Однако в то время эти работы не были завершены. Позднее — в 1949—1955 гг. — Узбекская гидрогеологическая экспедиция построила и испытала три одиночных колодца близ ст. Золотая Орда и группу из трех колодцев в районе ст. Велико-Алексеевская (см. гл. VII).

Таким образом, в нашем распоряжении имелись:

- 1) прекрасные сводные работы, характеризующие почвенно-гидрогеолого-мелиоративные условия (т. е. грунтовые воды, в нашем понимании);
- 2) фактический материал по глубоким разведочным и эксплуатационным скважинам на воду;
- 3) данные по еще не законченным геофизическим работам и разведкам на нефть.
- 4) результаты опытных работ по вертикальному дренажу.

Обобщение и анализ имеющихся материалов позволили нам выявить в северо-восточной части Голодной степи крупное подземное водохранилище, рассмотреть его статические и динамические запасы и, оценив их, выдвинуть предложение об использовании пресных глубинных подземных вод на орошение. Дальнейшие исследования и разведки Узбекского гидрогеологического треста уточняют и конкретизируют наши прогнозы.

Откачки глубинных пресных вод вызовут постепенное снижение зеркала соленых грунтовых вод, замещение их пресными инфильтрационными и опреснение почвенного профиля. Таким образом будет достигнута необратимость процесса рассоления земель.

Подземные воды Голодностепской депрессии

Голодная степь представляет собой днище громадной межгорной котловины, ограниченной на севере отрогами Чаткальского и Таласского хребтов, а на юге Туркестанским хребтом, продолжающимся на запад в виде Нуратинских гор. Оси этих хребтов, представляющие крайние западные ветви системы Тянь-Шань, расходясь и погружаясь, исчезают в западном направлении, открывая межгорную Голодностепскую котловину к пустыне Кызылкумы.

История развития котловины связана с тектонической жизнью Западного Тянь-Шаня, обусловившей отступление мо-

ря в конце палеогена и накопление огромных толщ континентальных осадков, как результат разрушения горных сооружений и опускания под тяжестью этих осадков дна котловины. Благодаря этому процессу мезо-кайнозойские осадки под Приташкентским оазисом и Голодной степью образуют огромный синклинальный прогиб. В центральной части котловины мощность континентальных осадков достигает многих сотен метров и пройдена полностью в нескольких местах разведочными на нефть скважинами треста «Средазнефтеразведка».

Наиболее полное геологическое строение присырдарьинской части Голодной степи можно проследить по скв. № 10 глубиной 1250 м, расположенной на землях совхоза «Малек» на левом пологом склоне Шур-Узякского понижения. Мощность четвертичных отложений составляет здесь 254 м; континентальные неогеновые отложения представлены преимущественно глинистой толщей мощностью 831 м; морской палеоген — 143 м; верхний мел вскрыт на глубину 22 м.

Строение северной части депрессии прослеживается на примере двух глубоких скважин, изливающих минеральную воду в парке «Победа» (Ташкент). В скважинах, пробуренных трестом «Средазнефтеразведка» в 1955—1956 гг., под слоем лессовидных суглинков в 20 м залегает мощная толща континентального неогена, которая на глубине 1150 м подстилается известковистыми песчаниками палеогена. Залегающие ниже морские отложения палеогена и мела выходят на поверхность по северному борту котловины в предгорьях Чаткальского и Таласского хребтов.

На южной окраине котловины выходы палеогена и мела почти полностью отсутствуют: уничтожены эрозией, сопровождающей интенсивные поднятия южных предгорий Туркестанского хребта. Следует отметить выход меловых пород в северо-западной части Голодностепской депрессии, указывающий на тектоническое поднятие, которое в какой-то мере замыкает котловину на северо-западе.

С гидрогеологической точки зрения котловина представляет четко очерченный гидрогеологический бассейн (рис. 3 и 4). Питание этого бассейна происходит в краевых приподнятых частях, а расходование подземных вод — преимущественно в центральной равнинной части. Рельеф палеозойского кристаллического фундамента, по данным геофизических разведок, неровен: намечаются поднятия по южной окраине Голодной степи и вблизи Сыр-Дарьи.

Сыр-Дарья, пересекая асимметрично котловину, ближе к ее правому борту, дренирует бассейн, во всяком случае его верхние песчано-галечные горизонты. Вероятно, имеется не-

значительный сток в сторону Кызылкумов. Однако прямых данных о его количестве пока мало.

В вертикальном разрезе бассейна в соответствии с геологическим строением и условиями питания выделяются ярусы

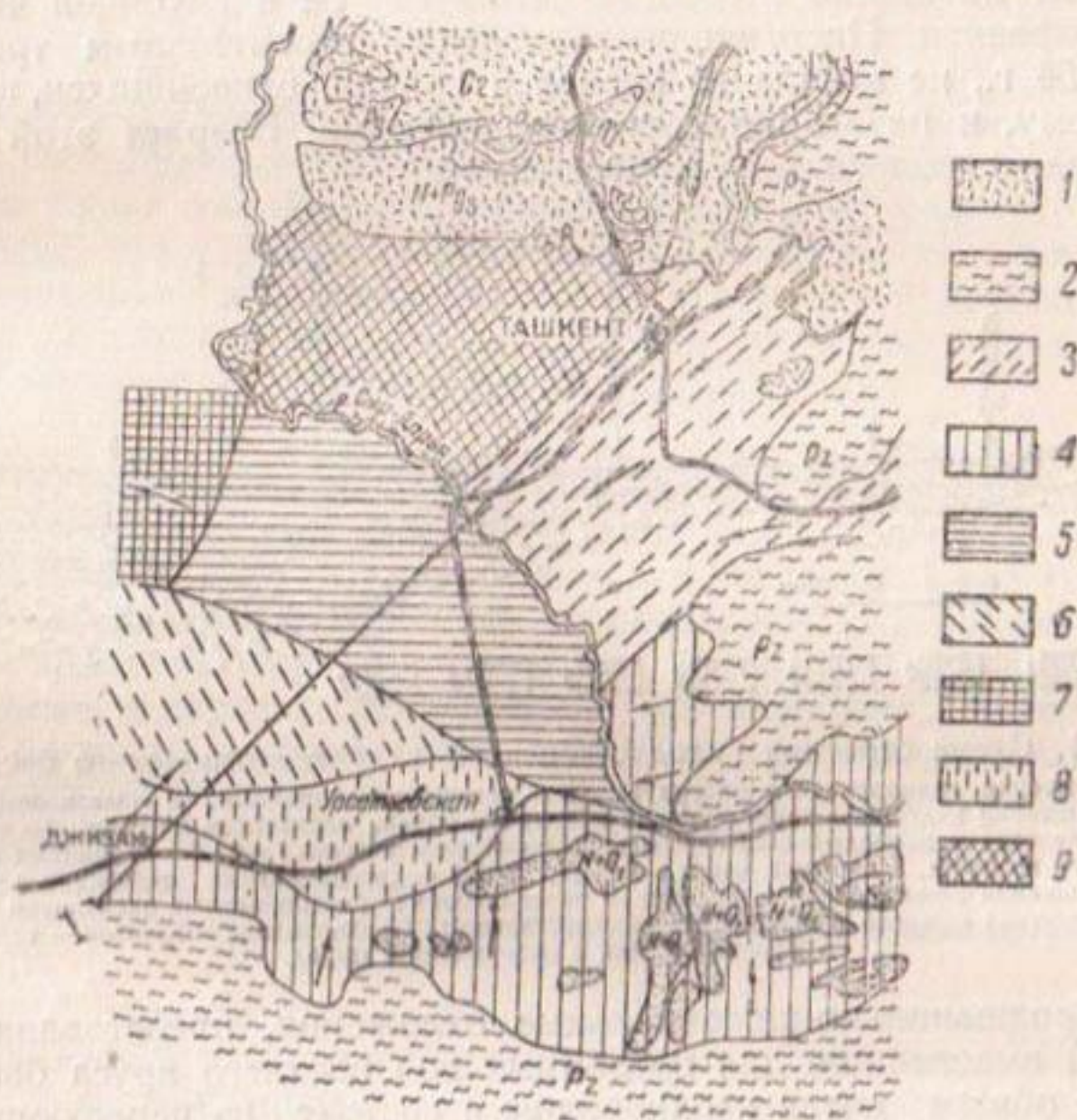


Рис. 3. Схема формирования подземных вод Голодной степи.

1— область питания водоносных горизонтов палеогена и мела на площадях выхода этих пород на дневную поверхность; 2— область питания всех водоносных горизонтов в местах контакта их с породами палеозоя, слагающими горные сооружения; 3— Чирчик-Ангренский аллювиальный поток с расходом около 65—70 м³/сек; 4— потоки предгорных равнин с расходом от 0,05 до 0,5 м³/сек на 1 км фронта; 5— область глубоких пресных подземных вод в древнеаллювиальных отложениях — Голодноостенский аллювиальный бассейн; 6— область рассеивания потоков предгорной равнины; 7— зона слабого стока подземных вод аллювиального бассейна в сторону Кызылкумов; 8— область частичного выклинивания и разгрузки подземных потоков предгорной равнины; 9— область, бедная подземными водами в четвертичных отложениях; 1-1— линия геологического разреза (см. рис. 4).

подземных вод: в меловых песках, в палеогеновых отложениях, в толщах континентальных осадков неогена и, наконец, воды, залегающие в комплексе аллювиальных и пролювиальных отложений четвертичного возраста.

В целях мелиорации особый интерес представляют воды верхнего яруса, заключенные в наиболее молодых четвертич-

ных отложениях пролювиально-аллювиального генезиса. Мощность этой толщи достигает нескольких сотен метров.

По данным «Нефтеразведки», мощность толщи в районе станций Сыр-Дарья и Велико-Алексеевская составляет 250—300 м. Скважина в совхозе «Баяут» № 4 глубиной 400 м, пробуренная Пастбищно-мелиоративно-строительным трестом в 1956 г., не вышла из песков и гравия, относящихся, по-видимому, к низам четвертичного времени. Возраст этой толщи палеонтологически не установлен.

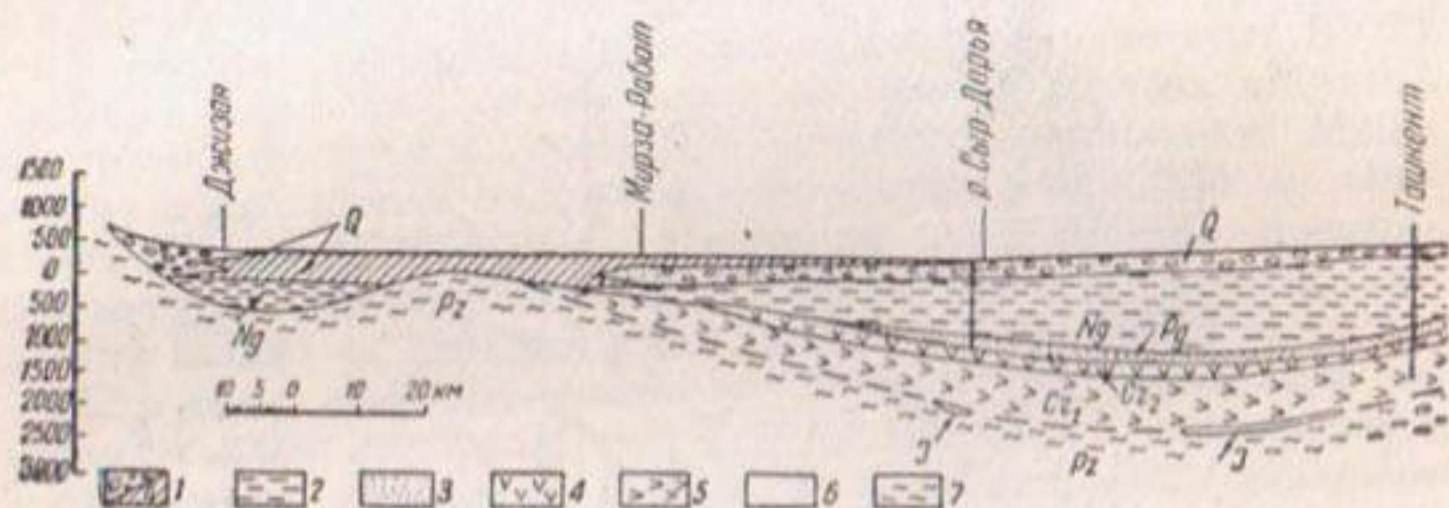


Рис. 4. Схема строения Голодностепского гидрогеологического бассейна.

1—отложения четвертичного возраста (а — песчано-галечниковые, б — мелкоземистые); 2—отложения неогена — переслаивание красных и бурых песчаников и глин; 3—отложения палеогена — переслаивание серых песчаников, зеленоватых глин; 4—отложения верхнемелового возраста, в верхней части — серые, ниже — красноцветные песчаники и глины; 5—отложения нижнемелового возраста — переслаивание пестроцветных песчаников и глин; 6—отложения юрского возраста (предположительно); 7—отложения палеозоя — толща метаморфических и изверженных пород.

Пролювиально-аллювиальные отложения, представляющие собой вместилище для подземных вод верхнего яруса бассейна, в общем очень неоднородны и состоят из чередующихся слоев песка с песчано-гравелистыми и галечниковыми разностями, а также прослоями суглинков и глин. Однако в силу происхождения эта толщина не имеет выдержанных водоупорных слоев. Отдельные глинистые линзы создают местные разобщения водоносных горизонтов, лишь в известной мере нарушая целостность и единство бассейна подземных вод. Четко выделяются подгорно-веерный пояс и аллювиально-равнинный.

Зона современного орошения и некоторые прилегающие к ней с юга площади, покрытые с поверхности лессовидными суглинками, сложены аллювиальными песчано-гравелистыми отложениями Сыр-Дарьи, Чирчика и Ангrena, представляющими громадное подземное водохранилище. Южная окраина Голодной степи является подгорной равниной Туркестанского хребта. Центральная часть на протяжении длительного отрезка четвертичного периода была краевой зо-

ной этой равнины и контактировала с аллювиальной равниной, что обусловило накопление здесь мощных слоистых мелкоземистых толщ главным образом пролювиального генезиса, хотя вполне вероятно участие эоловых процессов в сложении верхней толщи мелкоземов.

С точки зрения применения вертикального дренажа наибольший интерес представляет аллювиально-равнинная часть, где имеются мощные песчано-галечные аллювиальные отложения, насыщенные подземными водами и где вертикальный дренаж будет сочетаться с использованием подземных вод на орошение. Эта территория представлена землями, мелиоративно чрезвычайно неблагоприятными, и нуждается в понижении соленых грунтовых вод для обеспечения устойчивого рассоления почвогрунтов и повышения плодородия почв.

Аллювиальный бассейн¹

Интересующая нас часть Голодностепской депрессии представляет собой зону, прилегающую к Сыр-Дарье, вытянутую в северо-западном направлении по левобережью и сложенную на значительную глубину (примерно 300 м) аллювиальными песчаными и песчано-гравелистыми отложениями, содержащими прослойки, а также линзы глин. Размеры этого подземного водохранилища, или, как мы его будем называть, аллювиального бассейна, определяются в плане, считая перпендикулярно к реке, шириной до 40—45 км и длиной вдоль Сыр-Дарьи от г. Беговата до Арнасайского понижения около 120 км (рис. 3).

Таким образом, общая площадь бассейна составляет около 5000 км². Его северо-восточная граница проходит по Сыр-Дарье, а юго-западная — по линии Джетысайского понижения и далее на северо-запад, несколько южнее строящегося Центрального голодностепского коллектора. Эта граница уточнена разведками Узбекского гидрогеологического треста.

На территории имеется, как отмечалось, до 200 скважин на воду, характеризующих строение, распределение пьезометрических напоров и качество воды, а также водоотдачу водоносных пород.

Все скважины показывают достаточно определенную общую закономерность в строении водовмещающих толщ бассейна. С поверхности на всей территории бассейна широко развит плащ покровных мелкоземов, представленных лессовидными суглинками с прослоями супесей и глин. Мощность мелкоземистого покрова вблизи Сыр-Дарьи, на второй тер-

¹ Все дальнейшее изложение касается только аллювиального бассейна.

расе, примерно 3—5 м, на всей остальной территории она достигает 20—30, редко — 40—50 м, в общем увеличиваясь от реки к окраинной части бассейна.

Под мелкоземистым покровом залегают аллювиальные песчано-гравелистые и песчаные отложения, которые разделены линзами глин и лессовидных суглинков как бы на отдельные горизонты. При этом, судя по разрезу скважин, глины и суглинки, представляющие собой отложения также аллювиального и частично пролювиального или даже возможно эолового характера, имеют неправильное линзообразное залегание и нигде не представляют собой хорошо выдержанных пластов, которые распространялись бы на всей территории бассейна и полностью отделяли верхние части его от нижних. Напротив, сообщение верхних песчаных толщ с нижними возможно не только через полупроницаемые пласты, но и через разрывы между ними. Поэтому, если в дальнейшем речь будет идти о слабопроницаемых пластах, разделяющих водоносные горизонты в песках и гравиях, нужно иметь в виду местное значение этих пластов.

Однако на отдельных участках бассейна значение пластов суглинков и глин настолько велико, что определяет образование значительных местных напоров подземных вод в подстилающих песчано-галечных отложениях и скважины, опущенные в эти отложения, дают самоизлив (сел. Крестьянское).

Литологическое строение аллювиального бассейна определяется условиями его формирования. Главная масса крупнообломочного материала выносилась Сыр-Дарьей в районе выхода ее из Ферганской котловины. При этом в Сыр-Дарье перемывались и переоткладывались отложения выноса боковых притоков.

Значительное количество гравийно-галечного материала доставляли рр. Чирчик и Ангрен. Особенно мощные галечные слои вскрываются скважинами в районе Беговата и даже в пределах Баяутского массива земель. К северо-западу роль галечников и гравия в разрезах постепенно уменьшается, и в аллювиальных отложениях начинают преобладать мелко- и тонкозернистые пески.

Глава III

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Методика

Статические запасы подземных вод подсчитываются по коэффициенту водоотдачи пород [79]:

$$Q_c = \mu v_c,$$

где Q_c — статические запасы,

μ — коэффициент водоотдачи,

v_c — объем воды ниже самого низкого уровня подземных вод.

Простота самой расчетной формулы далеко еще не определяет легкости расчета, ибо наиболее трудно выяснить строение бассейна для определения объемов пород и уточнить их водоотдачу.

Естественно, чем точнее будет установлено литологическое строение подземного водохранилища, тем вернее можно будет подсчитать его емкость и определить водоотдачу для отдельных разностей пород.

Подсчет емкости бассейна и определение его статических запасов нами проведены по следующей методике. По скважинам были намечены и построены гидрогеологические разрезы. Пять разрезов, ориентированных с юго-запада на северо-восток, в направлении, перпендикулярном к Сыр-Дарье, характеризуют ряд поперечных сечений всего бассейна; шестой разрез — продольный — построен по линии скважин, идущих вдоль Сыр-Дарьи.

Стратиграфическое расчленение толщи аллювиальных отложений было проведено в соответствии с разработанной Н. П. Васильковским и Ю. А. Скворцовым и принятой большинством геологов схемой условного возрастного расчленения четвертичных отложений Узбекистана. В основу этого расчленения положено геоморфологическое сопоставление террас р. Сыр-Дарьи и ее притоков с разрезами древних дислоцированных четвертичных отложений в предгорных районах. Об-

стоятельное обоснование схемы дано в работе Н. П. Васильковского [16]. Эта схема включает четырехчленное деление четвертичных отложений на следующие комплексы, связанные с «цикловыми террасами» (от более древних к молодым): 1) сохский (нанайский), 2) ташкентский, 3) голодностепский, 4) сыр-дарьинский (современный).

«Каждый комплекс, — отмечает Н. П. Васильковский, — включает отложения различных генетических типов, формировавшихся в рамках крупного, обычно сложно протекавшего этапа или фазы денудации. Эти этапы в известной степени отвечают этапам тектонических движений, может быть, и этапам климатических изменений» [16, стр. 9].

С этапами тектонического развития земной коры, в частности горных поднятий, связано ритмостратиграфическое расчленение кайнозойских моласс, предложенное В. И. Поповым. В основании каждого из выделяемых им ритмов залегают более грубые осадки, которые соответствуют периоду интенсивного поднятия гор. Верхняя часть отложений состоит из более тонких осадков, соответствующих периоду замедления или даже некоторой паузы в поднятии гор.

Основанием к выделению возрастных комплексов послужили:

1) аналогичные возрастные разделения в толще четвертичных отложений в хорошо изученных районах долины р. Чирчик, по аналогии с которой мощность голодностепского комплекса определена в 40—50 м, ташкентского — 100—150 и сохского — 250—300 м и более;

2) положение подошвы и мощность ташкентского комплекса уточнены по тем скважинам, где аллювиальные отложения его подстилаются пролювиальными суглинками сохского комплекса, что характерно для западной части бассейна;

3) пространственное развитие аллювиальных отложений сохского комплекса прослеживалось по скв. № 1, 2, 14 (Пастбищно-мелиоративно-строительный трест), № 8479 (Бурвод) и другим, вскрывающим аллювиальные песчано-галечниковые отложения на глубинах до 300 и более метров. По материалам этих скважин южная граница развития аллювиальных отложений сохского комплекса была определена значительно севернее, чем распространение аллювия более молодого ташкентского комплекса;

4) построенная с учетом возможного палеогеографического развития на рассматриваемой территории схема распространения аллювия в различные периоды четвертичного времени (рис. 5).

Наиболее крупнообломочными, мощными и, следовательно, обладающими лучшими фильтрационными свойствами и значительными запасами пресных подземных вод являются аллювиальные отложения сохского комплекса. Развитие же

Рис. 5. Палеогеографическая схема развития аллювиальных отложений Голодной степи (масштаб 1:1000 000):

их в пределах выделенного нами бассейна сравнительно ограничено; эти отложения, мельчая, продолжаются на запад за Арнасайское понижение, в область Кызылкумов, где они вскрываются под толщей эоловых песков.

строительным трестом, которая не вышла из отложений этого комплекса.

Скв. № 14

- 0,0—2,0 Песок серый тонкозернистый
- 2,0—8,0 Галечник средней крупности с примесью гравия и разнозернистого песка серого цвета: встречаются отдельные валуны.
- 8,0—31 Валуны с примесью крупного галечника темно-серого цвета
- 31—41 Галечник средней крупности с примесью гравия серого цвета.
- 41—45 Гравий крупный с включением гальки и крупнозернистого песка; встречается примесь глинистого материала в нижней части разреза
- 45—48 Глина с примесью гравия и гальки
- 48—52 Гравий с мелкозернистым песком и глинистым материалом
- 52,0—69 Глина жирная, бурая, с примесью гравия, гальки и песка
- 69—78 Гравий с галькой и разнозернистым песком; встречается незначительная примесь глинистого материала
- 78—88 Гравий с галькой и большим содержанием разнозернистого песка.
- 88—100 Гравий с галькой и песком, в нижней части слоя насыщен глинистым материалом
- 100—113 Глина сизая, плотная, жирная, с примесью гравия и мелкозернистого песка
- 113—140 Песок мелкозернистый, с гравием и прослойками сизой, жирной глины
- 140—198 Глина сизая, плотная, с примесью гравия и мелкозернистого песка
- 198—225 Галечник крупный с незначительной примесью мелкозернистого песка
- 225—300 Песок серый мелкозернистый

В западном направлении мощность аллювиальных сохских отложений уменьшается, видимо, в связи с тем, что в пределах левобережья Сыр-Дарьи располагается краевая часть древней долины, а наиболее мощные ее толщи развиты севернее, подстилая суглинки и более молодой аллювий: Чирчика и Ангрена. Во всяком случае, скважиной в совхозе «Малек», пробуренной Средазнефтеразведкой, уже на глубине 256 м вскрыта песчано-глинистая толща, отнесенная к отложениям неогена.

Более молодые аллювиальные отложения ташкентского комплекса в северо-восточной части бассейна залегают непосредственно на аллювии сохского комплекса. На юге и крайнем северо-западе бассейна, где песчано-галечниковый аллювий сохского комплекса отсутствует, эти отложения лежат на пролювиальных суглинках и имеют мощность около 100—120 м, максимально — 150—160 м.

Для характеристики строения этих частей бассейна приведем описание скважин № 61 и 90 (Узбекский гидрогеологический трест, гидрогеолог Г. Д. Антонова).

- 0,0 — 30,00 Глина серовато-желтая, до глубины 0,70 м макропористая, пронизана корнями растений с включением мелких гнезд аморфного гипса, к подошве слоя загипсованная, слоистая, с охристыми пятнами. С 2,80 м глина желтовато-коричневая, с прожилками голубовато-сизой, на глубине 15,00 м постепенно переходит в серо-желтый, тяжелый суглинок
- 30,0—35,80 Песок мелкозернистый, коричневатого-серый, с включением гравия и мелкой гальки до 30%; гравий в основном представлен кварцем, полевым шпатом и темными осадочными породами. Галька хорошо окатанная, размером от 2 до 5 см, с прослоями на глубине 24,70 м галечника мощностью до 0,30 м; ниже песок мелкозернистый, пепельно-серый, с блестками слюды
- 35,80—42,35 Галечник; галька в пересыпке с песком, гравием и щебнем, плохо окатанная, в основном представлена глинистым сланцем; горизонт водоносный
- 42,35—64,50 Суглинок средний, пылеватый, серовато-желтый, с охристыми и голубовато-сизыми пятнами, постепенно переходит в глину
- 64,50—73,00 Глина желтовато-коричневая, плотная, с глубины 71,50 м коричневатого-серая, с блестками слюды
- 73,00—80,20 Песок мелкий, желтовато-серый, с включением гравия до 20%. На глубине 76,20 м вскрыт слой тяжелого суглинка с ржавыми пятнами мощностью 0,40 м. С глубины 78,00 м песок пепельно-серый, с включением отдельных зерен гравия; горизонт водоносный
- 80,20—89,55 Глина светло-коричневая с редким включением зерен гравия; с глубины 83,50 м — с темно-серыми и сизыми пятнами
- 89,55—98,90 Песок мелкозернистый, пепельно-серый, состоит из зерен кварца, полевого шпата и темноцветных минералов с блестками слюды; горизонт водоносный
- 98,90—117,60 Песок разнозернистый, коричневатого-серый, кварцево-полевошпатовый, с редким включением гравия. С глубины 100,40 м вскрыт слой тяжелого суглинка, коричневатого-серого, с голубовато-сизыми и охристыми пятнами, мощностью 0,40 м
- 117,60—410,90 Суглинок серовато-желтый плотный, слоистый, с голубовато-сизыми и охристыми пятнами, с прожилками аморфного гипса; с глубины 128,90 м — загипсованный, с редкими пятнами гумуса; с 140 м суглинок с прослоями глины мощностью от 1 до 3 м.

В интервале 150—153 и 160—164 м — прослой серого разнозернистого (в основании мелкозернистого) песка

Общая глубина скважины — 410,90 м.

При бурении вскрыто четыре водоносных горизонта:

- 1) 1,00—42,35 м — песок и галечник, вода соленая;
- 2) 73,00—80,20 м — песок, вода соленая;
- 3) 89,55—117,60 м — песок, вода соленая;
- 4) 150—164 м — переслаивание песка, супеси и суглинка, вода горько-соленая.

Плотный остаток — 5331 мг/л.

- 0,0—34,80 Суглинок желтовато-серый, легкий, пылеватый, с блестками слюды, к подошве слоя переходит в глину
- 34,80—70,00 Песок мелкозернистый, желтовато-серый, к подошве слоя серый, с включением зерен красного и черного цветов, с блестками слюды, редкими включениями гальки и гравия, местами — с прослойками глины серого цвета
- 70,00—72,00 Супесь желтовато-серая, легкая, крупно-зернистая, к подошве тяжелая, пылеватая, постепенно переходит в глину серого цвета, с включением гальки и гравия
- 72,00—117,40 Песок мелкозернистый, серый, к подошве — желтовато-серый, с включением блесток слюды, с содержанием черных и красных зерен, с включением гальки, гравия и окатышей глины; прослой (мощностью до 0,3 м) серой глины, суглинка и супеси
- 117,40—126,30 В кровле — прослой глины серого цвета мощностью 1,0 м, с блестками слюды, галькой и гравием, гнездами песка, плотный; ниже — галечник, гравий в пересыпке с песком, к подошве слоя — прослой супеси
- 126,30—250,00 Суглинок зеленовато-серый, тяжелый, пылеватый, с включением блесток слюды
- Общая глубина скважины — 250,00 м.

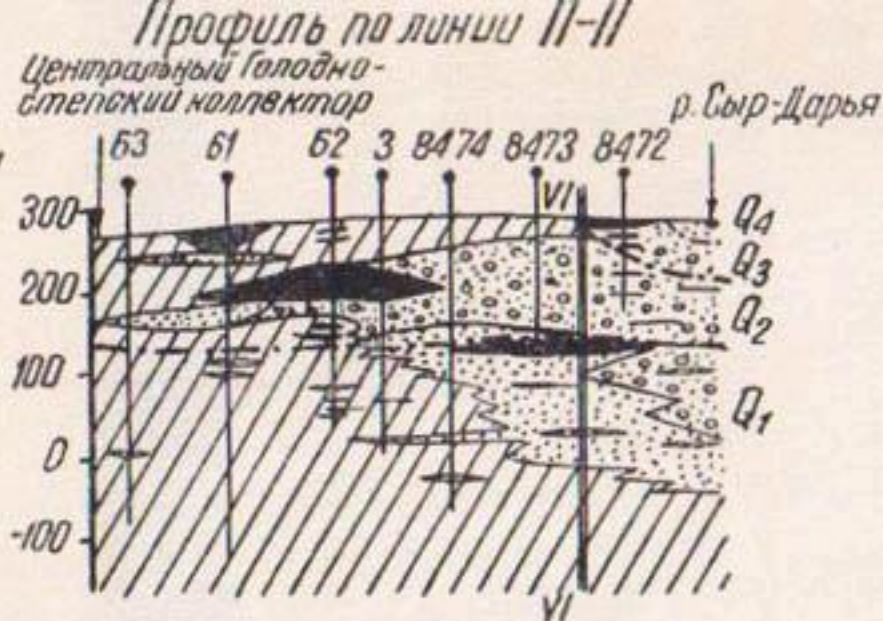
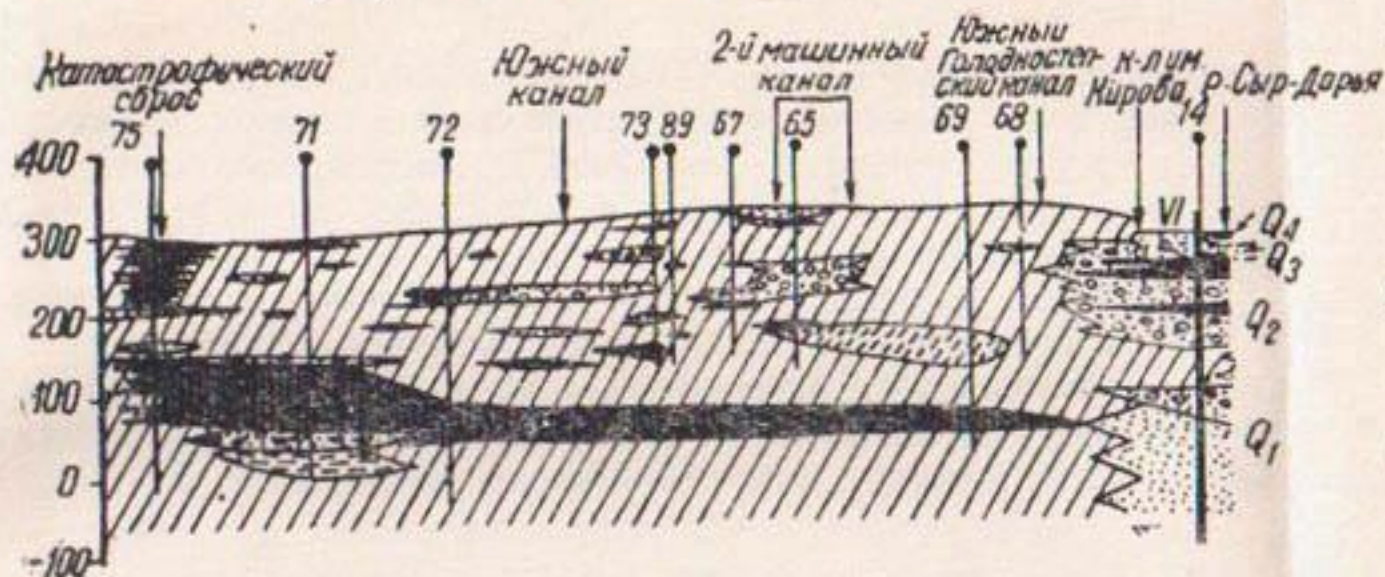
При бурении вскрыт один водоносный горизонт: от 34,80 до 126,30 м — песок и галечник; вода соленая; плотный остаток 4698 мг/л. Установившийся уровень — 6,42 м.

В отличие от отложений сохского комплекса, ташкентский аллювий представлен в общем более мелкозернистым материалом. Отмечается также некоторое уменьшение его мощности вниз по долине, обусловленное молодыми тектоническими поднятиями в районе р. Чардары, и по краевым участкам бассейна. В этой связи условия проточности на западной окраине бассейна значительно ухудшаются, что вызывает увеличение степени минерализации подземных вод в толще отложений ташкентского комплекса.

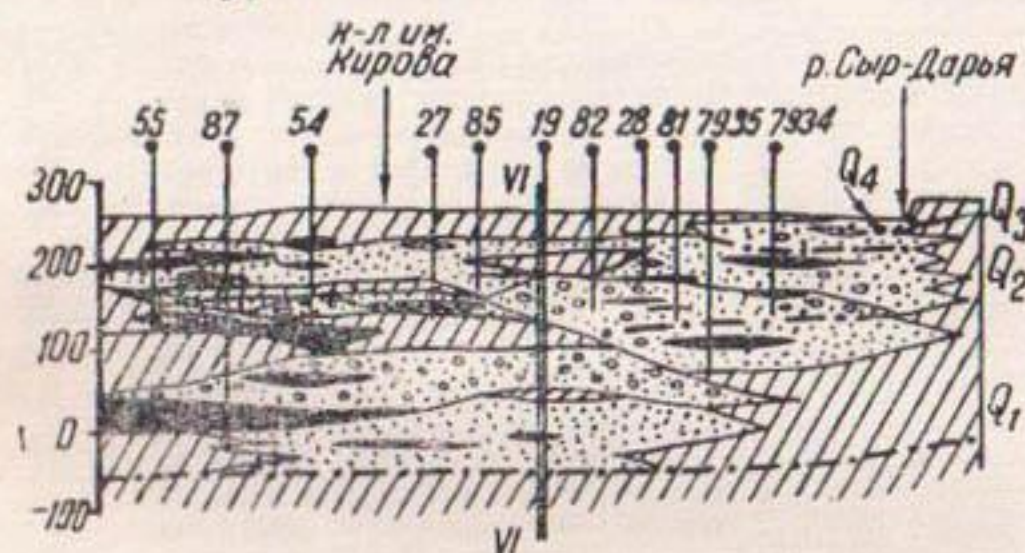
Самые молодые аллювиальные отложения голодностепского комплекса представлены преимущественно мелкозернистыми песками, залегающими непосредственно под суглинками. Мощность их невелика — не более 40—50 м. Это хорошо видно по разрезам скв. № 8, 8774 и других, расположенных в северо-восточной части, где сыр-дарьинский аллювий подстилается мощными пролювиальными суглинками, связанными с толщей пролювия правобережной подгорной равнины.

В пределах второй террасы р. Сыр-Дарья скважины в племсовхозе № 10, в колхозах им. Крупской и им. К. Маркса (в райцентре Верхне-Волынского района) показывают, что под слоем мелкозернистых мощностью всего 3—5 м залегают пески в нижней части с включением гравелистых и мелкогалечных фракций мощностью 35—40 м, подстилаемые пролювиальными суглинками. В северо-восточной части эти суглинки

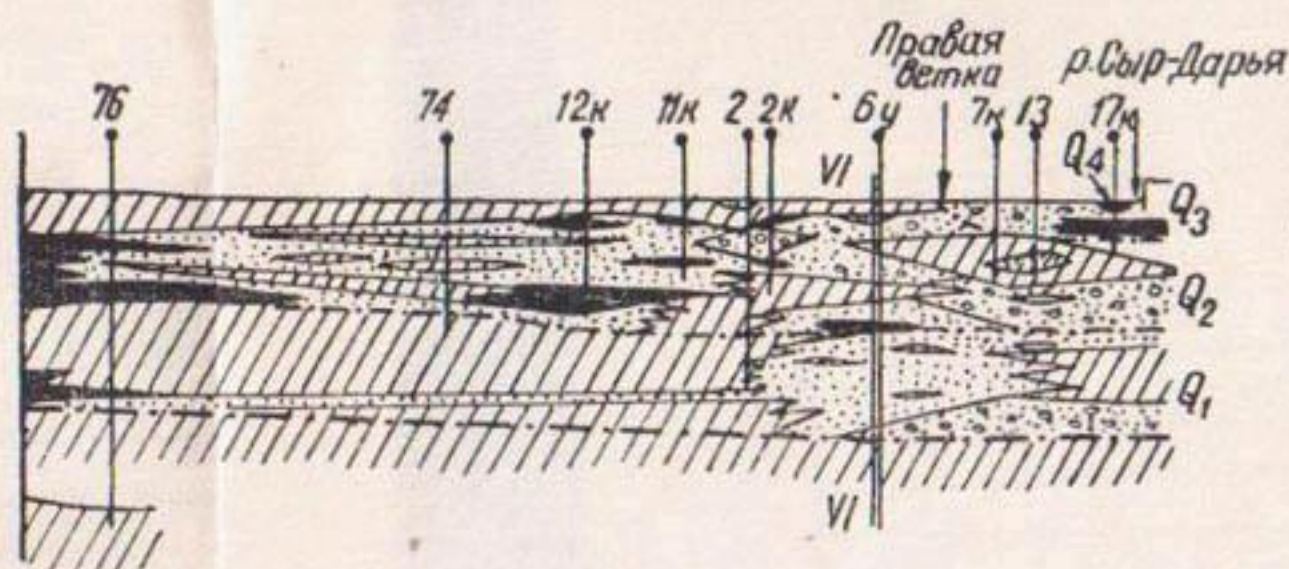
Профиль по линии I-I



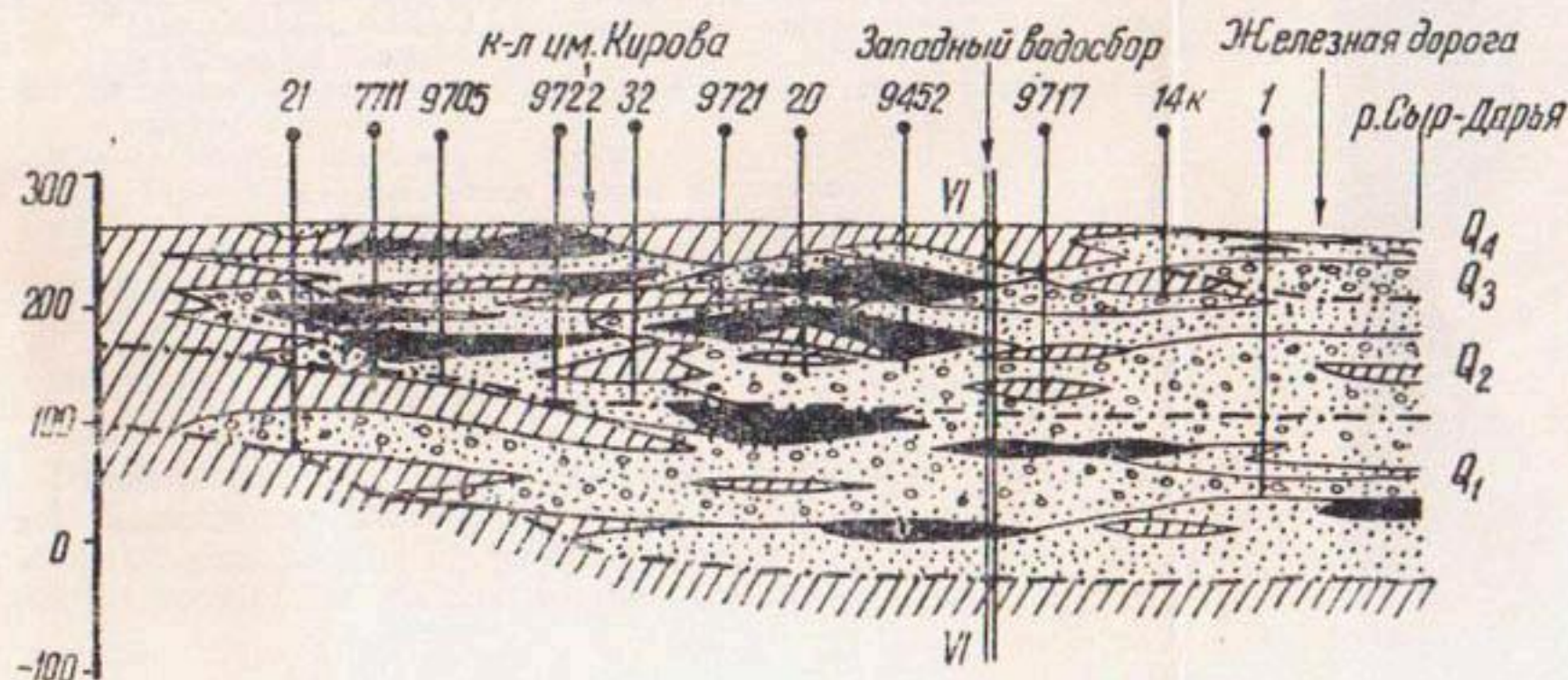
Профиль по линии V-V



Профиль по линии III-III



Профиль по линии IV-IV



- Глина
- Суглинок
- Супесь
- Песок
- Галечник с песком
- Глинистый песчаник
- Граница отложений различного возраста
- Граница аллювиального бассейна
- Линия пересечения с продольным профилем

Рис. 6. Поперечные гидрогеологические разрезы аллювиального бассейна подземных вод.

имеют значительную мощность — до 50 и более метров и являются хорошим относительным водоупором для залегающих ниже водоносных горизонтов в песках и галечниках. Благодаря этому скважины в племсовхозе № 10 и в колхозе им. Крупской дают самоизлив. К западу мощность суглинков уменьшается, соответственно падают и напоры скважин.

На окраине аллювиальной равнины количество гравия и галечников в водоносных горизонтах уменьшается, хотя скважинами в г. Мирзачуле еще фиксируются (на глубине более 100 м) прослойки их, обладающие хорошей водоотдачей.

Скв. № 60 (пройдена в декабре 1956 г., Узбекский гидрогеологический трест).

- 0,0—31 Суглинок буровато-желтый, тяжелый, пылеватый, к подошве слоя темно-серый
- 31—40 Песок темно-серый, пылеватый, с включением в основном кварцевой гальки, хорошо окатанной, размером до 3—4 см (25%)
- 40—50 Глина темно-серая, плотная, жирная на ощупь, вязкая; с глубины 44 м желтовато-бурая
- 50—58 Песок желтовато-серый, среднезернистый, с редким включением более крупных зерен песка
- 58—63 Глина зеленовато-серая, плотная, жирная на ощупь, вязкая
- 63—76 Песок темно-серый (до черного), разномзернистый, в основном мелкозернистый, с включением гальки до 10—15% (галька хорошо окатанная, размером до 3 см) с прослойками мощностью от 0,5 до 2,0 м темно-серой, вязкой, жирной, плотной глины
- 76—80 Галечник; галька в пересыпке с серым песком, разномзернистым, хорошо окатанная, размером до 4 см. Преобладающий состав: песчаник, известняк. На глубине 77,50 м имеется прослойка конгломерата на известковистом цементе мощностью 0,2 м
- 80—117 Песок мелкозернистый, желтовато-серый с охристыми пятнами
- 117—146 Суглинок буровато-желтый, средний и легкий пылеватый, к подошве слоя суглинок тяжелый с маломощными прослойками супеси и глины
- 146—163 Песок желтовато-серый, мелкозернистый, в верхней части пылеватый, в нижней — с прослойками мощностью до 1 м буровато-желтой глины.
- 146—218 Суглинок серовато-желтый, тяжелый, пылеватый, с прослойками супеси

Общая глубина скважины — 218,00 м.

При бурении вскрыты четыре водоносных горизонта:

- 1) 31—40 м — обводненная часть покровных суглинков (с глубины 1,50 м) и подстилающие пески;
- 2) 50—58 м — песок;
- 3) 63—117 м — песок и галечник; вода пресная; плотный остаток 1824 мг/л. Установившийся уровень 2,07 м;
- 4) 146—163 м — песок.

Разрезы многочисленных скважин позволили составить подробные гидрогеологические профили аллювиального бассейна, по каждому из которых определялось поперечное сечение и возможная водопропускная способность его, причем

учитывалась только песчано-галечниковая область бассейна. Прежде всего, на каждом поперечнике выделялись контуры

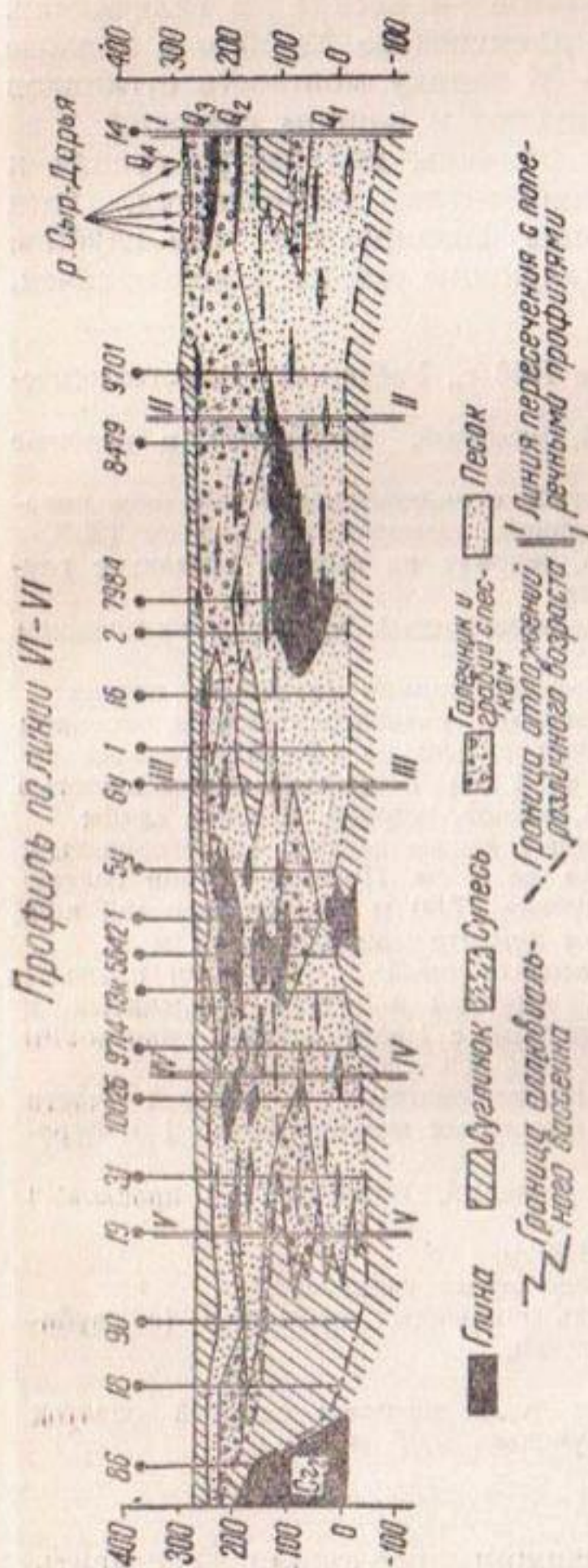


Рис. 7. Продольный гидрогеологический разрез аллювиального бассейна подземных вод.

аллювиального бассейна, т.е. дно его и краевая часть на юго-западе, где он граничит с пролювиальной равниной, сложенной слабопроницаемыми лессовидными и глинистыми отложениями; последние являются в известной мере водоупором для подземных вод бассейна, где местами происходит „впадение“ водоносных песчаных прослоев — погребенных русел пролювия — в аллювиальный бассейн.

На северо-западе все поперечные разрезы доведены до русла р. Сыр-Дарьи, которое является как бы гидравлической границей бассейна (рис. 6-7).

Первый поперечник, самый южный, захватывает очень узкий участок бассейна вблизи г. Беговата. Поперечное сечение галечниково-песчаного аллювия в этом месте составляет лишь 1,88 км².

Второй поперечник построен по линии, проходящей через баяутские земли, несколько южнее пос. Крестьянского. Здесь бассейн

уже значительно шире — площадь поперечного сечения его равна 4,7 км².

Третий поперечник проходит через Верхне-Волынский район, примерно в 3 км выше впадения р. Ангрен в Сыр-Дарью. Третий и четвертый поперечники характеризуют центральную, наиболее обширную, часть аллювиального бассейна. Поперечное сечение гравийно-песчаных и галечных отложений составляет здесь 8,12 км².

Для первых трех поперечников характерно наличие под Сыр-Дарьей системы чередующихся водоносных горизонтов в галечниках и гравиях, переслаивающихся с глинисто-суглинистыми пластами. Видимо, на этом участке молодые сыр-дарьинские отложения вложены в более древнюю пролювиально-аллювиальную толщу, связанную с деятельностью горных потоков Чаткало-Кураминских гор и с отложениями древнего конуса р. Сыр-Дарьи.

Мощность сыр-дарьинского аллювия голодностепского комплекса на третьем поперечнике составляет не более 30—40 м (скв. № 17). В скв. № 7338 и 7337 мощность аллювия возрастает до 50—60 м. Разрезы, построенные таким образом, определяют совершенно явное взаимоотношение между молодым аллювием Сыр-Дарьи и более древними пролювиально-аллювиальными отложениями предгорий Чаткальских и Кураминских гор.

Разрез IV—IV, проходящий от впадения р. Чирчик в Сыр-Дарью, на юго-запад, несколько южнее сел. Джетысай, показывает, что в устье р. Чирчик галечно-гравийные отложения почти лишены сколько-нибудь существенных суглинисто-глинистых прослоев. Для этого поперечника характерно уменьшение мощности гравийно-галечных и песчаных слоев и, следовательно, общего поперечного сечения бассейна, в сторону от Сыр-Дарьи. Общая площадь его 9,08 км².

Пятый разрез, расположенный в 15 км северо-западнее четвертого, показывает незначительное сокращение емкости бассейна в этом направлении и смещение его центральной, наиболее глубокой, части к югу от Сыр-Дарьи. Для этого профиля типично увеличение мощности суглинисто-глинистых отложений и возрастание толщи покровных мелкоземов в сторону от реки.

Резко отлично положение Сыр-Дарьи по отношению к аллювиальному бассейну; река здесь находится как бы у самого правого края его. Правобережный борт бассейна очерчивается очень рельефно обрывом чулей и отмечается рядом скважин, расположенных несколько западнее линии поперечника. Так, скв. № 86, 95, 90 и 18 (Узбекский гидрогеологический трест), расположенные в 10 км к югу от реки и в 5—10 км северо-западнее поперечника, под незначительной мощностью аллювия (до 100—120 м) вскрывают мощную толщу

глин или плотных суглинков, являющихся практическим водопором для аллювиального бассейна. Поперечное сечение данного разреза $8,54 \text{ км}^2$.

Наконец, на самой северо-западной окраине глубина бассейна в присырдарьинской зоне еще более уменьшается в связи с чардаринскими поднятиями.

Общее поперечное сечение бассейна в этой крайней северо-западной части резко сокращается, что ограничивает сток в Арнасайское понижение и Кызылкумы. Отмечается уменьшение гравелисто-галечного материала: водоносные горизонты представлены преимущественно мелкозернистыми песками. Показательны также более ярко выраженная слоистость отложений и отсутствие мощных песчаных толщ. Отдельные песчаные слои перемежаются достаточно мощными глинисто-суглинистыми отложениями, связанными на юго-западной окраине бассейна с пролювиальными шлейфами Туркестанского хребта. Продольный профиль бассейна показывает общую закономерность уменьшения мощности аллювиальных отложений вниз по долине Сыр-Дарьи, обусловленную миграцией русла Сыр-Дарьи на север, с одной стороны, и чардаринскими поднятиями в северо-западной части бассейна — с другой. Наибольшая мощность отложений отмечается, как и следовало ожидать, в области развития конуса выноса Сыр-Дарьи, сразу же за Беговатскими порогами. Здесь по существу мы даже не знаем точно нижней границы бассейна, так как скважины глубиной в 300 и даже 400 м не вскрыли водоупора.

Мощные суглинисто-глинистые прослои, достаточно хорошо вырисовывающиеся на продольном профиле, связаны с пролювиальными процессами и генетически в большинстве случаев относятся к отложениям правобережной подгорной равнины. Если бы мы построили еще один продольный профиль через бассейн, расположенный значительно дальше от Сыр-Дарьи, так, чтобы он характеризовал юго-западную окраину его, то мы обнаружили бы систему мощных мелкоземистых линз пролювиального генезиса, связанных уже с левобережной подгорной равниной предгорий Туркестанского хребта. Сечение продольного профиля составляет $24,06 \text{ км}^2$.

Учитывая, что в связи с орошением уровень грунтовых вод значительно поднялся и направление гидроизогипс изменилось от перпендикулярного к Сыр-Дарье (до развития орошения) до почти параллельного, по построенному продольному разрезу можно определить возможный сток подземных вод бассейна к Сыр-Дарье с левого берега. Если принять, по имеющимся данным, в среднем уклон потока к Сыр-Дарье в пределах $0,0005—0,001$ и в соответствии с гранулометриче-

ским составом песчано-гравелистых и галечных толщ коэффициенты фильтрации для различных частей бассейна принять от 0,3 до 1 мм/сек, то расход через поперечное сечение продольного профиля будет также изменяться от 12 до 30 м³/сек.

Общая емкость бассейна

После того как на каждом поперечнике были выделены контуры бассейна, установлены отдельные площади или поля, занятые гравелисто-песчаными и галечниковыми отложениями, и подсчитаны поперечные сечения по каждому разрезу, в соответствии с разрезами ближайших скважин, на карте определялась зона или площадь бассейна.

Таким образом, весь бассейн как бы разделился на отдельные отсеки, поперечное сечение которых определяется составленными профилями. Общая емкость аллювиального бассейна составила 660 км³. Если принять водоотдачу песчано-галечниковых пород равной 20—25%, то объем гравитационной воды, или статические запасы подземных вод, бассейна выразится весьма внушительной величиной — от 130 до 170 км³.

Насколько солидны эти запасы, можно судить хотя бы по такому сравнению: годовой сток двух самых мощных рек Средней Азии — Аму-Дарья и Сыр-Дарья — в Аральское море составляет 70 км³, т. е. для заполнения подобного подземного водохранилища потребовалось, чтобы Аму-Дарья и Сыр-Дарья два года сбрасывали в него воду. На самом же деле водохранилище наполнялось на протяжении всего четвертичного времени.

Следует учитывать также статические запасы подземных вод в суглинисто-глинистых слоях, менее доступных для эксплуатации, но играющих существенную роль в водно-солевом балансе бассейна и, несомненно, связанных с гравитационной водой в песчано-гравелистой толще. Для оценки этих запасов можно привести такие соображения: глинисто-суглинистые отложения в толще бассейна занимают примерно 400 км³. Учитывая значительную порозность этих отложений и насыщенность их водой, можно полагать, что запасы подземных вод в этих отложениях не менее тех, что были подсчитаны для песчано-галечникового аллювия.

При средней пористости этих толщ 45% полагаем, что гравитационной воды в них содержится не более 5%, а капиллярной и молекулярно-связанной — 40%. Тогда объем первой из них в мелкоземах составит 20 км³, а двух последних — 188 км³. Глинистые и суглинистые пласты гидравличе-

ски связывают между собой песчано-гравелистые толщи и тем самым принимают участие в общей гидродинамической жизни бассейна подземных вод. Однако роль их неодинакова: она определяется мощностью и коэффициентом фильтрации этих отложений.

Покровные мелкоземы обладают значительной водопроницаемостью. Коэффициенты фильтрации их, определенные опытными откачками, достигают нескольких метров в сутки, т. е. намного больше, чем для подобных отложений соответствующего механического состава, что обусловлено, как указывалось многими исследователями, макропористостью и структурностью покровных мелкоземов. Они достаточно хорошо пропускают токи воды снизу вверх и гасят напор водоносного горизонта в песчано-гравелистых отложениях, залегающих непосредственно под ними. Благодаря относительно хорошей водопроницаемости мелкоземов, грунтовые воды, формирующиеся в них, непосредственно связаны с водами подстилающих песчано-гравелистых слоев. Однако, вследствие неоднородности сложения покровной мелкоземистой толщи, нижние горизонты на глубине более 10—20 м, видимо, под собственным весом значительно уплотняются и, как правило, обладают значительно худшей водопроницаемостью, чем верхние слои. На контакте мелкоземов с песками встречаются глинистые прослои и линзы, происхождение которых связано, вероятно, с завершающей стадией формирования аллювиальной равнины — старицами и озерами. Этим отложениям свойственны значительно меньшие коэффициенты фильтрации; в местах их развития связь между уровнем грунтовых вод и водоносным горизонтом в песках несколько затрудняется.

Для глинистых и суглинистых слоев, залегающих в толще песчано-гравелистых отложений на значительных глубинах, отмечается общая закономерность, характерная не только для Голодной степи, но и для других районов — увеличение плотности, а следовательно, и уменьшение коэффициента фильтрации глинисто-суглинистых слоев с глубиной их залегания по разрезу.

Глава IV

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЕГО ГИДРОДИНАМИКИ

Минерализации верхнего слоя грунтовых вод, залегающих в покровных суглинках, посвящены работы многих исследователей, начиная с Н. А. Димо [22, 23]. Особенно глубоко и всесторонне закономерности формирования минерализации верхних слоев грунтовых вод были рассмотрены В. А. Ковда [30, 31], который установил принадлежность Голодной степи к провинции сульфатно-хлоридного соленакопления и детально проанализировал связи между общей минерализацией и солевым составом грунтовых вод.

Вопросы минерализации подземных вод освещены в работах А. Н. Розанова, Ю. П. Лебедева [78], М. М. Крылова, [37, 38], М. А. Панкова [62], Д. М. Каца [28] и многих других исследователей. Подробная характеристика минерализации грунтовых вод дана также в связи с разработкой проектов улучшения мелиоративного состояния земель в зоне командования Кировского канала (для узбекской части — К. Я. Опышко; для казахской — Ф. В. Тихомолов).

В последние годы большой материал по химизму подземных вод собран Узбекским гидрогеологическим трестом в связи с разрешением проблемы водоснабжения колхозов и совхозов (Г. Д. Антонова, М. Хасанов и др.).

Многочисленными исследованиями установлена значительная пестрота минерализации грунтовых вод у их зеркала, обусловленная как процессами общего соленакопления в грунтовых водах и почвогрунтах, так и развитием орошения. Существенное, но резко противоположное влияние на формирование минерализации оказывают Сыр-Дарья и местные понижения. Первая, дренируя грунтовые воды, способствует их опреснению, вторые, являясь местными испарителями, — концентрации солей. В этой связи минерализация грунтовых вод изменяется от десятых долей до многих десятков граммов на литр. Так, Д. М. Кац [28] приводит следующую характеристику химического состава грунтовых вод для отдельных геоморфологических районов.

Озерная терраса — минерализация в пределах 0,4—38 г/л; в среднем 9 г/л; $\text{SO}_4 : \text{Cl} = 2,6$.

Вторая терраса — минерализация от 0,5 до 41 г/л; в среднем 5,8 г/л; $\text{SO}_4 : \text{Cl} = 3,7$.

Шур-Узякское понижение — минерализация от 0,5 до 32 г/л; в среднем 11,1 г/л; $\text{SO}_4 : \text{Cl} = 1,1$.

Третья терраса — минерализация в пределах 0,6—48 г/л; в среднем 11,4 г/л; $\text{SO}_4 : \text{Cl} = 3,5$.

Сардобинское понижение — общая минерализация в пределах 0,7—53 г/л; в среднем 25,6; $\text{SO}_4 : \text{Cl} = 1,3$.

Таким образом, степень минерализации грунтовых вод в связи с развитием орошения для всех геоморфологических районов значительно колеблется, и только по средним показателям можно проследить некоторую тенденцию к увеличению ее в сторону от Сыр-Дарьи к Сардобинскому понижению.

Все приведенные данные относятся преимущественно к самым верхним слоям грунтовых вод, располагающихся в покровных суглинках, и совершенно не характеризуют собственно подземные воды в толще бассейна. Наша задача — выявить на основе пока еще довольно ограниченного материала закономерности изменения минерализации в толще бассейна, глубина которого, как отмечалось, достигает 300 и более метров.

С этой целью весь материал по анализам воды из глубоких скважин мы расположили соответственно по построенным нами поперечникам через бассейн подземных вод.

Профиль по линии I—I. В пределах первого поперечника (рис. 6) аллювиальный бассейн занимает небольшое место в самой восточной части. Характеристика минерализации в этой части бассейна составлена по скв. № 14. Эта скважина расположена на нижней террасе р. Сыр-Дарьи и получает воду главным образом из сохского комплекса аллювиальных отложений, с глубины 234—272 м. Однако при бурении был поставлен фильтр и в галечнике ташкентского комплекса на глубину 93—99 м. Поэтому анализ воды этой скважины характеризует в известной мере смешанную воду этих двух горизонтов, с общим плотным остатком 1040 мг/л. Вода сульфатно-карбонатная, натриево-кальциевая, со значительным содержанием магния. Все остальные скважины на рассматриваемом поперечнике расположены в пределах пролювиальной подгорной равнины и характеризуют минерализацию подземных вод в гравелисто-песчаных прослоях, являющихся для этой толщи эксплуатационными горизонтами (табл. 1).

Обращают на себя внимание относительная стабильность общей минерализации вскрываемых горизонтов — примерно около 1 г/л — и характер ее: все воды сульфатные, с преоб-

ладанием в катионной части магния, реже — натрия или кальция. Отмечается тенденция некоторого увеличения мине-

Таблица 1

Номер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерализация
14	234—272 93—99	мг/л	256,0	45,70	84,0	98,0	53,0	157,0	1040
		мг·экв	4,20	9,51	2,37	4,89	4,36	6,83	
		мг·экв %	26,12	59,14	14,74	30,41	27,11	42,48	
68	50—58	мг/л	238	606	111,0	93,0	79,0	196	1308
		мг·экв	2,90	12,62	3,13	4,64	6,50	8,51	
		мг·экв %	20,0	63,0	16,0	23,0	33,0	43,0	
69	153—159	мг/л	213,0	521,0	90	93	77	135	1070
		мг·экв	3,49	10,85	2,54	4,64	6,33	5,89	
		мг·экв %	20	63	15	27	37	34	
65	62—103	мг/л	220	335	36,0	73,0	57,0	7,3	1168
		мг·экв	3,61	6,98	1,01	2,64	4,69	3,19	
		мг·экв %	31,0	60	8,0	31,0	40,0	27	
66	95—115	мг/л	238,0	497,0	44,0	90,0	77,0	107,0	936
		мг·экв	3,90	10,35	1,25	4,51	6,32	4,67	
		мг·экв %	25,0	67	8,0	29,0	41,0	30,0	
67	110—115	мг/л	232	454	60	88,0	74,0	102,0	956
		мг·экв	3,8	9,45	1,7	4,41	6,12	4,42	
		мг·экв %	25,0	63,0	12,0	29,0	41,0	30,0	
89	128—133	мг/л	235,0	317,0	30,0	41,0	71,0	78,0	686
		мг·экв	3,85	6,60	0,85	2,05	5,84	3,39	
		мг·экв %	34,0	58,0	7,0	18,0	51,0	30,0	
73	134—142	мг/л	229,0	327,0	34,0	65,0	53,0	92,0	722
		мг·экв	3,76	6,81	0,96	3,24	4,36	4,02	
		мг·экв %	30,0	58,0	10,0	28,0	37,0	34,0	
72	90—96	мг/л	241,0	479,0	52,0	77,0	74,0	128,0	972
		мг·экв	3,95	9,97	1,47	3,84	6,09	5,56	
		мг·экв %	25,0	64,0	10,0	25,0	39,0	36,0	
71	139—151	мг/л	174,0	304,0	54,0	81,0	42,0	82,0	710
		мг·экв	2,85	6,33	1,52	3,54	3,45	3,59	
		мг·экв %	26,0	59,0	14,0	33,0	32,0	33,0	
75	87—92	мг/л	305,0	395,0	52,0	75,0	60,0	138,0	900
		мг·экв	5,0	8,22	1,48	3,75	4,96	5,99	
		мг·экв %	34,0	56,0	10,0	25,0	34,0	41,0	

П р и м е ч а н и е. В миллиграмм-эквивалентной форме выражения анализа не учтены ионы Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, NO₂, NO₃, NH₄, суммарное содержание которых не превышает 1—2%.

рализации к востоку, к границе с аллювиальным бассейном. Так, в скв. № 58 плотный остаток достигает 1308 мг/л.

Таблица 2

Номер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерализация, мг/л
8472	73-95	мг/л мг·экв мг·экв %	183,0 3,00 9,65	938,0 19,53 62,86	302,7 8,54 27,49	146,0 7,29 23,47	170,0 13,98 45,01	225,2 8,79 31,52	2032
8473	41-47 150,8-157,0	мг/л мг·экв мг·экв %	213,5 3,49 15,28	591,0 12,30 53,85	250,0 7,05 30,87	112,0 5,59 24,22	160,8 13,16 57,02	99,6 4,33 18,76	1508
8474	96-106 131-136	мг/л мг·экв мг·экв %	79,3 1,30 4,55	1139,7 23,70 83,02	126,7 3,55 12,43	171,0 8,54 29,88	115,0 9,45 33,10	243,4 10,58 37,02	1968
3	132-143	мг/л мг·экв мг·экв %	119,0 1,95 6,24	1052,0 21,49 68,76	277,0 7,81 25,0	116,0 5,79 30,0	105,0 8,63 44,60	113,0 4,91 25,40	2082
62	78-99	мг/л мг·экв мг·экв %	177,0 2,90 13,0	668,0 13,91 67,0	141,0 3,98 19,0	124,0 6,19 29,0	91,0 7,41 36,0	168,0 7,31 35,0	1374
61	150-153 160-164	мг/л мг·экв мг·экв %	73,0 1,20 2,0	350,3 72,9 95,0	89,0 2,51 3,0	4907 24,81 31,0	252,0 20,72 27,0	712,0 30,98 42,0	5331
63	78-99	мг/л мг·экв мг·экв %	165,0 2,71 12,0	761,0 15,84 70,0	144,0 4,06 18,0	131,0 6,74 29,0	930,0 7,65 31,0	195,0 8,48 37,0	1540

Профиль по линии II—II (рис. 6) дает представление о минерализации подземных вод уже на значительной части бассейна (табл. 2).

Скважины характеризуют ташкентский комплекс аллювиальных отложений в интервале глубин 40—150 м. Общая минерализация изменяется от 1374 до 2032 мг/л, т. е. для этой части бассейна она также довольно стабильна — несколько повышенная, с водами явно сульфатными, магниевыми и магниевыми-натриевыми. Любопытно некоторое увеличение ее в присырдарьинской зоне (см. анализ скв. № 8472). Краевые части бассейна вскрыты скв. № 61 и 63. Последняя только в нижних горизонтах, на глубине 100 — 150 м, дала относительно пресную воду с плотным остатком 1540 мг/л в хвостовой части Хавастского конуса выноса. Верхние горизонты не анализировались, но отмечены в отчетах гидрогеологической экспедиции как соленые.

Скв. № 61 из мелких песчаных прослоев на глубине до 164 м вскрыла воды сульфатно-натриевого типа с плотным остатком 5331.

Профиль по линии III—III. Минерализация этой части бассейна резко отличается от рассмотренных (табл. 3, рис. 6). В присырдарьинской зоне наиболее глубокие скв. № 13 и 3 вскрывают в низах ташкентского комплекса очень мягкие и пресные воды с минерализацией примерно 311 мг/л. Эти воды относятся к гидро-карбонатно-кальциевым, чем резко отличаются от вод первого и второго поперечников, а также от грунтовых вод в пределах данного разреза.

По мере удаления от Сыр-Дарьи общая минерализация нарастает. В скв. № 6у она достигает 356 мг/л, в скв. № 5у, еще западнее по профилю, — 624 мг/л, в скв. № 70—640 мг/л, в скв. № 11к—776 мг/л и, наконец, в скв. № 74—2670 мг/л. При этом меняется и тип минерализации — от карбонатных к сульфатно-карбонатным и сульфатным. В катионной части наряду с кальцием отмечается значительное количество натрия и магния.

Рассмотренная закономерность изменения степени и характера минерализации по профилю III—III типична для толщи бассейна, представленного комплексом ташкентских отложений. Для характеристики более глубоких горизонтов бассейна данных очень мало. Единственная скважина (№ 2), по которой известен анализ воды, характеризует краевую часть аллювиального бассейна сохского комплекса. Общая минерализация вод сульфатного типа составляет лишь 582 мг/л. Судя по анализу, можно полагать, что к востоку, по направлению к Сыр-Дарье, она и в этих глубоких горизонтах

Таблица 3

Номер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерализация
13	98—109	мг/л	130	76	25	32	26	22	311
		мг·экв	2,13	1,58	0,7	1,59	1,14	0,96	
		мг·экв %	48,3	35,83	15,87	43,09	30,89	26,02	
26	223—238	мг/л	67	253	91	58	33	80	582
		мг·экв	0,98	5,27	2,65	2,89	2,71	3,48	
		мг·экв %	11,12	59,32	29,56	31,82	29,85	38,33	
70	57—80,3	мг/л	195	218	95	47	29	128	640
		мг·экв	3,2	4,54	2,68	2,35	2,38	5,56	
		мг·экв %	30	44	26	23	23	54	
8452	40—45 180—185	мг/л	115,9	225	120	40	10,8	176,8	716
		мг·экв	1,84	4,68	3,38	1,99	0,89	1,68	
		мг·экв %	19	47,1	33,9	43,55	19,45	37	
74	121—145	мг/л	46	1712	134	331	137	283	2670
		мг·экв	9,75	35,6	3,79	16,52	11,57	12,33	
		мг·экв %	2	89	9	41	28	31	

должна несколько убывать и в целом воды сохского комплекса должны отличаться слабой минерализацией.

Профиль по линии IV—IV. Группа скважин в районе ст. Сыр-Дарья, пробуренных на глубину 100—215 м, характеризует уменьшение общей минерализации с глубиной — от 1820 мг/л у поверхности земли до 200 мг/л на 150—200 м. Для голодностепского комплекса отложений типичен сульфатно-натриевый характер минерализации, при плотном остатке около 500—600 мг/л; для ташкентского и сохского — карбонатно-натриевый.

С удалением от реки по профилю, так же как и для предыдущего профиля, отмечается медленное и постепенное увеличение общей минерализации и изменение характера ее. В анионной части преобладают сульфаты, в катионной — сохраняется преимущество натрия.

Краевая часть бассейна по этому поперечнику характеризуется повышенной минерализацией глубоких подземных вод до 9—11 тыс. мг/л (табл. 4); это обусловлено появлением значительного количества суглинисто-глинистых прослоев и плохой проточностью.

Профиль по линии V—V характеризует западную, окраинную, часть бассейна (рис. 6, табл. 5). Этой толще подземных вод свойственно общее повышение минерализации (плотный остаток 1200—1660 мг/л) и сульфатно-хлоридный тип засоления. В катионной части твердо преобладает натрий. Только анализ воды из скв. № 87 на глубине 250—275 м показал плотный остаток 860 мг/л при том же типе засоления. Это объясняется относительно лучшей проточностью нижних песчано-гравелистых толщ сохского комплекса отложений, продолжающихся в сторону Кызылкумов. Есть основание полагать, что в пределах профиля и к востоку от скв. № 87 на глубинах 250—270 м будут встречены воды лучшего качества, чем те, что вскрыты скважинами в ташкентском комплексе аллювиальных отложений.

Профиль VI—VI. В соответствии с характером и степенью минерализации подземных вод в толще аллювиального бассейна профиль можно разделить на три резко различающихся участка (рис. 7, табл. 6).

Для первого участка — от Беговата до скв. № 2 — типична несколько повышенная минерализация подземных вод — в пределах 1000—3600 мг/л сульфатно-натриевого типа. Иногда, особенно вблизи Сыр-Дарьи, в анионной части преобладают карбонаты (скв. № 8478) или хлориды (скв. № 9701). Анализ воды последней скважины очень своеобразен: показывает явный хлоридно-кальциевый тип минерализации.

Второй участок — между скв. № 2 и 19, занимающий центральную часть бассейна, — характеризуется слабоминера-

Таблица 4

Номер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерализация
8у	115—125	мг·л	112	36	27	28	5	40	252
		мг·экв	1,84	0,75	0,76	1,39	0,41	1,74	
		мг·экв %	54,92	22,39	22,69	39,27	11,58	49,15	
10 518	0 — 67 90—147	мг·л	152,95	209,81	73,94	62,04	22,28	92,64	558
		мг·экв	2,61	4,35	2,08	3,09	1,82	4,03	
		мг·экв %	28,9	48,1	23	34,6	20,4	45	
1	120—125 130—145 210, 165, 190	мг·л	95,8	31	9,5	22	4,3	36	200
		мг·экв	1,6	0,65	0,205	1,76	0,35	0,95	
		мг·экв %	65,2	26,4	8,4	57	11,4	31,6	
9714	105—115	мг·л	115,9	131	71	34	25,2	65,5	432
		мг·экв	1,895	2,73	2,002	1,697	2,064	2,848	
		мг·экв %	28,59	41,19	30,22	28,25	34,36	37,39	
10 027	92—106	мг·л	109,8	156	156	30	28,8	128	632
		мг·экв	1,803	3,23	4,4	1,497	2,368	5,57	
		мг·экв %	19,12	34,24	46,64	15,87	25,10	59,03	

Н мер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерали- зация
10 026	72—106	мг·л	109,8	235	21	60	16,8	66,9	520
		мг·экв	1,8	4,89	0,59	2,99	1,38	2,9	
		мг·экв%	24,7	67,2	8,1	41,2	18,95	39,85	
9721	130—140	мг·л	65,4	1080	517	140	103,2	592,9	2696
		мг·экв	1,07	22,5	17,4	6,899	8,47	25,74	
		мг·экв%	2,68	56,2	42,22	17	20,6	62,4	
9712	116—130	мг·л	91,5	259	207,3	70	24	178,2	920
		мг·экв	1,5	5,39	5,84	3,49	1,97	7,75	
		мг·экв%	11,75	42,4	45,85	26,4	14,92	58,68	
9722	113—135	мг·л	128	329	1782	300	294	187,68	3172
		мг·экв	2,1	6,85	50,26	14,97	24,18	8,16	
		мг·экв%	3,55	11,57	84,88	31,64	51,11	17,25	
9706	110—125	мг·л	122	2304	2315	220	324	1783,7	7364
		мг·экв	2	47,9	65,2	10,98	26,64	77,5	
		мг·экв%	1,7	41,75	56,65	9,4	23,2	67,4	
7711	109—123,7	мг·л	122	358	234	22	45,6	257,5	1044
		мг·экв	2	7,45	6,6	1,09	3,75	21,2	
		мг·экв%	12,46	46,42	41,12	6,79	23,38	69,83	

Таблица 5

Номер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерализация
81	84—110	мг·л мг·экв мг·экв %	152 2,49 12	597 12,43 61	198 5,59 27	75 3,79 18	58 4,77 23	226 11,56 57	1356
80	80—106	мг·л мг·экв мг·экв %	137 2,25 9	686 14,29 61	248 7 30	83 4,14 18	68 5,59 24	316 13,76 58	1500
84	85—125	мг·л мг·экв мг·экв %	128 2,1 12	386 8,04 47	248 7 41	78 3,89 23,2	43 3,54 21	215 9,35 55,8	1076
82	75,4—135	мг·л мг·экв мг·экв %	146 2,39 12	467 9,72 48	291 8,21 40	95 4,74 23	46 3,78 19	269 11,72 58	1258
83	83,5—113	мг·л мг·экв мг·экв %	134 2,2 10	496 10,32 50	294 8,29 40	60 4,93 24	57 2,84 14	248 12,94 62	1298
85	104—116 120—125	мг·л мг·экв мг·экв %	110 1,8 10	424 8,83 49	262 7,39 41	53 2,64 15	54 4,44 25	252 10,94 60	1165
87	250—275	мг·л мг·экв мг·экв %	207 3,39 24	237 4,94 36	198 5,59 40	32 1,6 11	18 1,48 11	240 10,84 78	872

Таблица 6

Номер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерализация
14	93—99 234—272	мг·л	256,0	45,7	84	98	53	157	1040
		мг·экв	4,2	9,51	2,37	4,89	4,36	6,83	
		мг·экв %	26,12	59,14	14,74	30,41	27,11	42,48	
9701	83,9—95,05	мг·л	146,4	146	753	660	120	461,6	3603
		мг·экв	2,39	3,04	21,24	32,94	9,87	20	
		мг·экв %	8,96	11,4	79,64	52,44	15,72	31,84	
8473	41—47 150,8—157,0	мг·л	213,5	591	250	112	160,8	99,6	1508
		мг·экв	3,49	12,3	7,05	5,59	13,16	4,33	
		мг·экв %	15,28	53,85	30,87	24,22	57,02	18,76	
8478	93—99 103,28—122,45 123,45—133,6	мг·л	317,2	123,4	102,1	45,9	42,5	111,9	592
		мг·экв	5,2	2,56	2,87	2,29	3,49	4,87	
		мг·экв %	48,93	24,08	26,99	21,5	32,77	45,73	
7984	102,5—106,5 128,8—141,0	мг·л	225,7	399	179,5	64,6	60	204,8	1032
		мг·экв	3,7	8,31	5,06	3,22	4,93	8,86	
		мг·экв %	21,68	48,68	29,64	18,94	28,98	52,08	
70	57—80	мг·л	195	218	95	47	29	128	640
		мг·экв	3,2	4,54	2,68	2,35	2,38	5,56	
		мг·экв %	30	44	26	23	23	54	
5у	30—80	мг·л	171,2	192,3	73,5	50	12,7	123,2	576
		мг·экв	2,82	4	2,07	2,49	1,04	5,36	
		мг·экв %	31,7	45	23,3	27,8	11,2	61	
8469	83—95	мг·л	134,2	111,1	42,2	29,2	12,5	74,3	352
		мг·экв	2,2	2,31	1,19	1,46	1,03	3,31	
		мг·экв %	38,6	40,52	20,88	25,17	17,76	57,07	

Номер скважины	Глубина взятия пробы, м	Единица измерения	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Общая минерализация
13 к	98,2—109,6	мг·л мг·экв мг·экв %	130 2,13 48,8	76 1,582 35,2	25 0,705 16	32 1,595 34,45	26 2,135 45,5	22 0,957 20,05	320
9714	105—115	мг·л мг·экв мг·экв %	115,9 1,895 28,59	131 2,73 41,19	71 2,002 30,22	34 1,697 28,25	25,2 2,064 34,36	65,5 2,848 37,39	432
10 026	72—106	мг·л мг·экв мг·экв %	109,8 1,8 24,7	235 4,89 67,2	21 0,59 8,1	60 2,99 41,1	16,8 1,38 18,95	66,9 2,9 39,95	520
9716	110—117	мг·л мг·экв мг·экв %	115,9 1,895 6,25	716 14,91 49,75	469 13,2 44	60 2,995 9,96	110,4 9,05 30,04	412,9 17,96 60	2032
83	83,5—113	мг·л мг·экв мг·экв %	134 2,2 10	496 10,32 50	294 8,29 40	60 4,93 24	57 2,84 14	248 12,94 62	1288
90	117—126	мг·л мг·экв мг·экв %	104 1,71 2	1852 38,5 51	1285 36,1 47	220 10,98 15	271 22,29 29	987 42,93 56	4968
91	82—128	мг·л мг·экв мг·экв %	146 2,39 7	866 18,03 53	485 13,68 40	73 3,63 11	108 8,88 26	495 21,52 63	2210
86	40—77	мг·л мг·экв мг·экв %	195 3,19 7	1409 29 63	500 14,1 30	115 5,74 12	112 9,21 20	727 31,63 68	3100

лизированными водами, с плотным остатком от 300 до 600—700 мг/л. Во всех случаях преобладает SO_4 , затем — Cl . В катионной части наибольшее значение имеет натрий, второстепенное — магний, реже — кальций. Для этого участка отмечается явная тенденция к понижению минерализации с глубиной.

Третьему участку, самому западному, свойственно резкое увеличение минерализации, видимо, вследствие уменьшения проточности бассейна, обусловленное как понижением мощности аллювиальных отложений, так и удалением от дренирующего тракта р. Сыр-Дарьи. По анализам воды скважин минерализация составляет 2229—4700 мг/л, причем наблюдается тенденция к увеличению ее с глубиной. Характер засоления сульфатно-хлоридный в анионной части и натриево-магниевый, реже — натриево-кальциевый — в катионной.

Рассмотрев закономерности изменения минерализации подземных вод в толще бассейна, можно сделать следующие выводы.

1. Выделяется юго-восточная часть бассейна, прилегающая к району Беговата, с повышенной минерализацией примерно 1—3 г/л, преимущественно сульфатно-натриевого типа.

Область развития этих вод довольно значительна; можно предполагать, что она связана с поступлением подземных вод из Ферганской котловины, западная часть которой сильно засолена. Эти поступления могут происходить как по галечно-песчаным отложениям левобережной подгорной равнины, так и по зонам крупных тектонических разломов, затрагивающих глубинные горизонты подземных вод и являющихся в известном роде коллекторами их. Этим, в частности, можно объяснить столь неожиданное сочетание различных типов минерализации подземных вод в этой части бассейна, например наличие хлор-кальциевых вод.

2. Резкое изменение степени и характера минерализации глубинных подземных вод бассейна в районе скв. № 17, 13, 3 и других по линии поперечника III—III, а также анализ литологического строения наводят на мысль о существовании значительного притока по древним галечно-песчаным слоям ташкентского и сохского комплексов на участке между долиной Геджигена и современной долиной Ангрена.

3. В районе четвертого профиля, против устья Чирчика, анализ гидрогеологических и литологических данных позволяет установить участок наиболее интенсивного дренажа р. Сыр-Дарьей бассейна подземных вод.

4. Западная окраина бассейна в пределах толщи ташкентского комплекса отложений характеризуется повышенной минерализацией вследствие плохой проточности и дренированности. Есть основание ожидать, что более пресные воды в этой части бассейна могут быть получены из комплекса сохских аллювиальных отложений.

Глава V

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ И БАЛАНСА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Методика

В гидрогеологической практике насчитывается более 15 методов расчета динамических запасов подземных вод [83]. Однако ни один из них не может дать нам достаточно обоснованного решения вопроса о динамических запасах подземных вод такого крупного и сложного подземного водохранилища, каким является Голодностепский аллювиальный бассейн. Так, определение динамических запасов по коэффициенту водоотдачи ведется по формуле

$$Q_d = \mu V_d,$$

где Q_d — динамические запасы гравитационной воды, м^3 ;

μ — коэффициент водоотдачи;

V_d — объем воды выше самого низкого уровня подземных вод (по среднегодовым данным).

Этот метод позволяет подсчитывать запасы подземных вод на любой по величине площади, если имеются карты гидроизогипс и графики колебания уровня грунтовых вод. Но он дает правильные результаты лишь для слабодренированных областей избыточного увлажнения, для которых испарением практически можно пренебречь.

К методам региональной оценки динамических запасов относятся также следующие:

а) по инфильтрации атмосферных осадков $Q = \alpha x F$,

б) по инфильтрации поверхностных вод $Q = Q'_p - Q_p$,

где Q — запасы подземных вод за счет просачивающейся воды, $\text{м}^3/\text{сутки}$;

α — коэффициент инфильтрации атмосферных осадков [изменяется в пределах 0,2 до 0,9, обычно 0,2—0,4];

x — годовое количество осадков, мм ;

F — площадь питания водоносного горизонта, км^2 ;

Q'_p — расход поверхностного водотока (реки, канала) выше области просачивания, $\text{м}^3/\text{сутки}$;

Q_p — то же, ниже области просачивания, $м^3/сутки$.

Этот метод может дать хорошие результаты лишь в определенных гидрогеологических условиях, например в пределах галечниковой части конуса выноса.

Определение запасов подземных вод по модулю подземного стока

$$Q = 86,4 MF,$$

где Q — запасы подземных вод, $м^3/сутки$;

M — модуль подземного стока, $л/сек \cdot км^2$;

F — площадь области питания водоносного горизонта, $км^2$.

В условиях гидрогеологических бассейнов Узбекистана этот метод может быть применен, например, для расчета притока подземных вод в бассейн из горной области [75].

Другие методы определения запасов подземных потоков — по элементам, поверхностному стоку, радиусу влияния колодца, полосе питания, способу удельного дебита, по Малишевскому, методу депрессионных воронок и другие — применяются для обоснования местного водоснабжения за счет подземных вод и могут дать лишь частные характеристики для сравнительно небольших участков гидрогеологических структур.

Заслуживает внимания разработанные Б. И. Куделиным [39] методы региональной оценки запасов грунтовых и артезианских вод путем расчленения гидрографа реки по генетическим видам питания (для грунтовых вод) и изучения среднего многолетнего водного баланса области питания или разгрузки для артезианских бассейнов. Однако, как показывает наш опыт, в условиях сложных гидрогеологических структур Средней Азии, при широком развитии орошаемого хозяйства и большом влиянии испарения и транспирации, метод расчленения гидрографа реки не дает достаточно полной картины для определения запасов грунтовых вод, во многих случаях и вообще неприемлем.

Чрезвычайно сложно также применение в наших условиях метода изучения среднего многолетнего водного баланса области питания или области расходования, особенно в тех случаях, когда артезианские воды находятся в пестрой толще континентальных четвертичных и верхнетретичных отложений. В качестве примера можно указать Ферганскую долину, Приташкентский район и некоторые другие, где области питания и разгрузки обособлены недостаточно четко. Поэтому для региональной оценки динамических запасов подземных вод гидрогеологических бассейнов Узбекистана

мы используем комплексный метод, или метод встречных анализов. Он основан на сочетании и взаимной проверке расчетов разными способами (геоструктурный, литологический, гидрогеолого-аналитический и балансовый анализы) в определенной последовательности, с учетом ирригационно-хозяйственных условий того или иного оазиса.

Геоструктурный анализ. На основании анализа выделяются такие крупные гидрогеологические бассейны, как Ферганский и Голодностепский (вместе с Приташкентским оазисом). При этом границы бассейна могут совпадать или не совпадать с орографическими границами данной структурной единицы.

Рассмотрение геологического строения бассейна путем составления нескольких поперечных и продольных гидрогеологических разрезов через структуру его позволяет выделить верхний ярус подземных вод. За нижнюю границу его принимаются регионально развитые, плотные, большой мощности, практически водоупорные глины неогена, а в некоторых случаях и палеогена.

Таким образом, верхний ярус подземных вод определяется комплексом водоносных горизонтов, залегающих в толще континентальных отложений четвертичного, а иногда и третичного возраста. Эта толща мощностью в сотни метров состоит из перемежающихся слоев суглинка, песка, галечника, гравия, глин, генетически представляющих собой отложения временных и постоянных водных потоков, стекающих с горных массивов, и не имеет хорошо выдержанных региональных водоносных горизонтов. Все эти горизонты, как правило, характеризуются местным развитием и часто перемежаются, выклиниваясь в пространстве. Тем не менее обычно толща не содержит также и хорошо развитых региональных водоупоров; отдельные водоносные горизонты разделяются между собой полу- или слабопроницаемыми суглинками, супесями, реже — глинами. Поэтому вся толща подземных вод верхнего яруса в известной мере гидравлически связана и представляет единый как бы подземный резервуар, или подземное водохранилище.

Таким образом, геоструктурный анализ дает возможность определить общую емкость крупного бассейна, т. е. статические запасы его подземных вод.

Литолого-геоморфологический анализ. По этому анализу выделяются частные бассейны и потоки подземных вод, например в Голодностепском гидрогеологическом бассейне; Голодностепский аллювиальный бассейн по левобережью Сыр-Дарьи, Чирчик-Ангренский аллювиальный поток, потоки подземных вод предгорной равнины Туркестанского хребта. Опре-

деляется емкость каждого из этих частных бассейнов и потоков; это позволяет уточнить общую емкость всего бассейна (статические запасы).

Гидрологический анализ. Этим методом можно анализировать модули поверхностного стока, что особенно важно для установления подземного притока из горных областей, например в Ферганскую котловину. Определяется также подземный сток в реки в условиях межгорных впадин и котловин. Основные водные магистрали, такие как Сыр-Дарья в Ферганской котловине и Голодной степи, являются коллекторами подземных вод, и анализ гидрографа этих рек вместе с гидрометрическими определениями притока дает приближенные величины подземного стока из котловины через магистральную реку.

Гидрогеологический анализ. По этому методу вычисляются скорости движения подземных вод, модули подземного стока, пропускная способность водоносных толщ и анализируется гидрохимия потоков и бассейнов.

Анализ ирригационно-хозяйственных факторов определяет роль инфильтрационных оросительных вод в питании подземных вод, сток их в дренажные сооружения и расход на транспирацию растениями.

Постатейный анализ водного баланса. Подготовительными операциями к нему служат три предыдущих анализа. Этот метод позволяет установить динамические и эксплуатационные запасы подземных вод; последние определяются на основании прогнозного баланса.

По предложенному методу расчета можно наиболее достоверно определить емкость крупных подземных водохранилищ, естественные или динамические запасы и выделить ту часть этих запасов, которая может быть использована в народном хозяйстве наиболее целесообразно и экономически оправдана. При этом вводится понятие зарегулированности эксплуатационного расхода — отношение эксплуатационных запасов к статическим. Естественно, что чем меньше это отношение, тем надежнее эксплуатация подземного водохранилища.

Если говорить о статических запасах подземных вод или о емкости водохранилища, то здесь точность расчетов определяется, собственно говоря, изученностью строения бассейна, его литологии, коэффициентов фильтрации и водоотдачи водовмещающих толщ.

Мы рассмотрели литологическое строение подземного водохранилища и его гидрохимическую картину, которая в известной мере отражает гидродинамику. Попытаемся теперь подойти к более конкретному освещению различных сторон жизни подземного водохранилища.

Схема гидроизопъез бассейна

Составить сколько-нибудь точную карту гидроизопьез песчано-галечниковых толщ Голодностепского аллювиального

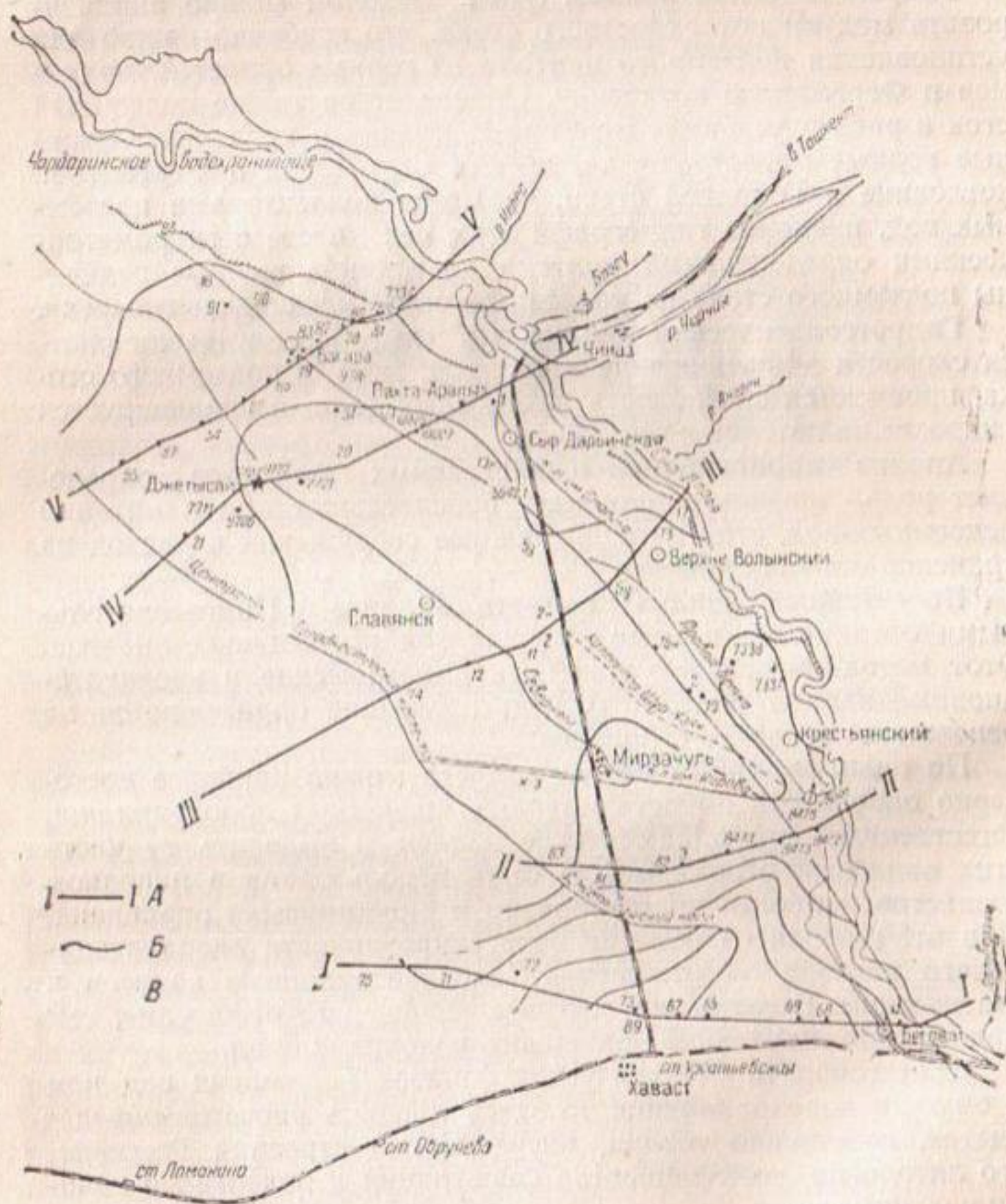


Рис. 8. Схема гидроизопьез по глубоким скважинам для аллювиального бассейна, 1957 г. (масштаб 1:1000 000).

А — линия гидрогеологических разрезов; Б — гидроизопьезы сечением через 10 м; В — номер буровой скважины.

бассейна пока не представляется возможным, так как по существу имеются лишь разрозненные данные о статических

уровнях подземных вод в момент окончания бурения скважин, т. е. в самые различные сроки.

Никаких систематических наблюдений или даже единовременных разовых замеров статических горизонтов по всем скважинам пока не проводилось. Пользуясь имеющимся материалом, мы смогли составить лишь схему, на которой показали гидроизопьезы сечением через 10 м, считая, что возможные неточности, связанные с естественным колебанием пьезометрических напоров по отдельным скважинам, амплитуда которых вряд ли превышает 2 м, будут сглажены, и общий характер распределения гидроизопьез будет достаточно хорошо выявлен.

Схема получилась весьма выразительной: резкое падение пьезометрических напоров в южной части бассейна (между гидрогеологическими поперечниками I—I и II—II), с отметок 310 до 270 м (рис. 8).

Центральная, большая, часть бассейна характеризуется пьезометрическими напорами, укладывающимися между отметками 270—260 м. На северо-западной окраине бассейна намечается пологий сток с падением напоров до 250 м.

Схема еще раз указывает на общность вод всего бассейна, в частности на существование гидравлической связи между крупными ирригационными каналами, грунтовыми водами в суглинках и подземными водами в песчано-галечниковых отложениях.

Баланс подземных вод до орошения

Естественный приток

В Голодной степи имеются два самостоятельных обособленных потока — южный, связанный с предгорьями Туркестанского хребта, и северный, направленный вдоль Сыр-Дарьи, в области рассмотренного бассейна (рис. 9).

Теперь уже доказано, что южный поток в грубообломочных отложениях подгорных равнин отделен от аллювиального бассейна мощной толщей пролювиального мелкозема, являющегося как бы земляной плотиной, запирающей, с одной стороны, потоки южных предгорий Туркестанского хребта, а с другой — юго-западную границу бассейна.

Поэтому совершенно очевидно, что при рассмотрении годового баланса подземных вод поступлениями в бассейн с юга можно пренебречь, т. е. считать, что они сосредоточены в восточной и северо-восточной частях бассейна.

В связи с молодыми тектоническими поднятиями в юго-восточной части Голодной степи не может быть сколько-ни-

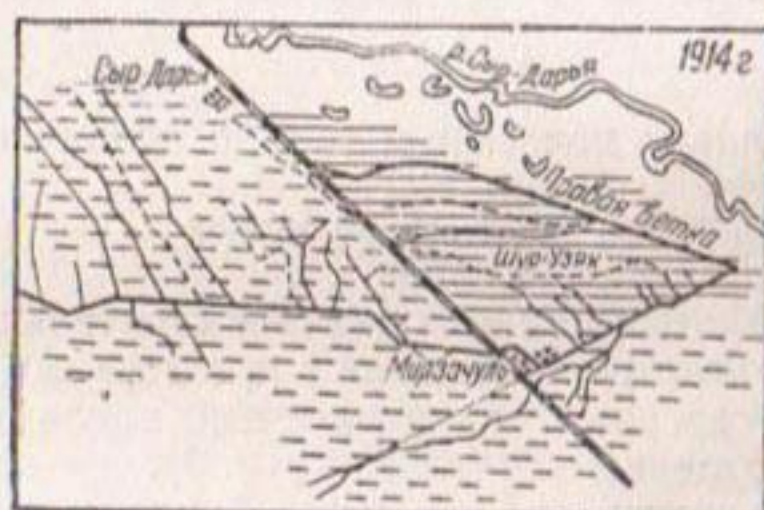
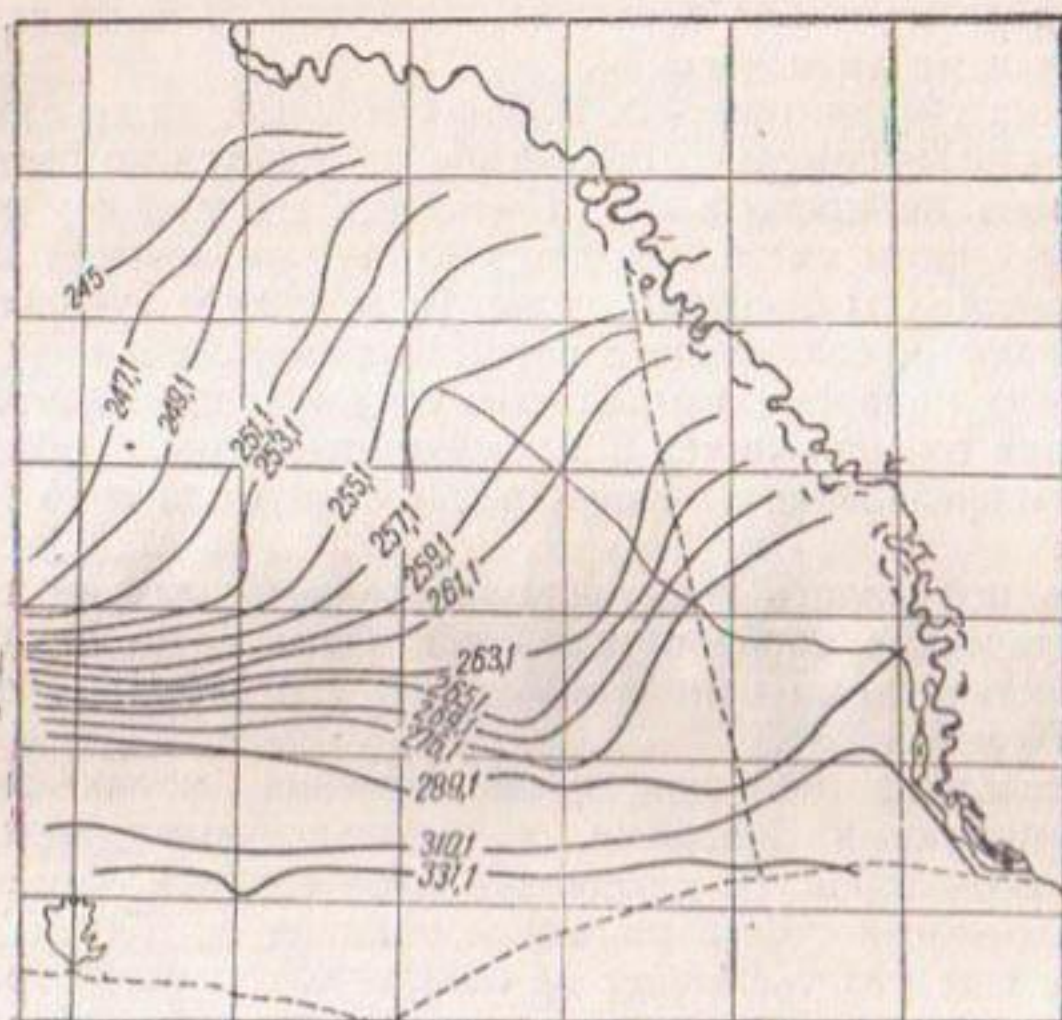


Рис. 9. Схема гидроизогипс (а) и глубин залегания (б) до развития орошения Голодной степи (по Г. К. Ризенкампу).

Будь существенного питания подземных вод, несмотря на то, что гравелисто-галечниковые части конусов выноса предгорий Туркестанского хребта смыкаются здесь с аллювием Сыр-Дарьи.

Однако распределение минерализации в восточной части бассейна и резкое падение напоров со стороны Ферганской долины на запад, в районе Беговата, заставляет предполагать о поступлении глубинных подземных вод со стороны Ферганской долины. По приближенной оценке возможные поступления могут составить примерно 10—15 м³/сек.

Наряду с этим притоком подземных вод повышенной минерализации имеется еще более мощное поступление пресных подземных вод со стороны правобережной равнины, связанное как с конусом выноса самой Сыр-Дарьи, так и с потоком в аллювиальных отложениях рек Ангрена и Чирчика.

Наличие отложений чирчикских и ангренинских галечников в нижних слоях аллювиального бассейна было обнаружено еще при бурении первых скважин для водоснабжения поселков Сыр-Дарьинского, Велико-Алексеевского, совхоза «Пахта-Арал» и описано М. М. Крыловым [38]. Им же была высказана мысль о наличии постоянного питания пресными подземными водами Чирчик-Ангренского аллювиального потока глубинных горизонтов Голодной степи.

Действительно, правобережная равнина, примыкающая к Сыр-Дарье, сложена мощными галечниками, которые только на высоких террасах покрыты лессами. Как показали электрозондирование (проведенное Узбекской гидрогеологической экспедицией в 1952 г.) и буровые работы (особенно Пастбищно-мелиоративно-строительного треста), мощность водоносных галечников достигает 300 м. Толща галечников включает прослойки суглинков и глин, иногда значительной мощности. Общее поперечное сечение и скорости движения подземных вод правобережного потока свидетельствуют о значительных расходах воды, достигающих 70—80 м³/сек.

На пути этого потока находится крупная дрена — р. Сыр-Дарья. До сих пор не удавалось получить достаточно подробный и бесспорный материал для оценки дренирующей роли Сыр-Дарьи.

Н. Н. Биндеман при экспертизе мелиоративной части проекта Голодной степи в марте 1957 г. отметил, что Сыр-Дарья, являясь гидравлической границей бассейна, полностью изолирует подземные воды Голодной степи от правобережных потоков. Однако схемы глубин залегания грунтовых вод и гидроизогипс (рис. 9, а, б) свидетельствуют об обратном. Особенно примечательна первая карта (рис. 9, б): она показывает область близкого залегания грунтовых вод во всей зоне бассейна, примыкающей к Сыр-Дарье от впадения р. Чирчик и выше. На западе эта зона только немного заходит за линию ж. д. Сыр-Дарья — Урсатьевская, а на юге граничит с Кировским магистральным каналом.

Имеющийся сейчас материал по разведочному бурению позволяет пока приближенно рассчитать величину возможного поступления подземных вод в Голодную степь со стороны правобережной равнины.

По гидрогеологическим условиям весь отрезок р. Сыр-Дарьи, от Беговата до Чардары, можно разделить на четыре резко различные части: 1) от Беговата до сел. Крестьянского, 2) от сел. Крестьянского до впадения р. Ангрен, 3) от устья р. Ангрен до устья р. Чирчик и 4) ниже Чиназа до Чардары.

Каждый из этих участков характеризуется значительным разнообразием местных гидрогеологических условий. Однако каждому из них присуще определенное соотношение между подземным потоком правобережной предгорной равнины, р. Сыр-Дарьей и Голодностепским аллювиальным бассейном. Для первого и третьего участков (поперечники II и IV, рис. 6 и 7) характерно наличие большой толщи галечников, лишенных сколько-нибудь значительных прослоев суглинков и глин. Здесь Сыр-Дарья, занимая наинизшее положение, является своего рода гидравлическим водоразделом между Голодностепским аллювиальным бассейном и правобережным потоком, принимая в себя воды и одного и другого.

Как известно, в однородной среде влияние дрены распространяется равномерно по всему периметру ее; если же среда неоднородна, то больше в ту сторону, где грунты более проницаемы.

Депрессия грунтовых вод к р. Сыр-Дарье распространяется на расстояние более 1 км, хотя верхние слои, в которых располагается уровень их, представлены менее проницаемыми породами, чем залегающая под рекой галечно-песчаная толща. Поэтому есть все основания полагать, что при ширине современной долины 1 км и мощности водоносной песчано-гравелистой толщи 300 м дренирующее действие реки полностью подчиняет себе весь поток и может распространиться значительно глубже. Схема распределения линий токов (рис. 10) показывает, что на этих участках никаких поступлений в пределы рассматриваемого аллювиального бассейна не может быть. Это положение, с одной стороны, подтверждается схемой рис. 9, б, а с другой — объясняет ее.

В самом деле, не случайно граница близкого залегания грунтовых вод (от 2 до 5 м) проходит вдоль линии ж. д. Сыр-Дарья — Мирзачуль. К западу от нее, против «впадения» мощного аллювиального потока подземных вод р. Чирчик, зеркало грунтовых вод резко понижается, несмотря на то, что галечники явно чирчикского происхождения прослеживаются по разрезам скважин значительно западнее, в центре Голодностепского бассейна, на всей территории совхоза «Пахта-Арал»

и во всяком случае — до Кировского магистрального канала. Увеличение же глубин залегания грунтовых вод в этой зоне свидетельствует о том, что существенного пополнения под-

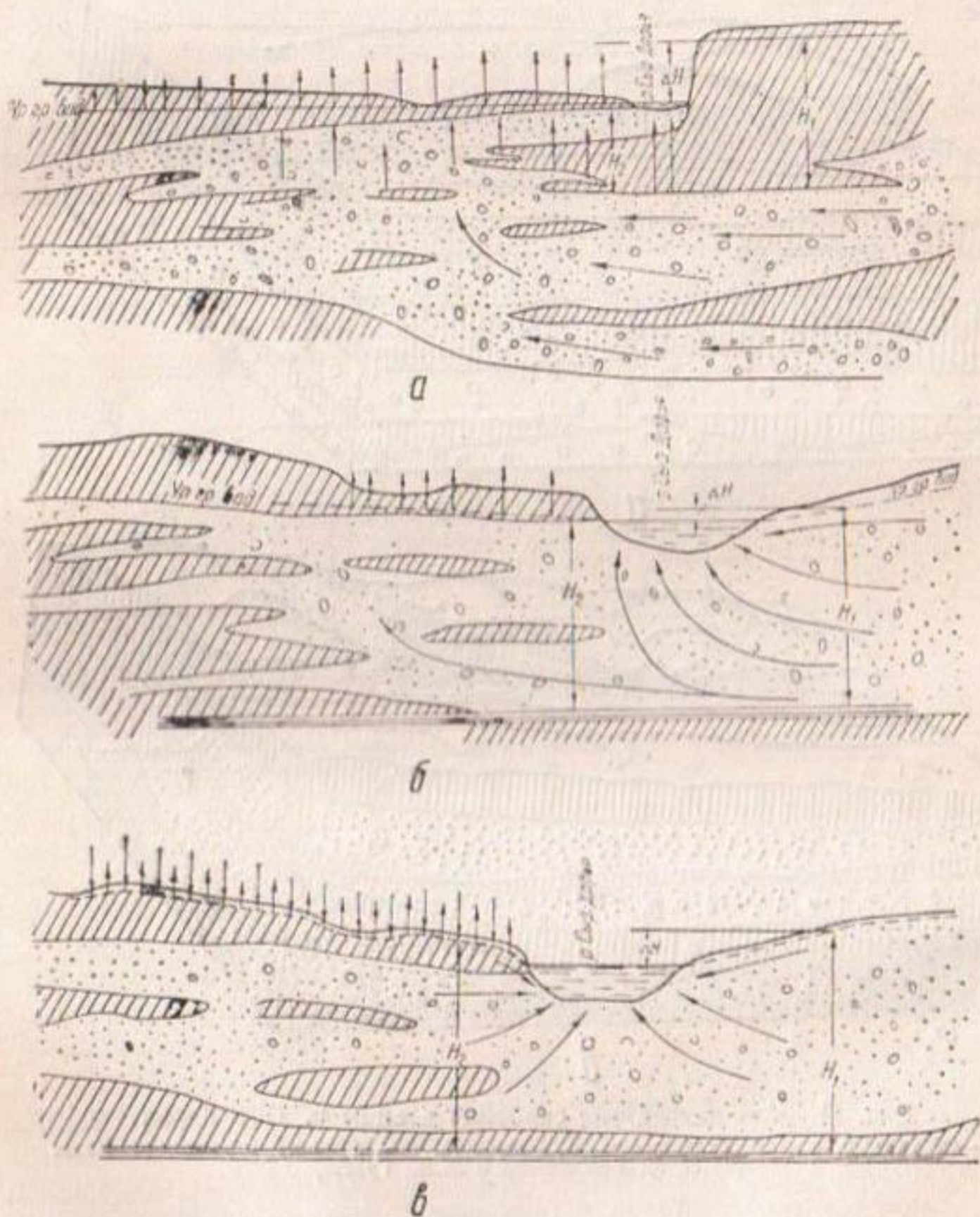


Рис. 10. Схема движения подземных вод к р. Сыр-Дарье.
 а — в створе Ак-Курган — Мирзачуль до развития орошения; б — в створе Чиназа до развития орошения; в — в створе Чиназа после развития орошения.

земные воды глубинных горизонтов здесь уже не получают; схема гидроизогипс 1914 г. (рис. 9) подтверждает это поло-

жение и характеризует медленный сток подземных вод на северо-запад вдоль долины Сыр-Дарьи.

Гидрогеологические условия четвертого участка реки (рис. 11, б) таковы, что нет никаких оснований ожидать сколько-

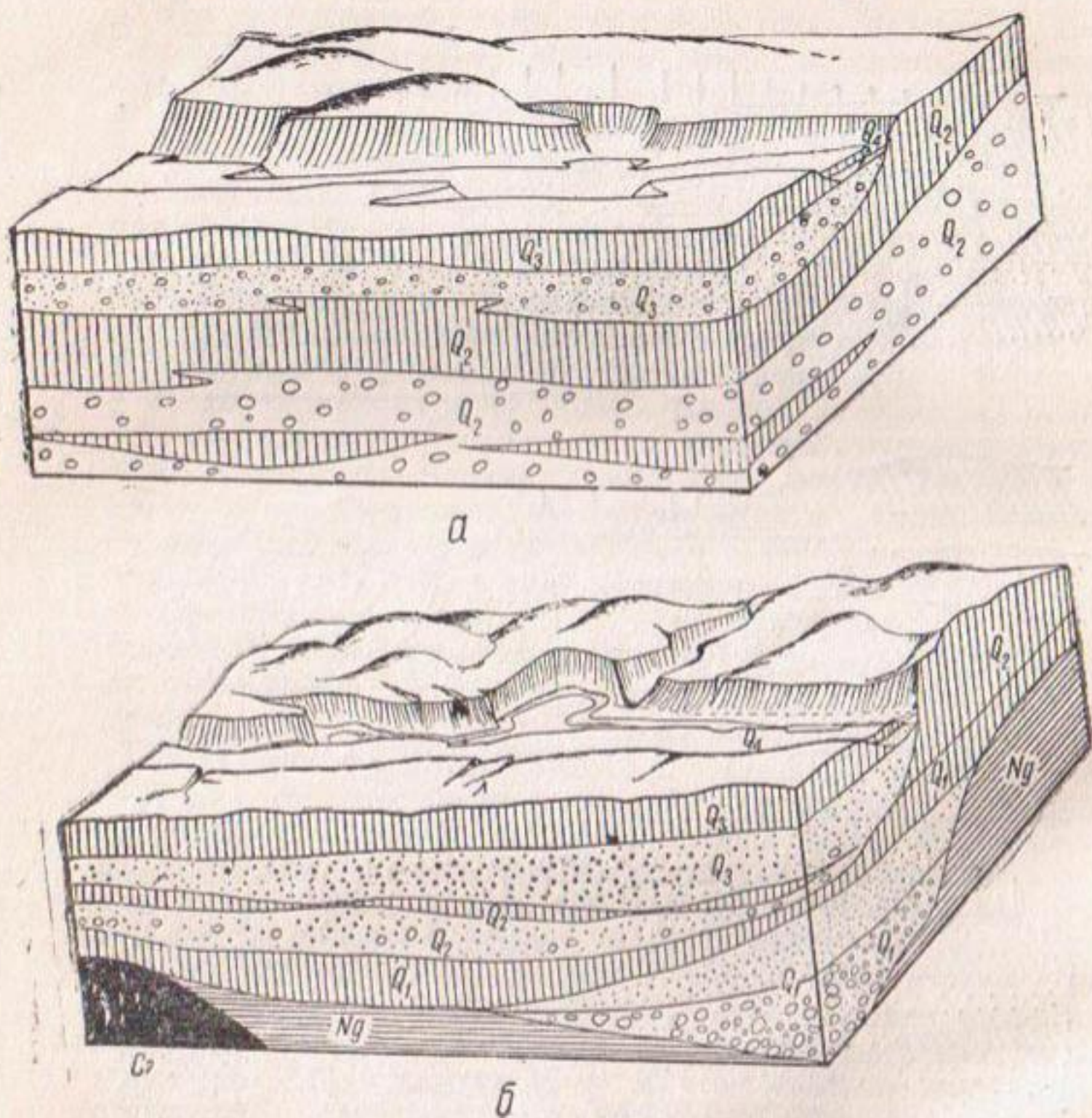


Рис. 11. Блок-диаграммы строения долины р. Сыр-Дарьи.

а — на участке между Гелжигеном и Ангреном, б — в районе впадения р. Келес (по Н. М. Решеткиной и В. Б. Гуссак).

нибудь существенных пополнений не только в бассейн подземных вод, но и в Сыр-Дарью за счет притока с правого берега, так как этот участок практически безводен.

Совсем иначе дело обстоит на втором участке — между сел. Крестьянским и устьем р. Ангрен (рис. 11, а, 10, а и б). Для этого участка типична относительно небольшая мощность

молодого аллювия Сыр-Дарьи, врезанного в мощные лессовидные толщи ташкентской террасы. Под лессами залегают галечники, питание подземных вод которых связано с водами подземного потока в древнем Чирчик-Ангренском аллювии. Скважинами Пастбищно-мелиоративно-строительного треста в Букинском и Ак-Курганском районах в 1957 — 1958 гг. вскрыты в этих галечниках самоизливающиеся пресные воды, хорошего качества и большого дебита (уже имеется более 20 скважин с дебитами 20—40 л/сек), наличие которых там ранее даже не предполагалось, так как считалось, что галечники высоких террас полностью дренируются Сыр-Дарьей.

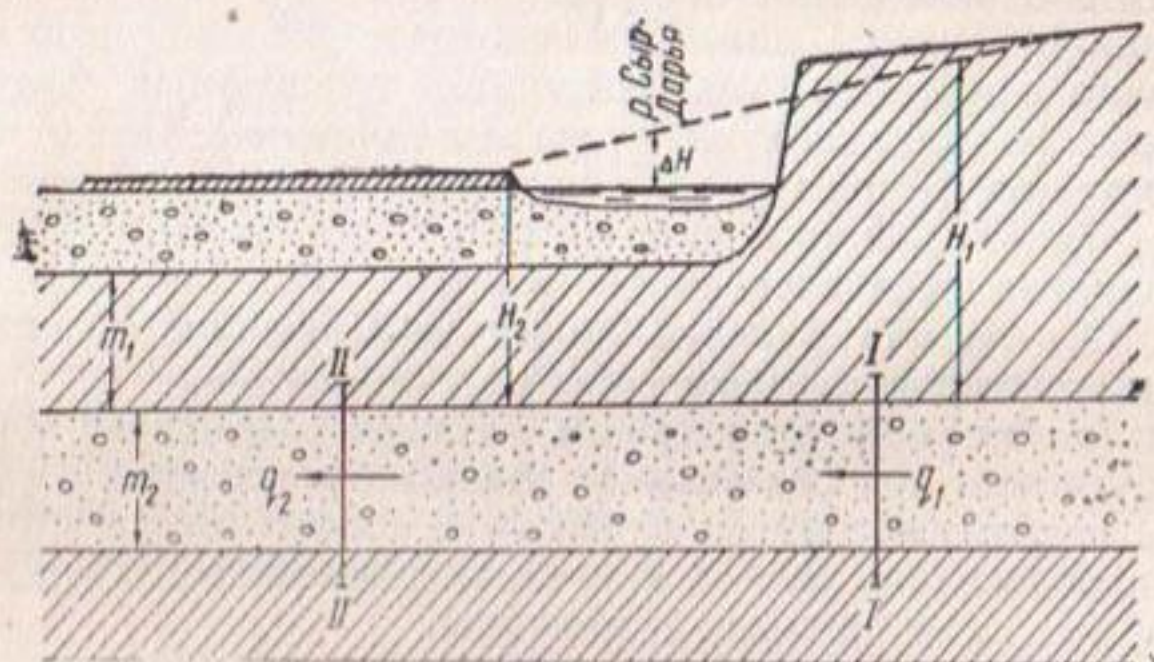


Рис. 12. Схема притока подземных вод в р. Сыр-Дарью с правого берега.

На левом берегу, в районе пос. Крестьянского, в нескольких скважинах давно уже получены самоизливающиеся воды из песков и гравия, залегающих под плотными суглинками.

Итак, анализ особенностей строения долины р. Сыр-Дарьи позволил выделить определенный участок, на котором происходит питание аллювиального бассейна за счет правобережного подземного потока.

Основываясь на теории напорного комплекса и схематизируя строение долины Сыр-Дарьи, можно приближенно подойти к оценке дренирующей роли реки и, таким образом, количественно определить питание Голодностепского аллювиального бассейна за счет правобережного потока (рис. 12).

В самом деле если бы галечники были перекрыты абсолютно водонепроницаемыми породами, то весь поток подземных вод полностью поступал бы в Голодную степь. Однако покровные суглинки обладают водопроницаемостью (хотя и относительно небольшой), благодаря которой в слое галеч-

ников могут возникать вертикальные скорости фильтрации и потери части расхода на восходящую фильтрацию в области пониженного напора современной долины Сыр-Дарьи.

Рассмотрим движение подземных вод в галечниковом пласте II, считая его на данном отрезке времени установившимся и плоскопараллельным (рис. 12).

На участке правого берега в отдалении от реки таких потерь нет, так как уровни грунтовых вод и пьезометрических напоров галечникового горизонта совпадают. Так обстоит дело на неорошаемых землях. Там, где имеется орошение и грунтовые воды поднимаются за счет инфильтрации поверхностных вод, возникают нисходящие токи в суглинках, и галечниковый пласт II получает некоторое питание сверху. По дну долин и оврагов, расчленивающих предгорную равнину, грунтовые воды расходуются на выклинивание, испарение и транспирацию. В связи с этим уровень грунтовых вод там несколько понижен, и последние на этих участках получают подпитывание за счет восходящих токов из галечникового пласта II. Однако эти явления имеют ограниченное развитие и для приближенного расчета могут не учитываться.

Считая, что непосредственное влияние Сыр-Дарьи на зеркало грунтовых вод сказывается лишь на расстоянии 1—2 км, можно, используя данные скважин и схематизируя строение долины, подсчитать расход потока, подходящего к Сыр-Дарье со стороны Кок-Аральской равнины.

Если принять, что средняя мощность галечниково-песчаной толщи составляет 150 м (при общей мощности разреза 300 м), падение пьезометрического напора в среднем 0,01, а коэффициент фильтрации 1 мм/сек, то на 1 пог. км фронта потока получим единичный расход, равный 1,5 м³/сек, или на весь участок долины, длиной 35—40 км, расход составит около 60 м³/сек.

На левом берегу скважины, опущенные в эти же пласты галечников, дают резкое падение напорных градиентов до тысячных и десятитысячных долей, что хорошо иллюстрирует карта гидроизопьез (рис. 8). Это показывает, что расход потока в сечении II—II (рис. 12) резко уменьшился и может быть приближенно оценен 25—30 м³/сек. Таким образом, примерно половина расхода потеряна на восходящую фильтрацию в Сыр-Дарью, величина которой может быть принята в пределах 0,1—0,5 м³/сек на 1 км² современной поймы реки (в среднем 0,3 м³/сек).

Итак, основное питание аллювиального бассейна Голодной степи сосредоточено в северо-восточной части его и обусловлено подземным притоком из галечниковых отложений древнего конуса р. Сыр-Дарьи и Кок-Аральской предгорной

равнины. Наши расчеты по поперечнику I—I (рис. 6) показывают, что приток подземных вод со стороны юго-востока ничтожен — не превышает 5% всех поступлений в бассейн.

Таким образом, по приближенным подсчетам естественный подземный приток в бассейн составлял до развития орошения в общей сложности не менее $40 \text{ м}^3/\text{сек}$.

При рассмотрении естественного пополнения бассейна подземных вод необходимо учитывать и атмосферные осадки, которые в питании грунтовых вод, по данным разных авторов (Н. А. Кенесарина, 29; М. М. Крылова, 38; и др.), составляют 13—35% от среднегодовых.

Площади с близкими грунтовыми водами, занимая до развития орошения не более 150 тыс. га, распределялись между р. Сыр-Дарьей и Кировским магистральным каналом до линии железной дороги — в узбекской части Голодной степи и в пределах пойменной части реки — на казахской территории. Учитывая это, считаем возможным принять, что от годовой суммы осадков в среднем по Голодной степи в грунтовые воды попадало 25%, или 50 мм, именно на площади 150 тыс. га, тогда как на всей остальной площади, где грунтовые воды залегали на глубинах, превышающих 5 м, осадки не доходили до уровня последних.

Таким образом, к естественному притоку подземных вод в Голодной степи надо прибавить еще 75 млн. $\text{м}^3/\text{год}$.

Расходные статьи

Судя по схеме гидроизогипс (рис. 9, а), поток подземных вод в пределах аллювиального бассейна направлен вдоль Сыр-Дарьи, т. е. в естественных условиях река практически не дренировала левый берег и, вероятно, в периоды паводков даже несколько подпирала его.

На значительных площадях, прежде всего в юго-восточной части бассейна, шло усиленное расходование грунтовых вод на транспирацию и испарение. Если такой расход с каждого гектара территории с близким залеганием грунтовых вод в среднем считать равным $6000 \text{ м}^3/\text{га}$, то для площади 200 000 га получим общий расход на испарение 1200 млн. $\text{м}^3/\text{год}$ (из них в пределах озерной террасы, которая занимает около 70 тыс. га, могло испаряться до 12—15 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, или около 1 млрд. $\text{м}^3/\text{год}$). Кроме того, на землях с более глубоким залеганием грунтовых вод, площадь которых составляет 280 000 га, шло внутригрунтовое испарение. Если оценить его примерно в $100 \text{ м}^3/\text{га}$, то получим 28 000 м^3 , т. е. относительно небольшую величину.

Сравнивая суммарную величину испарения с общим притоком подземных вод, видим, что на испарение уходит большая его часть (90,4%) и лишь относительно немного поступает в виде очень медленного стока в пределы современной казахской части, в сторону Кызылкумов, постепенно рассеиваясь на внутригрунтовое испарение, в связи с чем зеркало грунтовых вод к западу вниз по потоку занимает все более и более низкие отметки.

Таблица 7

Статья баланса	Среднегодовой расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Расход, млн. $\text{м}^3/\text{год}$	% от суммы за год
Приход			
Подземный приток	40,0	1260	92,6
Атмосферные осадки	3,2	100	7,4
Итого	43,2	1360	100
Расход			
Сток в Сыр-Дарью	3,4	107	7,8
Сток в Арнасай и Кызылкумы	0,8	25	1,8
Испарение и транспирация	39,0	1228	90,4
Итого	43,2	1360	100

По схеме гидроизопьез (рис. 8) и построенным нами поперечникам для западной части бассейна определим вероятный расход естественного потока подземных вод, который составит для поперечника III—III—1,14, IV—IV—0,91 и V—V—0,76 $\text{м}^3/\text{сек}$.

Таким образом, мощные поступления подземных вод в северо-восточную часть бассейна здесь же очень быстро и интенсивно растрачивались; постепенно на запад мощность потока сильно уменьшалась, а течение его замедлялось.

Строение и структура баланса (табл. 7) в естественных условиях определили формирование минерализации подземных вод рассматриваемого бассейна. Закономерности формирования гидрохимических профилей показывают общую тен-

денцию к увеличению минерализации к юго-западной и западной окраинам бассейна; наиболее опресненной областью является центральная, прилегающая к Сыр-Дарье и получающая интенсивное питание за счет пресных подземных вод с правобережья и дренированная рекой. Однако и для нее отмечается неоднородность, которая обусловлена особенностями движения здесь вод и их расхождением на испарение. Для всей этой части бассейна характерна значительная мощность толщи пресных вод и относительно небольшая — для верхнего засоленного горизонта.

Можно наметить определенную гидрохимическую зональность с известной сменой сульфатно-карбонатных вод в нижней, сульфатными водами — в средней и хлоридно-сульфатными — в верхней частях разреза. При этом мощность всех трех зон по рассмотренным поперечникам неодинакова: в сторону от реки мощность верхней засоленной части возрастает и относительно уменьшается толщина зоны пресных вод в соответствии с увеличением глубины ее залегания.

В присырдарьинской полосе, на всем протяжении бассейна, зона пресных сульфатно-гидрокарбонатных вод начинается на глубине нескольких метров, обычно под слоем мелкоземов, в песках. В окраинной же части, даже на северо-востоке бассейна, верхние две зоны занимают толщу до 100 м.

Шур-Узякское понижение (рис. 13) — древний испаритель подземных вод северо-восточной части бассейна, в связи с чем на поверхности его и в толще мелкоземистого грунта, слагающего верхние горизонты, накопились большие запасы солей, а грунтовые воды, насыщающие эти толщи, имеют ярко выраженный сульфатный и сульфатно-хлоридный тип засоления. Общая же минерализация их в среднем по толще составляет 10—12 г/л, а в отдельных местах у поверхности достигает нескольких десятков граммов на литр.

Однако даже и в этом понижении мы наблюдаем достаточно быстрое и резкое падение минерализации вниз по профилю, обусловленное постоянными поступлениями пресных подземных вод со стороны правобережной равнины и конуса выноса Сыр-Дарьи.

В западном направлении наблюдается увеличение зоны соленых вод; на крайнем юго-западе бассейна пресная подземная вода была вскрыта на глубине 250 м. Верхние горизонты оказались солеными, с не пригодными для питья хлоридно-сульфатными водами (минерализация 9—11 г/л).

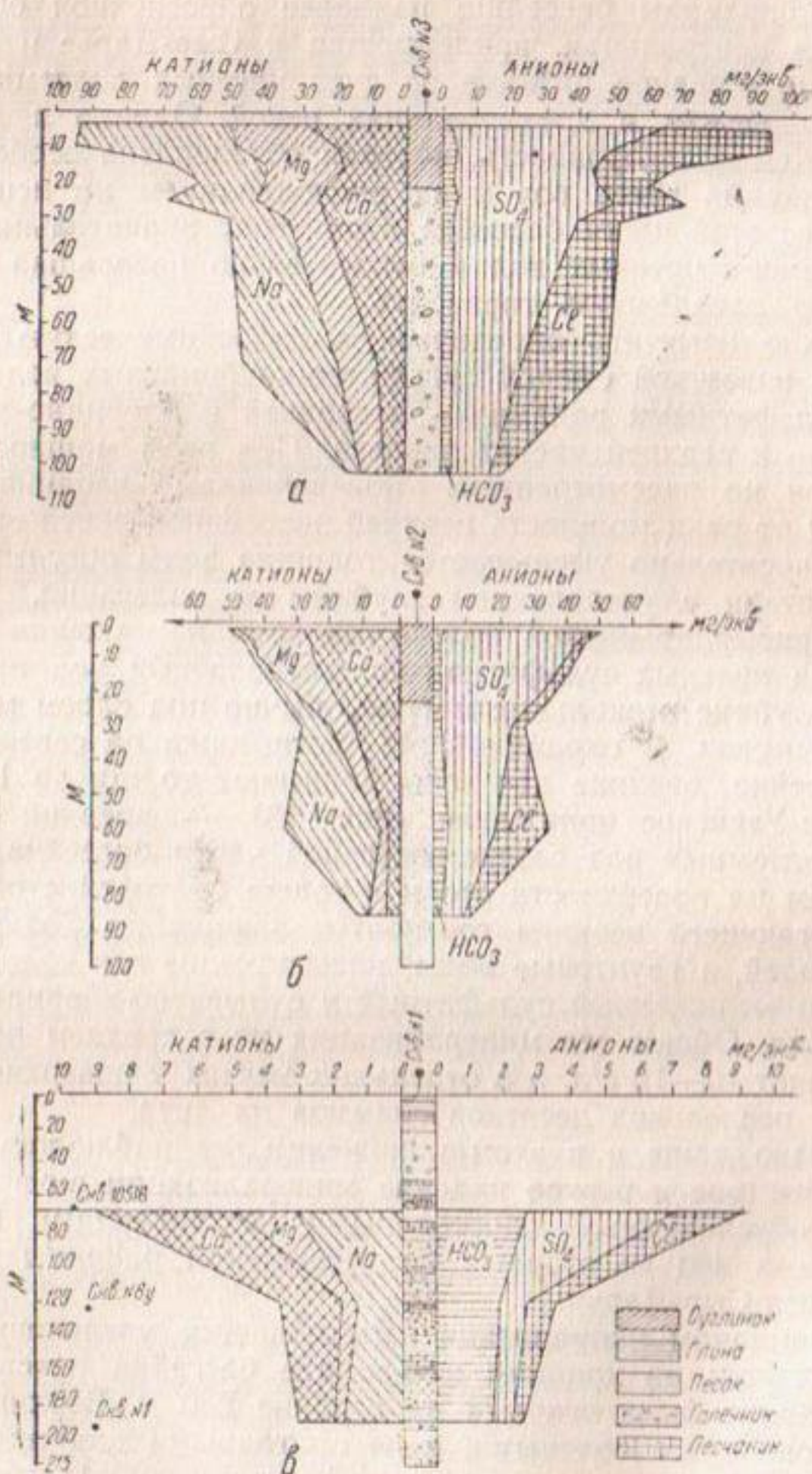


Рис. 13. Вертикальные гидрохимические профили подземных вод.

а, б — в Шур-Узякском понижении; в — в районе ст. Сыр-Дарья.

Роль орошения и баланс подземных вод бассейна в современных условиях

Рассмотрим, как повлияло на общую структуру баланса подземных вод аллювиального бассейна Голодной степи развитие орошения.

По расчетам Узгипроводхоза (1953 — 1955 гг., главный инженер Б. А. Михельсон, гидрогеолог К. Я. Опрышко), подземные воды аллювиального бассейна в узбекской части Голодной степи только за вегетационный период 1952 г. получили в виде дополнительного питания за счет инфильтрационных вод оросительной сети примерно 400 млн. $\text{м}^3/\text{год}$. Интенсивное питание грунтовых вод на всей орошаемой территории привело к тому, что уровень их поднялся, а гидроизогипсы изменили свое направление почти на 90° и располагаются теперь между Кировским магистральным каналом и Сыр-Дарьей, под острым углом к ней, что свидетельствует о явном дренировании рекой левобережья.

Следовательно, развитие орошения сказалось одновременно не только на приходной части баланса подземных вод, но и на расходной, определив значительный сток в Сыр-Дарью. Несколько увеличилось испарение и транспирация, которые, по тем же данным, для узбекской части территории составляют 621 260 тыс. м^3 в год. Кроме того, в расходной статье появился новый элемент в виде стоков в коллекторы, пока еще относительно небольших.

Известно, что наибольшие трудности возникают при определении расхода подземных вод на испарение и транспирацию, так как они зависят не только от глубины залегания и минерализации, но и от очень многих других факторов: климатических условий, почвогрунтов, растительного покрова, а на орошаемых участках, кроме того, от нормы, режима орошения и способа обработки почвы.

Расчет по проекту Узгипроводхоза сделан на основе тщательной проработки материалов по глубинам залегания грунтовых вод на 1952 г. для всей северо-восточной части Голодной степи и интерпретации этих данных в соответствии с графиками М. М. Крылова, дающими зависимость между суммарной величиной испарения и транспирации на хлопковом поле и глубиной залегания уровня грунтовых вод. Безусловно, такой метод расчета не может быть признан идеальным, так как он не учитывает различия величин испарения и транспирации для перелогов и орошаемых полей, занятых другими культурами, тем не менее, общий порядок цифр этот подсчет, вероятно отражает правильно.

В узбекской части бассейна (табл. 8) значительную долю в общем пополнении подземных вод составляет подземный приток — 73,2%. Естественный подземный сток в Сыр-Дарью и в коллекторы, вместе с подземным стоком в казахскую часть бассейна, определяется в размере 53,2%, остальное приходится на долю испарения и транспирации.

Таблица 8

Статья баланса	Среднего- довой рас- ход, м ³ /сек	Расход, млн. м ³ /год	% от суммы за год
Приход			
Подземный приток	40	1260	73,2
Атмосферные осадки	1,7	53	3,45
Ирригационные потери	12,7	400*	23,35
Итого	54,4	1713	100
Расход			
Испарение и транспи- рация	25,5	803	46,8
Сток к коллекторам (в Сыр-Дарью)	3,2	101	5,9
Сток в Сыр-Дарью (подземный)	21,0	661	38,65
Сток в Казахскую ССР	4,7	148	8,65
Итого	54,4	1713	100

* Здесь учитываем потери в вегетационный период, полагая, что в зимнее время каналы должны быть закрыты; однако на самом деле еще около 100 млн. м³/год поступает зимой, поднимая уровень грунтовых вод и летом увеличивая расход их на испарение.

Сравнивая современную структуру расходной части баланса подземных вод с аналогичной структурой до развития орошения, приходим к выводу, что в современных условиях величина стока оказалась даже несколько большей. Получился как бы парадокс: с одной стороны, дренированность бассейна возросла, а с другой — орошаемые земли еще больше страдают от засоления, с которым вот уже 30 лет ведется упорная и пока еще недостаточно успешная борьба. В чем же дело?

Действительно, орошение, образовав как бы дополнительную водную подушку на естественном уровне грунтовых вод,

увеличило пьезометрические напоры в нижних горизонтах левобережной части аллювиального бассейна древней долины Сыр-Дарьи и тем самым значительно активизировало ее намечающийся сток в реку. Однако этот сток осуществляется по глубинным пластам, сложенным песчано-галечниковым материалом и насыщенным пресными подземными водами. Таким образом, в результате орошения те пресные воды, которые поступали в виде естественного притока в бассейн Голодной степи со стороны конуса выноса Сыр-Дарьи и правобережной подгорной равнины, теперь в значительной мере возвращаются в Сыр-Дарью (рис. 10). Те же воды, которые теряет ирригационная сеть, практически не доходят до глубоких гравелисто-галечных пластов; они насыщают верхнюю мелкоземистую толщу, значительно засоленную вследствие процессов испарения и транспирации подземных вод, и почти полностью расходуются на испарение, лишь в очень небольшой степени попадая в коллекторно-дренажную сеть.

Таким образом, увеличение дренированности бассейна подземных вод в узбекской части в связи с развитием орошения сказывается главным образом на его нижних, песчано-галечниковых, горизонтах и очень слабо отражается на верхних слоях, представленных сильнозасоленными мелкоземистыми грунтами. Следовательно, процессы испарения и выноса солей к поверхности почвы в связи с орошением не приостановлены и не ослаблены. Отсюда понятно и общее мелiorативное неблагоприятие орошаемых массивов, несмотря на, казалось бы, хорошую дренированность всего бассейна подземных вод.

Совершенно иная структура баланса отмечается для казахской части Голодной степи (табл. 9). Подземный приток здесь ничтожно мал; с развитием же орошения грунтовые воды получили мощное пополнение, которое составило, по нашим расчетам, в 1956 г. $14,3 \text{ м}^3/\text{сек}$, или 450 млн. м^3 .

Главным элементом расхода воды на казахской территории является, как и ранее, испарение и транспирация. Последняя учтена нами следующим образом. Общая валовая площадь по казахской части Голодной степи в границах командования Кировского магистрального канала составляет 240 000 га. Из них 73 000 га падают на Пахта-Аральский и Ильичевский районы, для которых Д. М. Кац [28] подсчитал баланс грунтовых вод и определил величину испарения и транспирации, равную $170,8 \text{ млн. м}^3$ в год. 49 000 га занято пойменными землями. На испарение и транспирацию с них пойдет не менее $5000 \text{ м}^3/\text{га}$, или 245 млн. м^3 в год. Остальные площади, в пределах которых грунтовые воды находятся относительно на больших глубинах, составляют 60 тыс. га; для них мы прини-

маем расход на испарение и транспирацию $1000 \text{ м}^3/\text{га}$, что составит $71,7 \text{ млн. м}^3$; наконец, для земель в районе Сардобы и по Арнасаю, сильнозасоленных, местами даже занятых солончаками, не пригодных к орошению — 16 тыс. га по $2000 \text{ м}^3/\text{га}$. Всего 32 млн. м^3 . На остальных землях уровень грунтовых вод залегает настолько глубоко, что практически испарением с него в годовом балансе можно пренебречь.

Т а б л и ц а 9

Статья баланса	Среднегодовой расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Расход, млн. $\text{м}^3/\text{год}$	% от суммы за год
Приход			
Подземный приток с узбекской территории	4,7	148	22,9
Атмосферные осадки	1,5	47	7,3
Ирригация	14,3	450	69,8
Итого	20,5	645	100
Расход			
Испарение и транспирация	16,5	519,5	80,6
Сток в Сыр-Дарью	0,5	15,7	2,4
Сток в дрены	0,5	15,8	2,4
Сток в Кызылкумы	1,5	47	7,3
Накопление подземных вод (на новых землях)	1,5	47	7,3
Итого	20,5	645	100

Итак, общая величина испарения и транспирации по казахской части определяется нами примерно в $519,5 \text{ млн. м}^3$; оставшийся приход подземных вод ($125,5 \text{ млн. м}^3$) распределяется между стоком в Сыр-Дарью, в дрены и в Кызылкумы.

Схема гидроизогипс, составленная для Ильичевского и Пахта-Аральского районов старого орошения на казахской территории, показывает явное падение зеркала грунтовых вод к Сыр-Дарье, с уклоном до $0,005-0,010$. Гидрогеологический разрез вдоль Сыр-Дарьи (рис. 7) и схемы гидроизогипс позволяют рассчитать величины стока подземных вод в сторону Сыр-Дарьи — $260,7 \text{ млн. м}^3/\text{год}$. Однако, как уже отмечалось, 245 млн. м^3 из них расходуется на испарение и тран-

спирацию в пойменной части и только 15,7 млн. м^3 попадает в собственно Сыр-Дарью. Сток в дрены и Кызылкумы составляет также относительно небольшую величину — 15,8 и 47 млн. $\text{м}^3/\text{год}$.

Следует учесть также, что на землях нового орошения по Джетысайскому массиву (Арнасайская и Кызылкумская ветки), площадь которых составляет 42 000 га, зеркало грунтовых вод неуклонно повышается до 1 м в год. Это позволяет определить в среднем величину накопления подземных вод бассейна в местах развития нового орошения на казахской территории в пределах 47 млн. м^3 в год.

Анализ особенностей структуры баланса подземных вод в узбекской (табл. 8) и казахской частях бассейна (табл. 9) показывает принципиальные отличия в факторах, определяющих этот баланс. Для узбекской части в качестве основного выступает естественный приток подземных вод, а ирригационные потери сравнительно малы. Следовательно, как бы мы ни повышали коэффициент полезного действия системы, мы, очевидно, не добились бы резкого снижения уровня грунтовых вод.

Строение бассейна в узбекской части и структура расходной части баланса свидетельствуют о наиболее рациональном методе мелиорации засоленных земель путем откачек из скважин вертикального дренажа, опущенных в песчано-гравелистые горизонты, содержащие пресные воды.

Падение пьезометрического напора в нижних песчано-гравелистых слоях бассейна в среднем на 5—7 м сократит сток пресных вод из этих слоев в Сыр-Дарью с 21 до 1—2 $\text{м}^3/\text{сек}$ и будет содействовать понижению уровня соленых грунтовых вод на 3—4 м, что обусловит быстрое рассоление верхних слоев почвогрунтов нисходящими токами поливных и промывных вод. Таким образом, процессы рассоления орошаемых земель на узбекской территории примут необратимый характер и активизируются.

Вместе с тем значительно сократится расход подземных вод на испарение и транспирацию. В дренированных условиях расход подземных вод на испарение составит не более чем 252 млн. м^3 , или 8 $\text{м}^3/\text{сек}$ среднегодового расхода. Тогда общее количество пресных подземных вод, которое можно получить откачкой из скважин вертикального дренажа и использовать на орошение, определится в размере 19 $\text{м}^3/\text{сек}$ за счет сокращения стока в Сыр-Дарью, а также 10 $\text{м}^3/\text{сек}$ за счет испарения и транспирации, т. е. в общем составит 29 $\text{м}^3/\text{сек}$ среднегодового расхода.

В соответствии с особенностями строения и условиями питания юго-восточной части бассейна эксплуатация подземных

вод должна быть сосредоточена в первую очередь в треугольнике между Кировским магистральным каналом, Правой веткой и ж. д. Сыр-Дарья — Мирзачуль.

Для казахской части анализ структуры баланса показывает большие резервы в управлении режимом подземных вод и процессами рассоления почвогрунтов, путем гидротехнических и эксплуатационных мероприятий, направленных на повышение коэффициента полезного действия ирригационных систем, так как основным пополнением запасов грунтовых вод служат фильтрационные воды.

Наиболее важным моментом в сокращении питания грунтовых вод, следовательно уменьшения их подъема, является длительное и полное закрытие всех ирригационных систем на невегетационный период. Фактически Кировский канал, например в 1956 г., был закрыт лишь с 22 февраля по 5 апреля, т. е. на 43 дня. Закрывать каналы не меньше чем на 6 мес. поможет организация бытового и технического водоснабжения всех населенных пунктов, колхозов, совхозов и предприятий за счет пресных глубоких вод аллювиального бассейна. Буровые скважины, которых уже построено около 70, вскрыли хорошую питьевую воду для бытового и технического водоснабжения.

Однако эксплуатация скважин поставлена очень плохо. Дело в том, что бурением скважин ведает Узбекский гидрогеологический трест. Оборудованием же их насосно-силовым хозяйством и строительством даже самых примитивных водопроводов занимаются отдельные никем не контролируемые хозяйства и предприятия, поэтому из 70 подготовленных к эксплуатации скважин фактически используется менее 30%.

Бурением скважин, как и оборудованием их, а также и строительством сельских водопроводов должна вести единая строительная организация, которая выполняла бы все работы и несла за них полную ответственность.

Однако нельзя ограничиться только мероприятиями по уменьшению питания грунтовых вод за счет сокращения фильтрационных потерь. В процессе геологического развития на рассматриваемой территории накопились значительные запасы солей, причем мощность засоленной толщи, увеличиваясь в сторону от реки, достигает в юго-западной окраине бассейна 150—200 м. Задачей мелиорации должно явиться рассоление почвогрунтов и верхних слоев грунтовых вод, чего нельзя достигнуть без искусственного дренажа.

Глава VI

РАЙОНИРОВАНИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ В СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

При районировании гидрогеологического бассейна в целях проектирования вертикального дренажа имеется в виду прежде всего выделение территорий, идентичных по условиям строительства, конструкциям, рабочим напорам, дебитам и удельным дебитам буровых колодцев. Конструкция, глубина и дебит бурового колодца определяются конкретными литологическими условиями и той гидродинамической и гидрогеохимической обстановкой, которая сложилась на данном участке подземного водохранилища.

Каждый колодец, а тем более система их, вносят новый элемент в динамику бассейна подземных вод и, следовательно, при проектировании и прогнозах работы этой системы необходимо учитывать те изменения, которые при этом произойдут.

Поскольку при проектировании вертикального дренажа главное значение имеет происхождение и состав водоносных толщ, в основу выделения крупных таксономических единиц положен генетический принцип. Пространственное развитие отдельных возрастных комплексов аллювиальных отложений четвертичного возраста послужило основанием для выделения районов и участков различных по условиям работы вертикального дренажа. Глубина и конструкция скважин определены исходя из типовых для каждого участка литологических разрезов.

Для прогноза средних и удельных дебитов отдельных скважин применялся как метод аналитического расчета (по коэффициентам фильтрации, полученным на основании опытных откачек), так и метод аналогий — по материалам скважин, уже построенных в Голодной степи или работающих в сходных литологических условиях в других районах республики.

Число скважин для каждого выделенного участка устанавливалось делением общего дебита откачки по данному участку на средний дебит одного колодца. Суммарный дебит

откачки по каждому району и участку выявлялся приближенно, на основании анализа строения, гидрохимии и гидродинамики бассейна, определения области питания и стока, а также тех изменений, которые должны произойти в связи с работой вертикального дренажа.

Основные районы

Первый район вытянут относительно узкой полосой вдоль Сыр-Дарьи, занимая главным образом вторую ее террасу и представляя область развития молодых аллювиальных отложений голодностепского комплекса. Мощность отложений этого комплекса достигает 40 м, сверху они состоят из слоев супесей и суглинков общей мощностью в 3—5 м, подстилаемых мелко- и тонкозернистыми песками, с редким включением отдельных зерен гравия и мелкой гальки. В зависимости от характера подстилающих отложений первый район разделен на три участка.

Участок 1а характеризуется тем, что аллювиальные пески голодностепского комплекса подстилаются здесь аллювиальными песками и гравием ташкентского комплекса, которые, в свою очередь, ложатся на сохские песчано-галечные отложения. Таким образом, в пределах этого участка скважины на глубину до 300 м вскрывают песчано-галечные отложения с маломощными прослоями суглинков и глин.

На участке 1б голодностепские аллювиальные пески подстилаются довольно мощными суглинками, ниже которых залегает песчано-галечная толща низов ташкентского комплекса и мощные сохские аллювиальные отложения. В этом районе расположен опытный участок трех скважин вертикального дренажа Узбекской гидрогеологической экспедиции (1951—1955 гг.).

Наконец, на самом западе первого района — участок 1в — скважины уже не вскрывают сохские аллювиальные отложения; под песками голодностепского комплекса имеются относительно небольшой мощности песчано-гравелистые отложения ташкентского комплекса, ниже которых залегает мощная толща суглинков и глин.

На участке 1а в совхозах, колхозах и МТС эксплуатируется более десятка скважин на воду глубиной от 50 до 300 м. Дебиты этих скважин колеблются в пределах от единиц до нескольких десятков литров в секунду; определяются они в основном конструкциями скважин, а также насосно-силовым оборудованием и далеко не исчерпывают гидрогеологических возможностей вскрываемых водоносных пластов. Так, скв. № 14 в первой МТС, Беговатского района, имеет фильтр диаметром 5" (130 мм), длиной 17,6 м, установлен-

ный в песке и галечнике на глубине до 300 м; дебит ее — 20 л/сек при очень небольшом понижении уровня воды, которое нельзя было фиксировать замером сейчас же после остановки эрлифта, так как уровень мгновенно восстанавливался.

Аналогичные результаты получены и по скв. № 1 во второй Сыр-Дарьинской МТС и № 8 в пос. Сыр-Дарьинском. Обе скважины, пробуренные в 1955—1956 гг. Пастбищно-мелиоративно-строительным трестом, оборудованы обычным дырчатым фильтром без сетки, длиной 15 м, диаметром 6" — в скв. № 1 и длиной 10 м, диаметром 5" — в скв. № 8; дебит их 26—30 л/сек. Этот участок первого района наиболее водообилен.

В соответствии с описанными типовыми литологическими разрезами глубина эксплуатационных колодцев для участка Ia определяется примерно от 50 до 150 м; при этом удельный дебит, по данным эксплуатационных скважин, может быть, в случае применения скважин диаметром 300—500 мм, от 5 до 8 л/сек на 1 м понижения уровня воды откачкой.

Следует иметь в виду, что скважины рекомендуется опускать от 100 м и более для получения воды наилучшего качества. При рабочих напорах примерно 10 м в первом районе скважины могут давать от 50 до 80 л/сек.

Не менее хорошие результаты дают скважины на участке Ib. Так, в племсовхозе № 10, Гулистанского района, скв. № 7337 и 7338, оборудованные соответственно дырчатым фильтром диаметром 6 и 8", длиной 5 и 12 м, дали самоизлив из галечников с песком, залегающих под мощным слоем плотных суглинков и глин, с глубины 102—107 м. Сква. № 3 в колхозе «Октябрь», Верхне-Волынского района, имеет обычный дырчатый фильтр длиной 16,45 м, диаметром 6", опущенный на глубину до 150 м в гравий и галечники; расход ее 38 л/сек при небольшом понижении уровня воды.

На участке Ib, где пески голодноостепского комплекса на глубине около 40 м подстилаются суглинками мощностью несколько десятков метров, скважины для вертикального дренажа следует закладывать на глубину 45—50 м, тогда как для сельскохозяйственного водоснабжения, напротив, их рекомендуется опускать на глубину 100—300 м с тем, чтобы получить воду хорошего качества с плотным остатком примерно 300—400 мг/л.

На участке Ib максимальная глубина любых скважин на воду должна быть не более 100 м. Ожидаемый удельный дебит этих скважин, при диаметрах от 300 до 500 мм, не будет, вероятно, превышать 6 л/сек, но и на этом участке фильтр скважин следует устанавливать как можно глубже с тем, чтобы получать более пресную и мягкую воду.

Второй район занимает центральную часть Голодностепского аллювиального бассейна и вытянут с юго-востока на северо-запад — от Беговата до Арнасыя. Этот район характеризуется развитием аллювиальных отложений ташкентского и сохского комплексов общей мощностью до 300 и более метров. Аллювиальные песчано-гравелистые и галечные отложения прикрыты сверху слоем лессовидного суглинка мощностью от 15 до 20—30 м. Прослой суглинков и глин встречаются также и в толще песчано-гравелистого аллювия. Для верхней части разреза аллювия характерен более мелкозернистый состав песков, для нижней (сохский комплекс) — преобладание более крупных разностей с включением прослоев гравия и галечника.

Отмечается также известная тенденция к уменьшению гравелисто-галечного материала в составе аллювия по направлению с юго-востока на северо-запад. Однако и в самых западных скважинах встречаются еще пески с включениями зерен гравия и гальки.

По особенностям литологического строения, непосредственно определяющего работу дренажных колодцев, второй район разделен на два крупных участка (2а и 2б).

Участок 2а протягивается полосой, прилегающей к первому району, от Беговата до Багары, через Шур-Узякское понижение и совхоз «Пахта-Арал». Он отличается сравнительно небольшим включением прослоев суглинков и глин в песчано-гравелистом аллювии и значительным участием гравия и галечников в нижней части разреза. Мелкозернистые плывунные пески залегают главным образом в интервале 25—70 м.

В пределах этого участка проводились опытные работы по вертикальному дренажу близ ст. Золотая Орда. Здесь же строится опытно-производственная система вертикального дренажа в Шур-Узякском понижении на площади в 5 тыс. га. Есть все основания ожидать наибольшей производительности скважин. Глубина их может быть определена ориентировочно, в зависимости от назначения: для скважин вертикального дренажа примерно 100 м, при удельном дебите 8—12 л/сек (диаметр скважин 400—500 мм); для скважин в целях сельхозводоснабжения — от 200 до 300 м. Скважины для орошения могут быть любой глубины в зависимости от расхода; в частности, в этих условиях для получения значительного количества воды в одном месте может быть применен ярусный водозабор.

Производительность скважин вертикального дренажа будет максимальной из ожидаемых для Голодностепского бас-

сейна: при рабочих напорах 15 м — в пределах 140—180 л/сек и более.

На территории участка имеется не менее 50 буровых скважин на воду, материалы по которым явились основой для наших прогнозов.

Участок 2б отличается от участка 2а тем, что в разрезе верхних 150 м значительное участие принимают прослой суглинков и глин мощностью до десятка и более метров. Для примера приведем разрез скв. № 87.

Скв. № 87 Узбекского гидрогеологического треста (пройдева в феврале 1957 г.)

- 0,0—25,0 Суглинок светло-коричневый, тяжелый, пылеватый, с включением блесток слюды¹, в кровле слоя с корневыми системами
- 25,0—40,0 Песок серый, мелкозернистый, с красноватыми частицами и блестками слюды
- 40,0—50,0 Глина светло-коричневая, плотная
- 50,0—66,0 Песок серый, с желтоватым оттенком, пылеватый, с красноцветными зернами, тонкозернистый, с включением блесток слюды; с глубины 56 м — темно-серый с сизоватым оттенком. На глубине 61 м — прослой суглинка небольшой мощности
- 66,0—70,0 Глина светло-коричневая, плотная, жирная на ощупь, к подошве слоя темно-серая, с охристыми пятнами
- 70,0—83,40 Песок серый, с красноватыми зернами: с глубины 81 м — темно-серый, сизоватого оттенка, с редким включением мелкого гравия диаметром до 1 см. На глубине 83 м — прослой супеси небольшой мощности
- 83,40—95,0 Суглинок темно-серый, с сизоватым оттенком, средний пылеватый
- 95,0—106,0 Песок серый, мелкозернистый, с красноцветными зернами и блестками слюды. К подошве слоя песок среднезернистый, с включением гравия и гальки диаметром до 3 см. На глубине 100 м прослой супеси небольшой мощности
- 106,0—122,0 Суглинок желтовато-серый с сизоватым оттенком, средний пылеватый
- 122,0—131,0 Песок серый, мелкозернистый, с содержанием красноцветных частиц, с включением блесток слюды
- 131,0—138,0 Глина коричневая, плотная, жирная на ощупь
- 138,0—148,0 Песок серый, мелкозернистый, с красноцветными зернами и блестками слюды. С глубины 141 м — среднезернистый красноватого оттенка
- 148,0—189,0 Суглинок темно-коричневый, средний, с включением блесток слюды
- 189,0—227,0 Песок серый, пылеватый, с содержанием красноцветных зерен, с включением гальки и гравия диаметром до 2 см. На глубине 193 м — прослой суглинка мощностью до 2 м. Песок к подошве сизоватого оттенка
- 227,0—250,0 Глина зеленая, плотная, жирная на ощупь, постепенно переходит в темно-зеленую, с охристыми пятнами, с включением блесток слюды. На глубине 244,50 м — прослой песка мощностью

¹Вероятно, это рассеянные кристаллы гипса (Н. Р.).

- 1,50 м. С глубины 246 м — глина коричневая, плотная, жирная на ощупь
- 250,0—275,0 Песок светло-серый, крупнозернистый, с красноцветными частицами и блестками слюды
- 275,0—280,0 Суглинок светло-коричневый, средний, с включением блес-ток слюды
- 280,0—290,0 Песок светло-серый, пылеватый, с содержанием красноцвет-ных зерен и включением блес-ток слюды
- 290,0—300,0 Суглинок светло-коричневый, средний, с блестками слюды
- 300,0—310,0 Песок светло-серый, с красноватым оттенком, мелкозерни-стый, с включением блес-ток слюды
- 310,0—317,0 Суглинок коричневый, с блестками слюды

Общая глубина — 317 м

При бурении скважины вскрыты 10 водоносных горизонтов:

- 1) 25,00 — 40,00 м — песок, вода соленая;
- 2) 50,00 — 66,00 м — песок, вода соленая;
- 3) 71,20 — 83,40 м — песок, вода соленая;
- 4) 95,00 — 106,00 м — песок, вода соленая;
- 5) 122,00 — 131,00 м — песок, вода соленая;
- 6) 138,00 — 148,00 м — песок, вода соленая;
- 7) 189,00 — 227,00 м — песок и галечник; вода соленая, плотный оста-ток 4777 мг/л;
- 8) 250,00 — 275,00 м — песок, вода пресная, плотный остаток 860 мг/л, установившийся уровень — 6,85;
- 9) 280,00 — 290,00 м — песок, вода не опробована;
- 10) 300,00 — 310,00 м — песок, вода не опробована.

У нас имеется материал по 26 скважинам на воду, рас-положенным на территории участка 2 б. Все скважины снаб-жены фильтром диаметром 4—6", реже—8", длиной 5—20 м, что и обуславливает их относительно малые удель-ные дебиты (2—4 л/сек).

Скважины для водоснабжения в этих условиях рекомен-дуется опускать глубже 150 м, в аллювиальные пески и гравий сохского комплекса, обладающие пресными водами, тогда как верхние горизонты песков, переслаивающихся суглинками, содержат воды соленые, не пригодные для питья. Однако распространение аллювиальных отложений сохского комплекса на этом участке требует уточнения дополнительным бурением.

Скважины вертикального дренажа целесообразно опус-кать на глубину примерно 100 м с устройством фильтров во всех вскрываемых крупнозернистых горизонтах песков и гравия. Удельные дебиты скважин районов 2а и 2б, в соответствии с изменением литологического строения, бу-дут различаться; для последнего он составит, вероятно, не более 6—8 л/сек.

Для третьего района характерно отсутствие аллюви-альных отложений сохского комплекса и, таким образом, мощность аллювия составляет здесь не более 150 м, что и определяет максимальную глубину скважин.

В районе выделены три участка, различающиеся условиями заложения буровых скважин на воду, производительностью и качеством воды.

Участок 3а, занимающий район Мирзачуля и прилегающих к нему территорий с Сардобинским понижением, отличается наличием достаточно мощной, но различной по площади толщи покровных лессовидных суглинков, с преобладанием в песчано-гравелистом аллювии ташкентского комплекса значительного количества глинистых прослоев. Залегание одного из таких прослоев под Мирзачулем заставило в проекте опытно-производственной системы вертикального дренажа ограничить глубину дренажных колодцев 50 м.

Учитывая, что колодцы можно сооружать на значительно большей, чем территория города, площади, мы полагаем, что глубину дренажных колодцев в этом районе можно варьировать от 50 до 120 м; удельный дебит их (при диаметре 300—400 мм) соответственно составит 3—5 л/сек.

Вследствие значительной мощности покровных суглинков рабочий напор для этого участка может быть увеличен до 20 м. Тогда дебит дренажных колодцев возрастет до 60—80 л/сек. Скважины для водоснабжения должны иметь фильтры, опущенные на глубину более 120 м, так как вся толща подземных вод, залегающая выше, сильно минерализована.

На территории участка 3а сейчас имеется около двух десятков скважин глубиной в основном 100—150 м, в отдельных случаях — до 284 м. Все эти скважины, как и в других районах, имеют фильтры малых диаметров и небольшой длины. Они также предназначены для целей водоснабжения, в связи с чем и дебиты их практически измеряются единицами и реже — десятками литров в секунду.

Участок 3б расположен на самой северо-западной окраине бассейна. Его строение характеризуется продольным профилем по линии VI—VI между поселками Багара и Махталы (см. рис. 7). Здесь также отсутствуют аллювиальные отложения сохского комплекса и толща аллювия ташкентского комплекса на глубинах 50—150 м подстилается мощными суглинками.

Аллювиальные отложения ташкентского комплекса представлены главным образом песками. В нижней части разреза пески имеют включения зерен гравия и мелкой гальки. Пески разделены прослоями суглинков на ряд этажей или горизонтов, верхние и самые нижние из которых содержат соленую воду. Пресная вода с плотным остатком от 700 до 1500 мг/л получена на глубинах от 50 до 100 м. На запад-

ной окраине мощность аллювия уменьшается, а качество воды ухудшается.

Скв. № 86 (пройдена в октябре 1956 г. Узбекским гидрогеологическим трестом).

- 0,0—20,90 Суглинок серовато-желтый, легкий, пылеватый, с блестками слюды, макропористый
- 20,90—36,00 Песок серый, тонкозернистый, на глубине 26 м желтовато-серый, с блестками слюды и охристыми пятнами. На глубине 28 м прослой серой плотной глины мощностью 0,20 м
- 36,00—40,00 Глина серая, плотная, вязкая
- 40,00—77,50 Песок серый, мелкозернистый, с редкими прослоями глины, с глубины 54 м с включением гравия и гальки до 50%. Галька хорошо окатана, представлена песчаником, известняком
- 77,50—107,50 Суглинок серовато-желтый, тяжелый, пылеватый, в кровле слой серый, местами с включением известковистых стяжений, с гнездами белых солей. На глубине 79 м прослой суглинка с галькой. Мощность прослоя 0,6 м. Галька хорошо окатана, диаметром 5—6 см, представлена известняком и песчаником
- 107,50—250,00 Глина в основном красно-бурая, местами пестроцветная, с серыми, голубовато-сизыми, розовато-красными, белыми, охристыми и черными пятнами. В интервале 108—112 м глина светло-зеленая с прослоями известняка желтовато-серого цвета, мощностью 0,2—0,3 м. В интервалах 157—159, 179,61—181,00, 201—205 м встречены прослой песка тонко- и мелкозернистого, красновато-бурого, розовато-красного и желтовато-серого цвета, с белесоватым оттенком. С 201 до 205 м песок с прослоями песчаника красновато-бурого цвета, мощностью 0,15—0,20 м

Общая глубина — 250 м

При бурении скважины вскрывают один водоносный горизонт.

- 20,00—77,50 м — обводненная часть покровных суглинков и подстилающие пески с линзовидными прослоями глины и суглинка. Плотный остаток 2229 мг/л; установившийся уровень — 5,90 м.

Участок 3в занимает краевую часть южной и юго-западной окраины бассейна и характеризуется тем, что аллювиальные пески здесь переслаиваются мощными толщами пролювиальных лессовидных суглинков. Затрудненные условия питания и проточности определяют формирование здесь высокоминерализованных подземных вод, как правило, не пригодных для водоснабжения: плотный остаток больше 1500 мг/л, достигает 9000 и 11 000 мг/л в самых окраинных частях бассейна. Мало перспективен этот участок и для целей вертикального дренажа, так как толща покровного мелкоземья достигает 40—50 м, а прослой песков относительно маломощны и обладают малыми коэффициентами фильтрации. Поэтому, применяя даже совершенные конструкции скважин, трудно ожидать, что расход воды из скважины составит более 40—60 л/сек, причем вода будет соленой,

с плотным остатком, примерно несколько граммов на литр, а иногда до десятка граммов, т. е. не пригодной для орошения.

В районе имеется лишь около десятка скважин на воду; все они располагаются в основном к северу от центрального коллектора. Глубина их редко превышает 150 м, дебиты низки, а качество воды значительно хуже, чем во втором районе.

Таблица 10

Статья баланса	Среднегодовой расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Расход за год, млн. м^3	% от суммы за год
Приход			
Подземный приток	40,0	1260,0	51,0
Атмосферные осадки	3,2	100,0	4,1
Ирригационные потери	35,0	1105,0	44,9
Итого	78,2	2465,0	100
Расход			
Откачки подземных вод	39,0	1230	49,8
Сток в Сыр-Дарью (подземный и по коллектору)	18,2	574	23,3
Испарение и транспирация	20,0	630	25,5
Сток в Кызылкумы	1,0	31	1,4
Итого	78,2	2465	100

Таким образом, оптимальными для заложения скважин вертикального дренажа и использования откачиваемой подземной воды на орошение являются участки 2а, 2б, 3а; причем наилучшими условиями характеризуется участок 2а.

В целях получения необходимых технико-экономических показателей для проектирования вертикального дренажа на трех массивах в широких масштабах намечено испытание опытно-производственных систем.

На участке 2а в пределах Узбекской ССР, на территории Шур-Узякского понижения, Главголодностепстроем начато строительство опытно-производственной системы вертикального дренажа на 5000 га. В казахской части Голодной степи, в совхозе «Пахта-Арал», запланировано строительство опытно-производственной системы вертикального дренажа на 6

Таблица 11

Статья баланса	Среднего- довой рас- ход, м ³ /сек	Всего за год, млн. м ³	% от суммы за год
----------------	---	--------------------------------------	-------------------------

Для узбекской части бассейна

Приход			
Подземный приток	40,0	1260	72,1
Атмосферные осадки	1,7	53,5	3,4
Ирригационные потери	13,7	432,0	24,5
Итого	55,4	1745,5	100
Расход			
Откачки подземных вод	29,0	913,5	52,2
Сток в Сыр-Дарью			
подземный	3,0	94,5	5,4
по коллекторам	11,4	359,5	20,6
Испарение и транспирация	8,0	252	14,4
Сток на территорию Казах- ской ССР	4,0	126	7,2
Итого	55,4	1745,5	100

Для казахской части бассейна

Приход			
Подземный приток	4,0	126,0	14,8
Атмосферные осадки	1,5	47,0	5,6
Ирригационные потери	21,3	672,0	79,6
Итого	26,8	845,0	100
Расход			
Откачки подземных вод	10,0	315,0	37,3
Сток в Сыр-Дарью по коллекторам	3,8	120,0	14,2
Сток в Кызылкумы	1,0	31,5	3,7
Испарение и транспирация	12,0	378,5	44,8
Итого	26,8	845,0	100

тыс. га. На участке 3а эта система строится и испытывается на территории г. Мирзачуля.

На участке 2б, в пос. Славянском, намечено также построить опытно-производственную систему вертикального дренажа.

Прогнозируемый баланс подземных вод. На основании рассмотренного материала нами сделан приближенный расчет проектного баланса подземных вод при работе системы вертикального дренажа в целях использования их на орошение в пределах участков 2а, 2б и 3а с общим дебитом откачки $39 \text{ м}^3/\text{сек}$ (табл. 10, 11).

Главный расход откачек — $29 \text{ м}^3/\text{сек}$ должен быть сосредоточен в узбекской части бассейна, тогда как на громадной казахской территории откачка составит примерно $10 \text{ м}^3/\text{сек}$. На пойменной и второй террасах сохранится сток подземных вод в горизонтальные дрены и коллекторы, а по ним — в Сыр-Дарью, если этот район не будет включен в зону развития скважин.

На участке от Беговата до железнодорожного моста сохраняется некоторое дренирующее значение Сыр-Дарьи, так как учитывается, что откачки подземных вод из скважин вертикального дренажа не вызовут понижения уровня грунтовых вод по территории в среднем более чем на 4—5 м.

При определении величины питания грунтовых вод использованы имеющиеся в проектных организациях проработки о развитии орошения на территории рассматриваемого бассейна. При этом умышленно учтены потери, какими они прогнозируются при поверхностном орошении, так как на первых этапах работы системы вертикального дренажа еще будут необходимы промывки для рассоления земель. В дальнейшем, по мере увеличения к. п. д. ирригационных систем, будут примерно пропорционально уменьшаться потери на фильтрацию и водопотребление на гектар орошаемой площади.

Глава VII

ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ ПО ВЕРТИКАЛЬНОМУ ДРЕНАЖУ (1929—1955 гг.)

Исследования проф. Н. В. Макридина

Вопрос о применении вертикального дренажа в Голодной степи был поднят в 1927 г., когда Н. В. Макридиным было выдвинуто предложение по мелиорации северо-восточной части ее. Им был составлен проект и проведены специальные работы (при участии гидрогеолога М. М. Решеткина). В то время имелось только две скважины — в центральной части Голодной степи, вблизи бывшей ст. Мурзарабад на почтовом тракте Самарканд — Ташкент, и в пос. Сыр-Дарьинском.

Мурзарабадская скважина пройдена на глубину 135 м; она вскрыла в верхней части лессовидные суглинки, подстилаемые песками с редкими пропластками глин. Мощность песчаных слоев в нижней части разреза увеличивается. Опробование скважины показало, что верхние горизонты грунтовых вод, залегающие на глубине 15—17 м, являются солеными и непригодными к употреблению; воды нижних песчаных горизонтов (на глубине 100 м) — пресные; уровень их устанавливается в скважине примерно на высоте вскрытия уровня грунтовых вод — 15—17 м.

Сыр-Дарьинская скважина пройдена на глубину 79 м, ее разрез представлен песчано-гравелистыми отложениями, а в нижней части вскрыты глины с прослоями супеси. Для этой скважины также характерно улучшение качества воды с глубиной и поднятие уровня вод из глубоких горизонтов до уровня грунтовых вод.

Глубокий колодец

Для заложения колодца вертикального дренажа был выбран участок Золотоординской опытно-мелиоративной станции, который располагается на склоне Шур-Узякского понижения в третьей террасе р. Сыр-Дарьи, на землях, сильнозасоленных, славодренированных с плохими мелиоративными условиями.

Так как обе скважины расположены в стороне от участка и разрезы их сильно разнятся, было решено пробурить разве-

дочную скважину. Такая скважина глубиной 70 м заложена на месте предполагаемого опытного дренажного колодца в мае 1928 г. Начальный диаметр ее 8", конечный — 4".

Геологический разрез скважины: верхние 20 м представляют собой серовато-желтые лессовидные суглинки, в нижней части более плотные, чем в верхней. С глубины 20,5 м и ниже залегает мелкозернистый плавунный песок. До 46 м в песке преобладают частицы диаметром от 0,1 до 0,25 мм, содержатся очень редкие пропластки, более или менее обогащенные гравием (34 м). С 46 до 70 м залегает песчано-гравелистая толща, содержание гравия в которой различно: в отдельных пластах оно возрастает до 95, в других уменьшается до 10—15%.

Н. В. Макридин отмечает, что при бурении скважины не было обнаружено никаких «неправильностей и возмущений», при приближении к пескам наблюдалось лишь повышение уровня воды. Это свидетельствует об отсутствии водоупорных свойств даже у нижних, наиболее плотных пластов суглинка. Для этой разведочной скважины соленость воды с глубиной понижалась.

Полученный разведочной скважиной разрез квалифицировался как достаточно сложный для получения дренажного эффекта. Наиболее перспективными Н. В. Макридин считал песчано-галечниковые пласты на глубине 46—70 м. Однако столь значительная глубина их залегания, естественно, должна была снизить дренажный эффект колодца.

Было решено испытать два варианта опытных колодцев. Первый колодец глубиной 20 м, питающийся из суглинка сквозь дырчатые стенки и через открытое дно, получает воду из плавун. Этот колодец вызвал некоторые опасения ввиду возможности прорыва плавун через открытое дно в скважину и тем самым значительного снижения ее эффекта.

Вариант колодца, питающегося из плавун, залегающих на глубине 20—45 м, был сразу же отвергнут в связи со значительными затруднениями по устройству фильтра. Поэтому в качестве основного был принят колодец глубиной 70 м с фильтром, опущенным на глубину 45—70 м в песчано-гравелистую, наиболее водоотдающую толщу.

Длина водоприемной части колодца 24 м, т. е. как раз на всю глубину, пройденную разведкой. Конструкция колодца следующая. Сверху до 46 м шла глухая 12-дюймовая обсадная труба. С 45 м в эту трубу на глубину 70 м был опущен перфорированный фильтр из 10-дюймовой трубы, покрытой сеткой из гальванизированной проволоки. При этом в интервале 45—51 м сетка имела плетение с просветом 3 мм; на

глубине от 51 до 57 м — 1 мм и в интервале 57—69 м — 3 мм. Нижняя часть 10-дюймовой трубы забита деревянной пробкой. Когда 12-дюймовая обсадная труба после окончания бурения и установки стренера была поднята на глубину 46 м, то вся труба стренера оказалась наполненной песком и илом.

Скважину очищали с помощью 5-дюймового центробежного насоса, приводимого в действие трактором; объем откаченного песка оказался в пять раз больше объема цилиндра стренера.

Строительство колодца и насосной установки было окончено в октябре 1929 г. В январе 1930 г. начаты опытные откачки; из-за неполадок с двигателем откачка не была непрерывной, ее проводили с 1 по 17 января, с 16 по 27 февраля, с 17 по 27 марта, с 1 по 13 апреля, с 18 мая по 12 июня, причем и в эти периоды она не всегда была непрерывной. Очень часто насос останавливался на многие часы и даже дни ввиду неисправности двигателя.

Из-за отсутствия вертикального центробежного насоса ра-

Т а б л и ц а 12

Понижение уровня по оси колодца про- тив стояния его в почве	Дебит ко- лодца, л/сек	Удельный дебит колод- ца, л/сек на 1 м напора
3,5	11	3,1
4,0	14	3,5
7,9	32	4,1
8,1	37	4,5

боты по испытанию опытного колодца проводились вначале 5-, а затем 10-дюймовым центробежным насосом с горизонтальным валом. Насосы были помещены на временном основании в шурфе над самым уровнем грунтовых вод, занимавших в этот период минимальное положение — 2,5 м от поверхности земли.

Анализируя результаты откачек (табл. 12), Н. В. Макридин приходит к выводу, что по удельному дебиту колодец приближается к колодцам с малой водоотдачей (табл. 13).

Однако Н. В. Макридин, сопоставляя работу колодца с работой их в других районах, считал необходимым внести поправку на диаметр, полагая, что принятый по конструктивным соображениям 10-дюймовый диаметр фильтра, сравнительно с применяемыми, например, на системе Салт-Ривер, очень мал и это уже само по себе обуславливает уменьшение удельного дебита колодца.

Если отношение удельного дебита взять не к метру напора, а к одному квадратному метру поверхности стренера, независимо от его конструкции, то получим несколько иную картину:

Индийские колодцы (г. Амритсар — Пенджаб), в песке	л/сек 0,3
Аризонские колодцы (система Салт-Ривер), в гравелисто-песчаном грунте — от 0,17 до 0,69 л/сек, в среднем	0,38
в глинистом грунте — от 0,01 до 0,05 л/сек, в среднем	0,03
Колодец № 1 в Золотой Орде, плыун с галькой	0,20

Таблица 13

Местоположение	Характеристика почвогрунтов	Рабочий напор, м	Дебит при данном на- поре, л/сек	Удельный дебит, л/сек на 1 м напора
Индийские колод- цы (г. Амритсар— Пенджаб)	Чистый песок	4,2	56,00	13,3
	Преобладает гравий	7,28	127,00	17,4
Аризонские колод- цы (система Салт- Ривер)	Глина и хард- пен преобла- дают над гра- вием и пес- ком	11,28	84,00	7,1
	Почти чистые глины и хардпен	15,7	48,70	3,1
Аравийские опытные сважи- ны	Суглинок с прослоями гальки и песка	до 8	до 60	до 10

Величины удельной водоотдачи Золотоордынского опытно-го колодца и колодцев, заложенных в песчаных грунтах в ря-де зарубежных стран, оказались близкими.

В общей сложности с января по июнь колодец работал 597 час., и лишь после установки четырехтактного двигателя типа «Сотрудник», с июня по декабрь 1930 г., проводилась бесперебойная откачка. Откачка была прекращена из-за от-сутствия депрессионной воронки и сколько-нибудь значитель-ного опускания уровня грунтовой воды в районе колодца.

Для наблюдений за уровнем грунтовых вод под влиянием откачки были устроены по четырем взаимно перпендикуляр-ным радиусам колодца, расположенные на расстоянии 5, 20, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 850 и 1000 м от насосного ко-лодца: на юге — семь, на севере — пять, на востоке — девять и на западе — семь. Наблюдения проводились ежедневно с 9 июня по 24 июля и с 8 сентября по 24 декабря 1930 г., ког-да откачка была прекращена.

Основные выводы, к которым пришел Н. В. Макридин [50] на основании материалов исследований, заключаются в следующем.

1. Кривой депрессии тина воронки вокруг колодца в результате откачки не установилось. Уровни в наблюдаемых колодцах после откачки, продолжавшейся непрерывно с 13 мая по 24 декабря 1930 г., расположились по чашеобразным вогнутым кривым, ясно вырисованным по сравнению с прежним естественным уровнем.

Наибольшая депрессия, 0,50 м, отмечалась на расстоянии 150 м на восток от насосного колодца, к которому уровень грунтовой воды повышался так же, как и на отдаленном конце створа. Общая длина створа, захваченная таким понижением, 500—600 м. Режим уровня грунтовой воды в зоне влияния колодца в общем согласовывался с естественными колебаниями в этом районе.

Прекращение откачки также заметно не влияет на ход уровней в районе насосного колодца. Однако в этих случаях на южном створе отмечалось своеобразное последствие (в радиусе до 500 м от колодца) в течение почти 40 дней с момента прекращения откачки. Оно выражалось, во-первых, более замедленным, чем на остальных точках створа, повышением уровня возле самого колодца, во-вторых, заравниванием западины, находящейся на расстоянии 200—500 м от него и приближением уровня на этом участке к положению, параллельному поверхности земли. Бугры фильтрационных вод, накапливающиеся в районе колодца при производстве работ, поглощались довольно быстро. Так, бугор высотой 1,98 м рассосался по истечении 43 дней после откачки, продолжавшейся 226 дней.

Естественные колебания уровня грунтовых вод в пределах 1—1,5 м слабо сказывались на дебите колодца. Например, сентябрьские дебиты 1930 г. были меньше февральских и мартовских примерно на 5 л при одном и том же показании вакуумметра. Это можно объяснить только тем, что повышение уровня в колодце компенсировалось действием на приток в колодец повышающегося уровня в почве, что в свою очередь свидетельствует о прямой связи поверхностных пластов с теми, в которых заложен стренер.

2. Существует непосредственное сообщение между грунтовыми водами и водами в песчаных слоях, питающими колодец (результаты разведочного бурения, совпадение уровней в скважине и в шурфе, постоянство дебита при уменьшении вакуума).

3. Поскольку понижение уровней в районе колодца и на соседнем участке горизонтального дренажа по форме одинаково,

чашеобразную депрессию в первом случае можно, по-видимому, объяснить недостаточностью рабочего напора в колодце по сравнению с гидростатическим напором в глубоких пластах.

4. О наличии такого напора в толще плавуну свидетельствуют следующие факты: повышение горизонта воды в разведочной скважине при приближении забоя к плавуну; взлом снизу тонкого перекрытия между забоем разведочной скважины и плавуну при откачке, а также мгновенное поднятие пробки на 4, 6 м выше забоя; напорная вода, наблюдавшаяся при контрольном бурении на глубину до 10 м в районе насосного колодца и поднимавшаяся при вскрытии ее в плотном пласту мгновенно до уровня в ближайшем наблюдательном колодце. В закрепленной трубой скважине эта вода давала сильный приток (до 194,25 л/час), который, как правило, не действовал на уровень в ближайшем (через 1 м) наблюдательном колодце даже при откачке, продолжавшейся в течение часа. Наличие напора подтверждается также образованием водяного бугра вокруг колодца № 2, находящегося в условиях, аналогичных условиям колодца № 1, но не прошедшего до плавуну. Сходные явления гидростатического напора характерны для всего опытного участка. Об этом же свидетельствует и несоответствие количества откачиваемой горизонтальным дренажем воды и величины опускания уровня в районе его действия.

5. Непрерывная откачка из колодца № 1 в течение более 7 мес., с мая по декабрь 1930 г., способствовала понижению уровня в зоне действия его примерно на 0,40 м. Общая зона этого понижения совпала с распространением чашеобразной депрессии уровня, а точка максимума понижения — с точкой максимума этой депрессии. Величина понижения минимума близка величине депрессии. Влияние это по своему характеру подобно влиянию откачки на режим грунтовых вод в соседнем районе горизонтального дренажа. (Речь идет об опытном закрытом дренаже на ст. Золотая Орда).

6. Влияние колодца № 1 должно распространиться в радиусе не менее 500 м, а при увеличении рабочего напора — еще больше.

Мелкая скважина

Одновременно с испытанием глубокой скважины в 1930 г. в Золотой Орде была сооружена опытная скважина диаметром 12" только до плавуну глубиной 20 м. Она расположена в 1 км к северу от глубокого колодца № 1 и испытана откачкой как колодец с открытым дном.

Геологический разрез скважины аналогичен рассмотренному: до глубины 19,62 м залегает слой лессовидных суглинков, в основании которых расположен более плотный глинистый слой мощностью 0,5 м, тогда как в первой скважине он составляет 1,25 м. Скважина закончена в глинистом грунте и до глубины 19,62 м закреплена 12-дюймовой трубой с отверстиями диаметром 5 мм на протяжении верхних 8 м.

Опытная откачка из мелкого колодца описанной выше конструкции продолжалась с 28 января по 28 февраля (всего с перерывами качали 17 дней) и заметно не повлияла на уровень грунтовых вод вокруг колодца. При этом удельный дебит при нормальной работе колодца с открытым дном оказался равным 4 л/сек. Однако очень быстро произошло оседание стрелера в плавуну и дебит колодца уменьшился.

Сравнивая оба типа колодцев, Н. В. Макридин приходит к выводу, что поверхностный уровень грунтовых вод при откачке может заметно снизиться только при значительных рабочих напорах. Но поскольку глубокий колодец забирает воду с глубины 45—70 м, а мелкий — с 20 м, эффективность действия на поверхностный уровень грунтовых вод для мелкого колодца будет резче выражена, чем для глубокого, за счет меньшей зоны влияния.

Значительное преимущество мелкого колодца, по мнению Н. В. Макридина, — его дешевизна, проседания же кровли вследствие подмывания и промыва снизу глинистой почвы можно избежать заполнением каверны гравием.

Подводя итоги исследованиям, Н. В. Макридин отмечает, что опыты с вертикальными дренами в Голодной степи нельзя считать законченными, пока колодец № 1 не будет испытан при рабочем напоре примерно 12—15 м. Он считает необходимым закончить испытание мелкого колодца с открытым дном и, наконец, предлагает попутно испытать колодец большего диаметра — 24" с гравийной обсыпкой, заложенный в верхних слоях суглинков (15 м). Такой тип колодца отвечает рекомендациям американского инженера А. П. Дэвиса.

Если же колодцы всех трех типов не дадут желаемого эффекта, нужно будет испытать колодец четвертого типа, опущенный в мелкозернистые плавунные пески, залегающие непосредственно под суглинистой толщей. Последний вариант откладывается на крайний случай потому, что сооружение гравийного фильтра, как отмечалось, создает определенные трудности.

Анализируя результаты опытных работ, проведенных Н. В. Макридиным, и основываясь на многочисленных новых данных, мы можем совершенно определенно говорить о том,

какие положения Н. В. Макридина бесспорно должны быть приняты и какие, как показала практика, должны быть отвергнуты.

Прежде всего отметим, что конструкция колодца № 1 в принципе совершенно правильна — стренер располагался в наиболее гравелистых и хорошо водоотдающих грунтах, а вся мелкоземистая и мелкопесчаная часть перекрывалась глухой трубой. К недостаткам конструкции, которые признавал и сам Н. В. Макридин, относятся малый диаметр стренера (10") и наличие дополнительных сопротивлений, вызванных применением сетки. Этим и объясняется сравнительно небольшой удельный дебит колодца. В дальнейшем Узбекская гидрогеологическая экспедиция отказалась от применения для вертикального дренажа каких-либо сеток.

Опыт строительства колодцев на воду, как зарубежный, так и отечественный, показывает эффективность гравийных фильтров и надежность их в эксплуатации. Если такой фильтр невозможно создать путем строительной откачки скважины и вымыва в прилегающей к ней зоне мелкозернистых частиц песка, то его создают искусственно — засыпкой гравия либо через затрубное пространство, либо в специально пробуренные скважины (рис. 15).

Рассмотрим влияние откачки на уровень грунтовых вод.

Как мы уже отмечали, депрессионная воронка в опытах не была достигнута. Надо сказать, что это положение, трактовавшееся как полное отсутствие влияния откачки на уровень грунтовых вод, долгое время являлось серьезным препятствием для продолжения исследований вертикального дренажа в Голодной степи.

С нашей же точки зрения, данные, полученные Н. В. Макридиным, свидетельствуют как раз об обратном, т. е. о влиянии откачки на положение уровня грунтовых вод. Как отмечает сам автор, уровни в наблюдательных колодцах в период откачки, продолжавшейся непрерывно с 13 мая по 24 декабря 1930 г., располагались по чашеобразным вогнутым кривым, ясно вырисовывающимся по сравнению с прежним естественным уровнем.

Следовательно, даже такой относительно маломощный колодец (с дебитом менее 40 л/сек) и с небольшим напором (до 8 м) смог при длительной откачке вызвать понижение уровня грунтовых вод в прилегающей к нему зоне. Совершенно закономерно, что уровень грунтовых вод в этом случае не расположился в виде кривой депрессии типа воронки вокруг колодца. В данных гидрогеологических условиях при создавшемся режиме опытной откачки этого и не могло произойти. Дело в том, что откачка велась из гравийно-песчаной толщи, залега-

ющей на глубине 45 — 70 м и ниже. Эту толщу, покрытую сверху сравнительно мощным суглинистым покровом, можно рассматривать при работе колодца как напорную. Если бы пьезометры были опущены до песчано-гравелистых слоев, то,

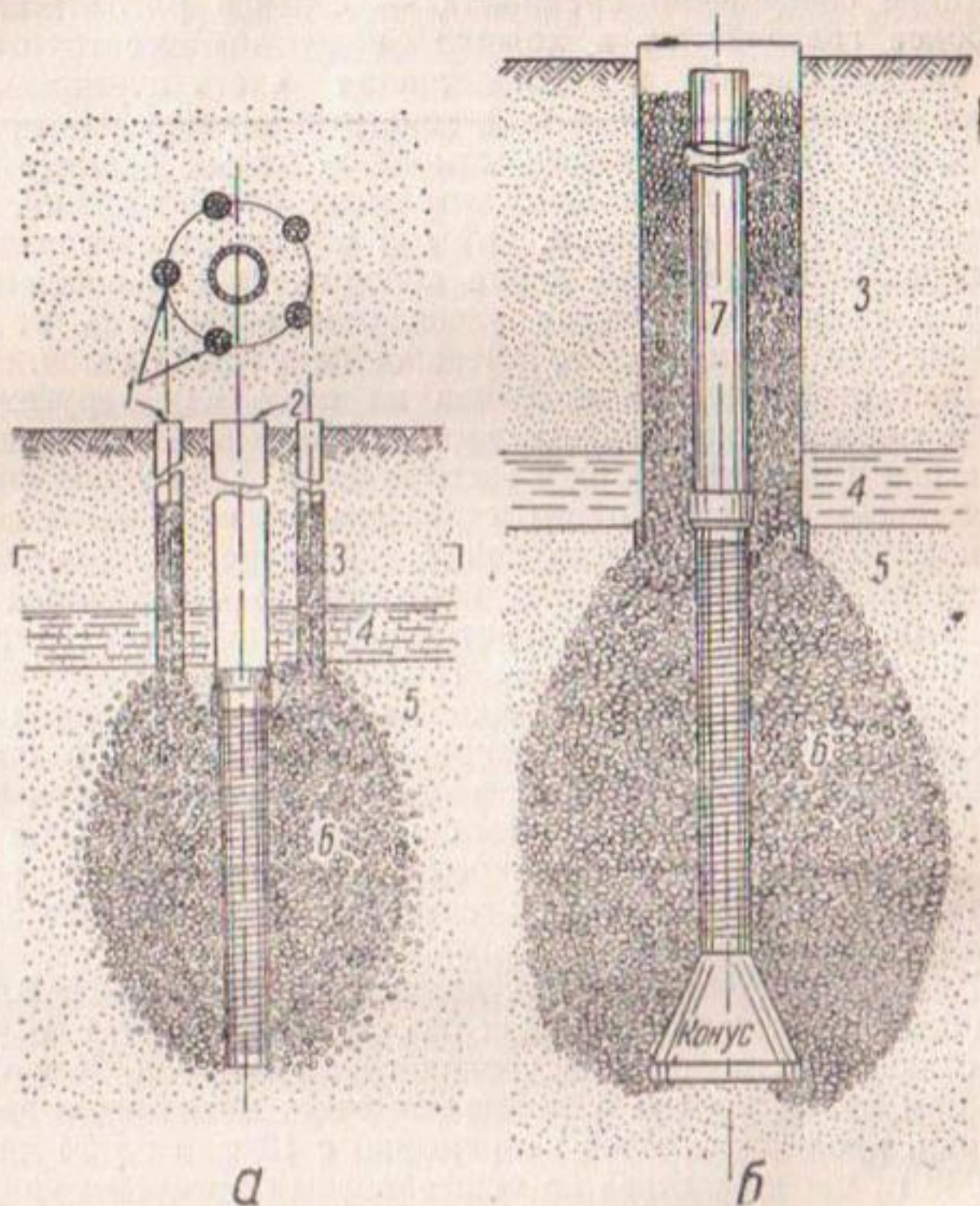


Рис. 15. Схема устройства гравийного фильтра (по Беннисону, 88). Загрузка гравия через питающие скважины (а) и затрубное пространство (б).

1— питающие скважины; 2 — обсадная труба центральной скважины; 3— тонкий песок; 4— песчаные глины; 5— водоносный песок; 6— гравийная обсыпка; 7— глухая часть трубы.

Счевидно, они фиксировали бы заметное снижение пьезометрического напора в нижнем слое, из которого ведется откачка. Однако такие наблюдения не были проведены. Поэтому можно лишь предполагать, что слабое понижение пьезометриче-

ского напора в нижнем водоносном горизонте, вызванное откачкой, обусловило очень медленное снижение зеркала грунтовых вод под влиянием разности напоров.

Однако снижение напора в песчано-гравелистом грунте в связи с малым дебитом откачки было недостаточным, чтобы создать эффективное понижение уровня грунтовых вод.

Если бы мы имели точные определения коэффициентов фильтрации и мощности мелкоземистых горизонтов для всех наблюдательных колодцев, то, очевидно, могли бы теоретически построить то чашеобразное понижение уровня грунтовых вод, которое было описано Н. В. Макридиным.

Мы считаем, что откачка из опытного колодца, проведенная Н. В. Макридиным, показала совершенно определенное влияние на уровень грунтовых вод и дала первые отправные моменты для расчетов подобных колодцев в условиях Голодной степи.

ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ УЗБЕКСКОЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Золотоордынский участок

Спустя почти 20 лет после опытов Н. В. Макридина сотрудниками Среднеазиатского института ирригации (САНИ-ИРИ) П. А. Панкратовым, А. П. Вавиловым, Т. П. Григорьевской в 1947 г. был разработан проект опытных работ, предусматривающий строительство трех скважин глубиной 60—70 м. Место для работ умышленно было выбрано в том же районе, где в 1928 г. проводил свои опыты Н. В. Макридин, т. е. близ ст. Золотая Орда, в Шур-Узякском понижении, отличающемся наиболее плохими мелиоративными условиями.

С 1949 г. работы были переданы Узбекской гидрогеологической экспедиции Министерства геологии и охраны недр, которая вела их до 1955 г.

Известно, что еще Н. В. Макридин высказывал соображение о том, что следует заложить дренажные колодцы в верхней части мелкоземистой толщи. Мощность покровных мелкоземов в районе Шур-Узякского понижения достигает порядка 20 м, а уровень грунтовых вод, залегающих в них, находится на глубине 1—2 м. Исходя из этого, было решено заложить такую скважину большого диаметра с гравийным фильтром и испытывать ее производительность.

Скважина была пройдена ударным способом. Закладывался шурф, в дно которого опускалась колонна 12-дюймовых труб на глубину 6,84 м. В нее были вставлены 8-дюймовые

трубы с перфорированными щелевидными отверстиями размером 100×10 мм, по 17 щелей в окружности и четыре яруса щелей на каждый погонный метр трубы; в грунт было посажено 16,5 м такого фильтра, затем произвели опробование верхней толщи суглинков. Откачка проводилась эрлифтной установкой с помощью компрессора производительностью $4,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ и трактора НАТИ.

В первый период откачки расход скважины возрастал с 0,6 до $4,75 \text{ л/сек}$, а уровень воды понизился на 6,3 м. При этом влияние откачки было особенно заметно в ближайших наблюдательных скважинах. Так, в скважине, расположенной в 5,7 м от опытной, уровень воды во время откачки опустился на 2,4 м. В более отдаленных скважинах это влияние сказывалось все меньше и меньше, и в наблюдательных пьезометрах, расположенных на расстоянии 100 м от скважины, уровень воды понизился не более чем на 3—4 см. После откачки скважина была углублена до 30,5 м ударным бурением, и дальнейшая проходка велась с помощью откачки.

В процессе откачки и выноса большого количества мелкозернистых частиц 8-дюймовую колонну фильтра в центре шурфа постепенно опускали и одновременно засыпали затрубное пространство гравийно-галечниковым материалом. Однако пройти таким образом удалось только до 32 м.

Производительность скважины вначале была около 5 л/сек , а в конце опыта возросла до $15,1 \text{ л/сек}$. Эта же скважина в дальнейшем была использована для определения водоотдачи суглинков при наличии мощного гравийного фильтра. Для этого 8-дюймовая колонна была извлечена и вместо нее посажена 14-дюймовая длиной 14,5 м. Пробная откачка показала быстрое уменьшение дебита, а затем прекращение его. Вскрытием фильтра скважины установлена сильная кольматация гравийно-галечникового материала частицами выносимого мелкозема. Таким образом, первая попытка сооружения дренажного колодца в покровной толще мелкоземов не увенчалась успехом.

Надо отметить, что П. А. Панкратов имел большой опыт строительства скважин с гравийным фильтром подобным же методом в районе Прикопетдагской равнины Туркменской ССР. В тех условиях он добивался значительного увеличения дебита, иногда до десятка или даже нескольких десятков раз. Чем же объясняется его неудача при сооружении скважины в Голодной степи? На наш взгляд, все дело было в совершенно ином механическом составе и физических свойствах мелкоземистых покровных толщ в Голодной степи и в Прикопетдагской равнине. В последней наряду с мелкоземистыми имеются песчаные и даже гравелистые частицы, тогда как голодно-

степские мелкоземы отличаются удивительной однородностью состава. Многочисленные анализы лессовидных суглинков, суглинков и легких глин, слагающих толщу мелкоземов Голодной степи, показывают, что они состоят преимущественно из частиц диаметром 0,05—0,001 мм, содержание которых колеблется в пределах 60—80, а иногда — 90%.

Насыщенные подземными водами такие грунты представляют собой грунтовую массу, которая приходит в движение под влиянием откачки и вместе с водой поступает в гравийный фильтр и скважину, способствуя тем самым созданию глинобетона, обладающего, как известно, почти полной водо-непроницаемостью.

После первой неудачной попытки было решено испытать откачками скважину большого диаметра, опущенную в подстилающие пески и песчано-гравелистые отложения. Одновременно ставилась задача проведения работ по разведке мощности и строения мелкоземистой толщи путем заложения трех поперечников почти в широтном направлении — от Правой ветки Кировского магистрального канала до линии ж. д. Мирзачуль — Велико-Алексеевская. Один из этих поперечников — самый южный — доходил до Мирзачуля, другой располагался примерно в середине между Мирзачулем и Золотой Ордой, третий — несколько севернее Золотой Орды (рис. 16, 17).

Главная цель этой разведки — определить условия залегания глин, прослой которых были обнаружены в основании толщи покровных суглинков, на границе с песками. Возникло опасение, что эти глинистые прослой могут отрицательно сказаться на снижении уровня грунтовых вод в мелкоземах под влиянием откачки из колодцев вертикального дренажа (опущенных в песчано-гравелистую толщу). Исследования показали, что глинистые пласты, действительно залегающие главным образом в основании мелкоземистой толщи, имеют сравнительно ограниченное развитие и линзообразное залегание. Мощность их не превышает 3—5 м; как правило, она составляет 1—1,5 м. Это, по-видимому, — отложения стариц или озер, которые оставались на поверхности аллювиальной равнины по мере миграции живого русла Сыр-Дарьи к северу.

Таким образом, было выяснено, что линзы и прослой глин могут иметь лишь местное значение для отдельных дренажных колодцев, заложенных непосредственно в их толщу. Для работы системы колодцев на значительной территории в северо-восточной (орошаемой) части Голодной степи наличие этих линз может несколько замедлить снижение уровня грунтовых вод в первый период ее работы в зависимости от распределения их по площади.

Новая опытная скважина была построена на том опытном участке, где в 1949 г. проводились описанные выше испытания колодцев, в 6 км к север-северо-востоку от ст. Золотая Орда. Начальный диаметр скважины был запроектирован 18", а глубина 80 м.

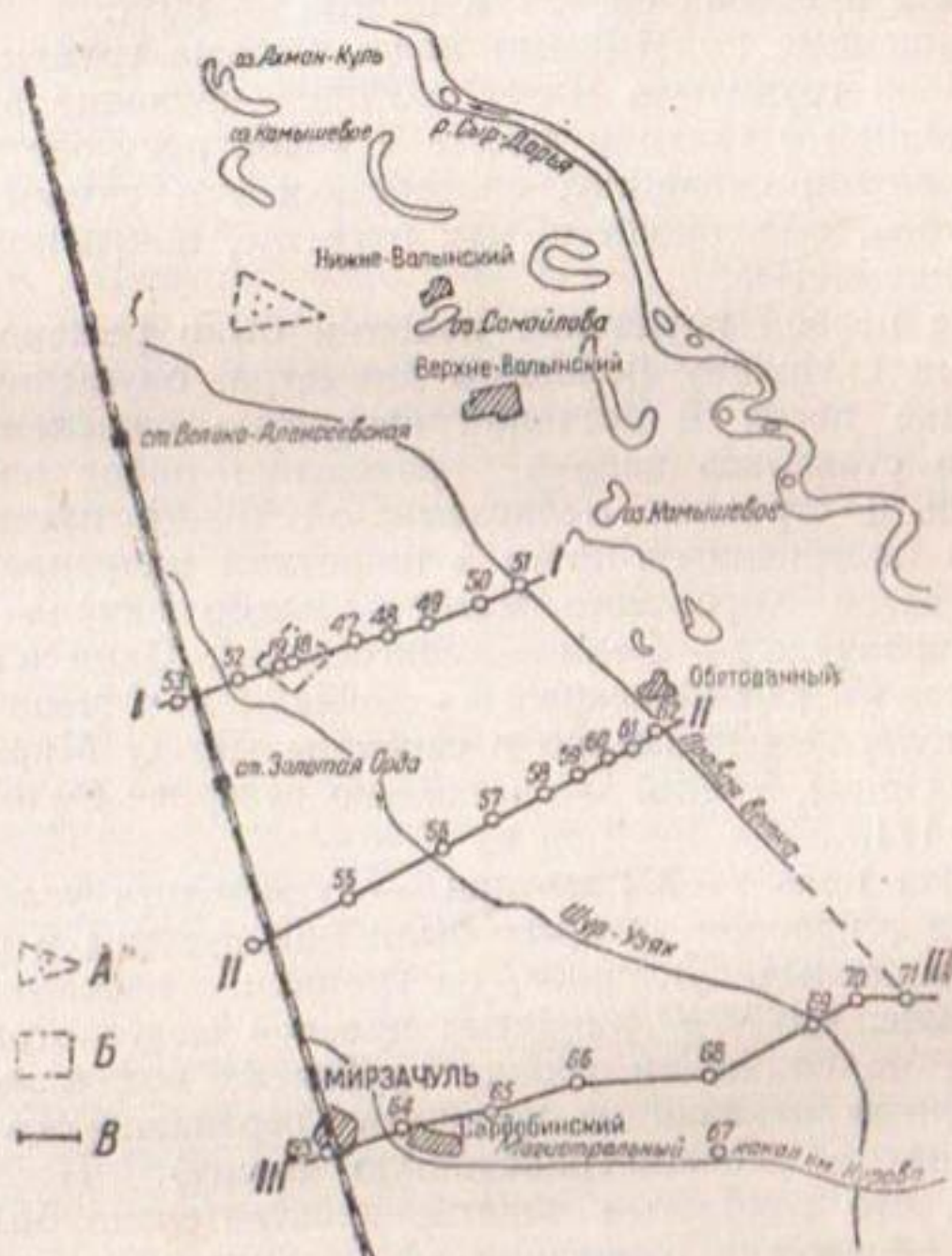


Рис. 16. Схема расположения опытных участков вертикального дренажа и разведочных поперечников (Узбекский гидрогеологический трест).

А — Велико-Алексеевский опытный участок; Б — Золотоордынский опытный участок; В — линии антологических разрезов (см. рис. 10).

Разрез скв. № 1 Золотоордынского опытного участка

- 0—22,6 Суглинок пылеватый с прослоями супеси и глины в нижней части
- 22,6—39,6 Мелко- и тонкозернистый песок плавунного типа, создающий при бурении пробки высотой до 14 м
- 39,6—77,9 Переслаивание разнозернистых песков с примесью гравия и гальки. Преобладают гальки размером от 2 до 6—8 см; содержатся подчиненные прослой глины и суглинков

Гидрогеолог Г. Д. Антонова [3—6], проводившая исследования, указывает, что мощность прослоев галечников незначительна (наибольшая — 0,8 м) и вся толща сильно насыщена песками. Отмечается также большое количество окатышей глины диаметром 10—12 см.

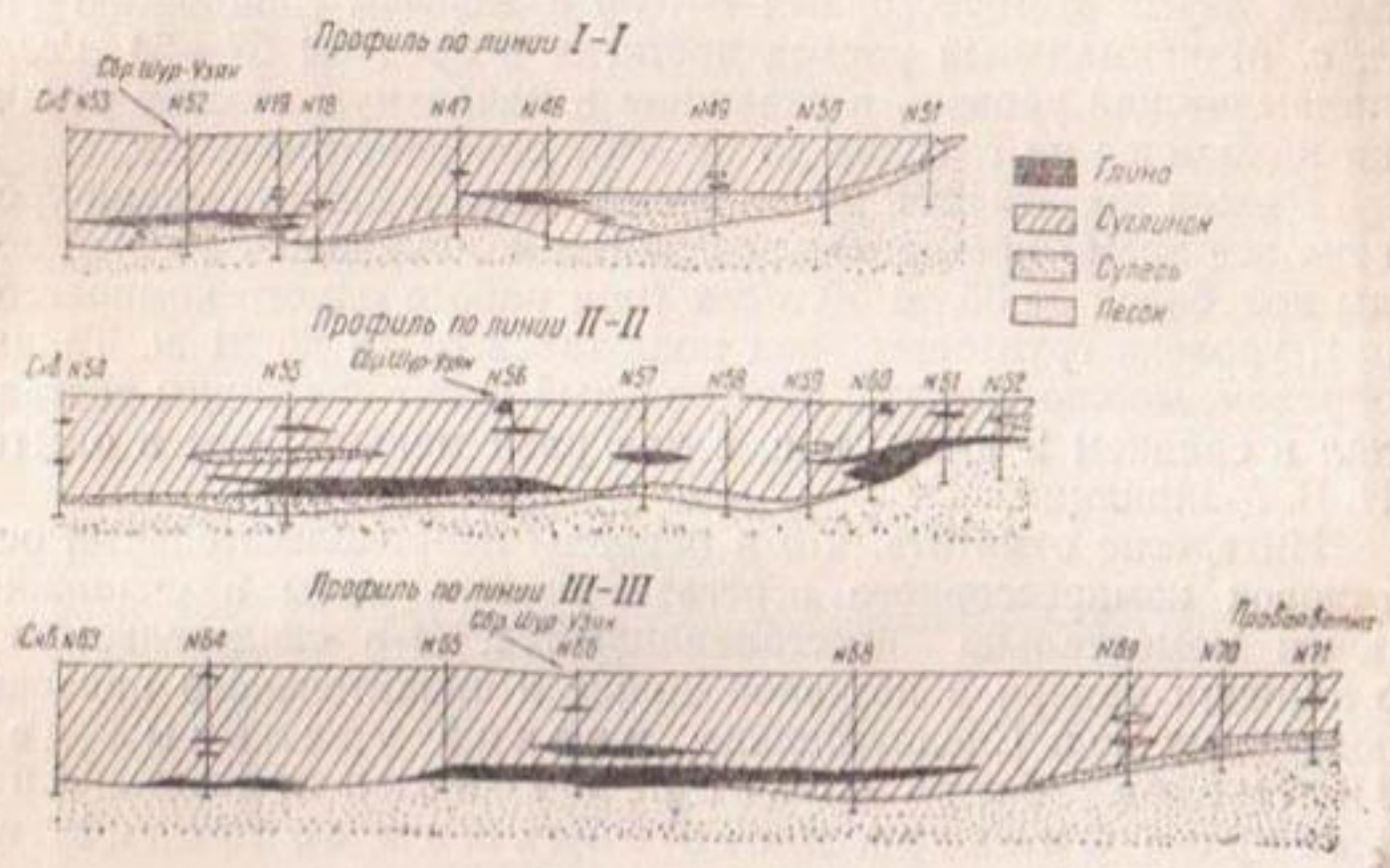


Рис. 17. Литологические разрезы толщи покровных мелкоземов (Г. Д. Антонова).

При проходке песчано-гравелистой толщи объем выносимых на поверхность при откачке пород значительно превосходил емкость цилиндра обсадных труб, особенно на глубине 55—60 м.

До оборудования скважины фильтром начальный диаметр составлял 18" до глубины 22,6 м и 14" — до 77 м.

После окончания бурения был подготовлен гравийно-сетчатый фильтр из каркаса, представляющего собой 12-дюймовую перфорированную трубу с круглыми отверстиями, при скважности 10%. Каркас был обмотан 3-мм проволокой с шагом витка 15—20 мм.

Глухая часть фильтровой колонны диаметром 12" опущена до 22,76 м. Рабочая часть гравийно-сетчатого фильтра установлена в интервале 22,76—74,25 м. С глубины 74,25 до 77,08 м располагался отстойник с пробкой в нижней части.

Гравийно-сетчатый фильтр представлял собой метровые отрезки двойной сетки квадратного плетения с 2-мм отверстиями (в свету $1,5 \times 1,5$ мм) и засыпанным в зазор между сеткой слоем гравия диаметром 2—8 мм (толщина слоя гра-

вия 5—7 см). Сетка покрыта составом парафина, канифоли и растительного масла.

Опытная откачка из скважины проводилась в течение более полугода — с 19 июня 1952 г. по 15 января 1953 г. Откачка велась почти непрерывно, при среднем расходе 43—45 л/сек, двумя компрессорами ВКС-6 с дизелем мощностью 110 л. с. Максимальный расход достигал в среднем 53—54 л/сек; динамический уровень в скважине в начальную стадию откачки находился на глубине до 28 м от поверхности земли.

Расход выдаваемой из скважины воды и динамический уровень все время претерпевали некоторые изменения. Расход воды колебался от 35 до 50 л/сек (при работе одного компрессора), уровень грунтовых вод понижался от 18 до 21 м. Таким образом, можно считать, что удельный дебит скважины составлял в среднем 2 л/сек, т. е. в два раза меньше, чем в опыте Н. В. Макридина.

Интересно отметить, что в периоды непродолжительных остановок компрессорного агрегата уровень воды в скважине почти моментально восстанавливается. Это свидетельствует о наличии напора в песчаной толще и значительного притока подземных вод. Следовательно, низкий удельный дебит может быть объяснен только малым диаметром фильтра и его большим сопротивлением на вход воды в скважину.

Влияние откачки на уровень грунтовых вод. Для наблюдения за влиянием откачки на уровень грунтовых вод были заложены два створа пьезометров (рис. 18). Створы располагались перпендикулярно — один в широтном, другой в долготном направлениях. По этим створам размещалось 25 наблюдательных кустов пьезометров. Каждый из них состоял из двух скважин, заглубленных одна в верхнюю часть покровных суглинков до 5,5 м и вторая — в верхнюю часть песчаной толщи до 28 м. Позднее были построены пьезометры глубиной 60 м.

Почти по всем пьезометрам велись регулярные наблюдения за положением уровня грунтовых вод и построены графики колебания за весь период, т. е. за 1950—1953 гг. (рис. 19). Годовые изменения уровня грунтовых вод в покровной толще и пьезометрических напоров в песчаных горизонтах очень близки.

Откачка из скважины незначительно влияла на уровень грунтовых вод. Наиболее отчетливо понижение уровня фиксировали пьезометры, опущенные в песчаную водоносную толщу, особенно те, что имели глубину 60 м. Мелкие пьезометры на глубине 5,5 м почти не отмечали понижения уровня. Это объясняется, с одной стороны, очень небольшим рас-

ходом воды при откачке из скважины, сравнительно небольшим сроком опыта и, наконец, совпадением последнего срока откачки с естественным сезонным повышением уровня грунтовых вод на территории Голодной степи.

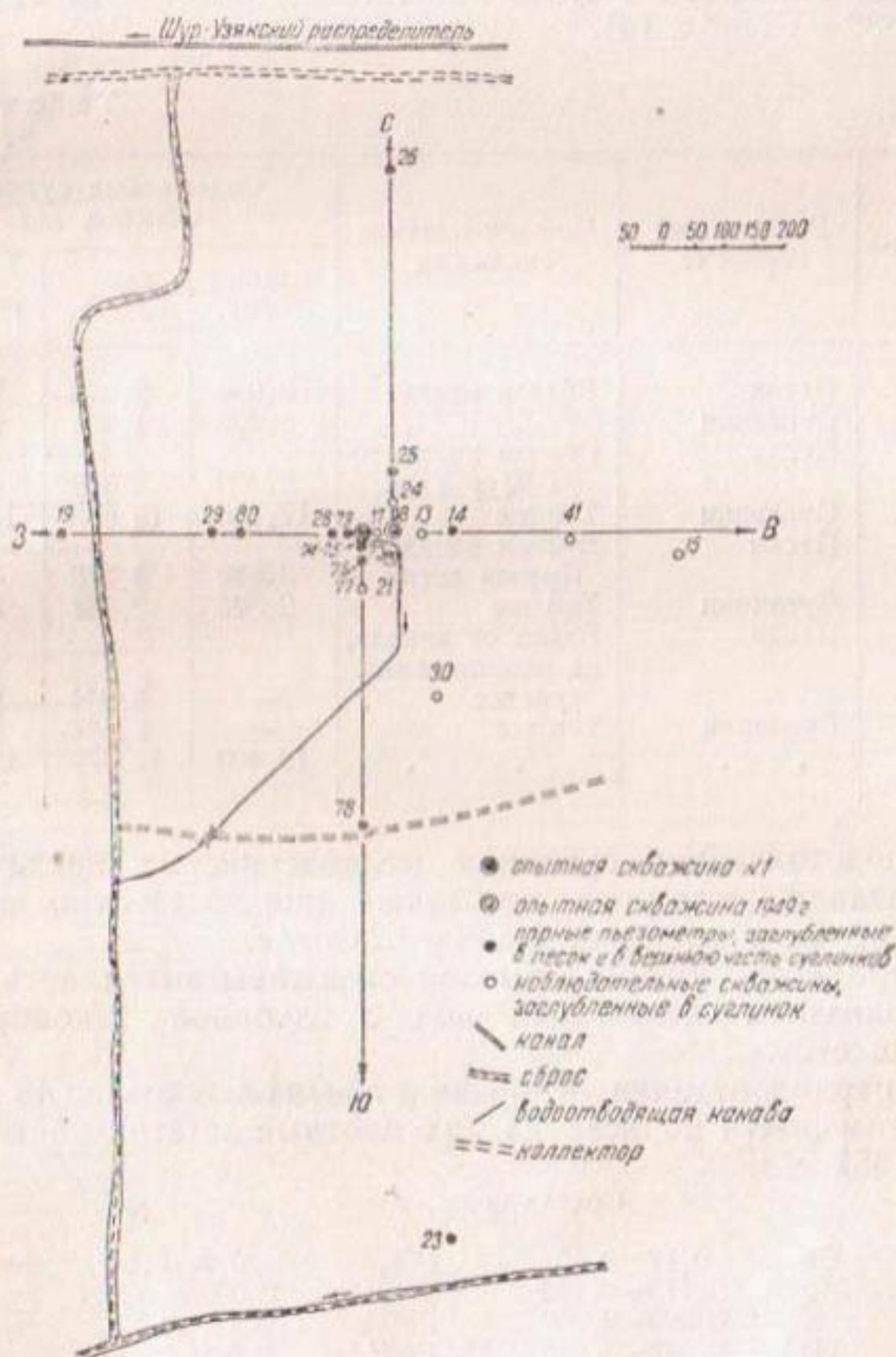


Рис. 18. Схема расположения наблюдательных скважин на Золотоордынском опытном участке (Г. Д. Антонова, 1953).

Минерализация подземных вод. Опытный участок сложен неосвоенными солончаковыми сероземами и солончаками.

Грунтовые воды, залегающие на глубине от 1 до 2 м, сильно минерализованы. Плотный остаток проб воды, взятой из мелких наблюдательных пьезометров, достигал 13,840 г/л.

Величина плотного остатка грунтовых вод на разведанной площади в покровной суглинистой толще колеблется от 0,936 до 19,680 г/л (табл. 14).

Таблица 14

Номер скважины	Водоносный горизонт	Местоположение скважины	Содержание сухого остатка, г/л		
			осень 1950 г.	лето 1951 г.	весна 1952 г.
62	Пески	Вблизи канала	3,040	2,344	1,544
62 а	Суглинки	" "	5,200	1,484	0,936
66	Пески	Вблизи коллектора Шур-Узяк	6,400	4,568	4,904
66 а	Суглинки	Там же	17,926	19,680	15,160
71	Пески	Вблизи канала Правая ветка	3,880	3,775	4,660
71 а	Суглинки	Там же	2,896	2,948	3,880
48	Пески	Вдали от канала, на неорошаемом участке	—	8,944	9,434
48 а	Суглинки	Там же	—	9,248	8,864
28 а	" "	" "	12,400	12,372	12,928

В подстилающих суглинки мелкозернистых песках минерализация подземных вод также еще достаточно высока и варьирует в пределах 1,544—9,248 г/л.

В процессе бурения опытной скважины выяснилось, что минерализация подземных вод с глубиной закономерно уменьшается.

В период откачки отобрано и проанализировано 48 проб. При этом почти во всех из них плотный остаток составлял 2,6—2,852 г/л.

Состав воды, г/л

Ca	0,12—0,15	NO ₂	0,0—0,01
Mg	0,115—0,132	NH ₃	0,0006—0,001
K	0,003—0,007	Fe ⁺⁺	0,1
Na	0,543—0,556	Fe ⁺⁺⁺	0,0
Cl	0,680—0,700	pH	7,2—7,6
SO ₄	0,888—0,963	Общая жесткость	16,72—18,26
HCO ₃	0,159—0,220	Устранимая жесткость,	
CO ₂	0,0—0,005	МГ-ЭКВ	2,79—3,59
SiO ₂	0,016—0,018		
R ₂ O ₃	0,00		

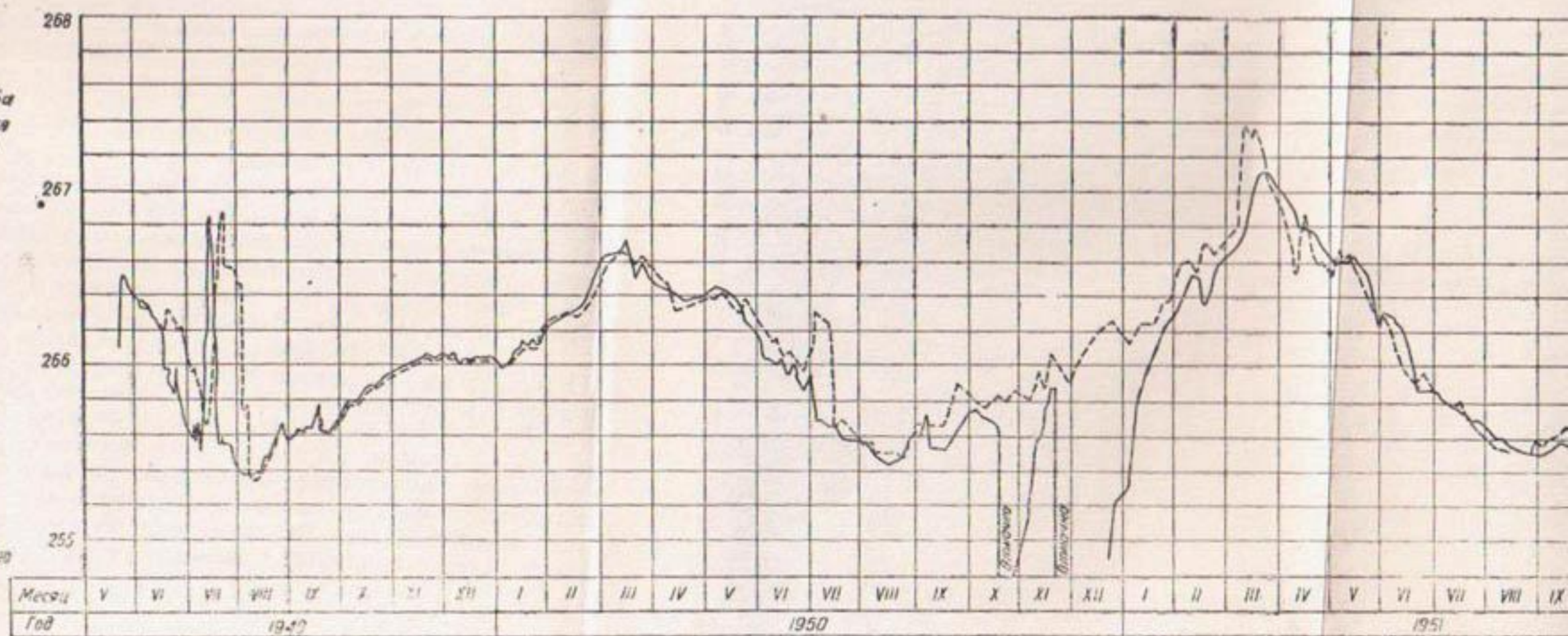
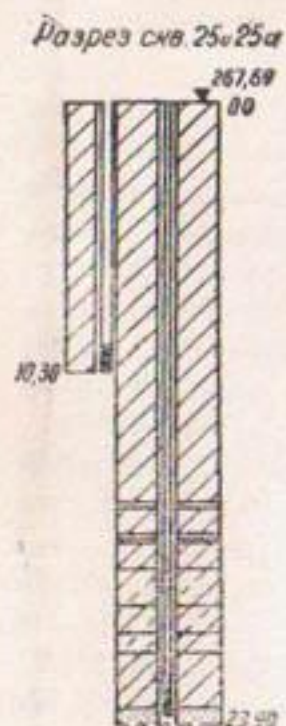
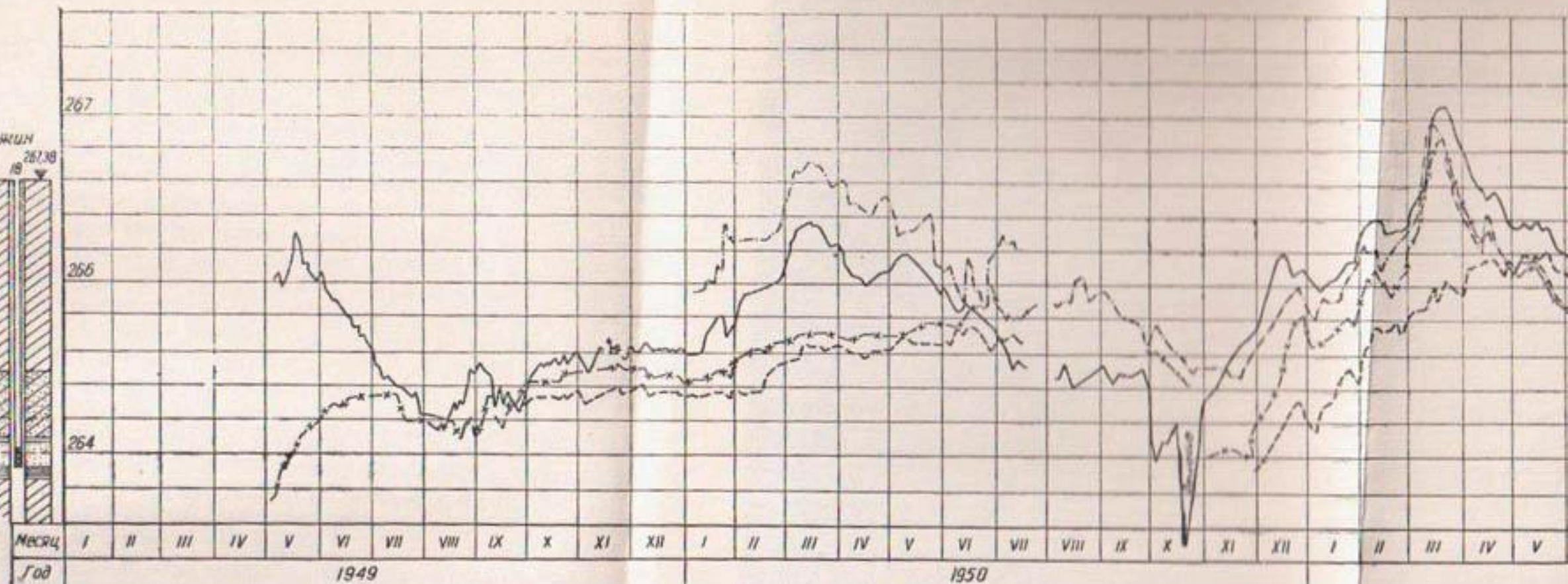
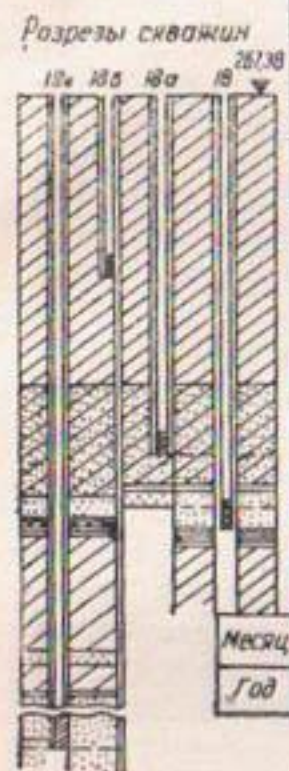
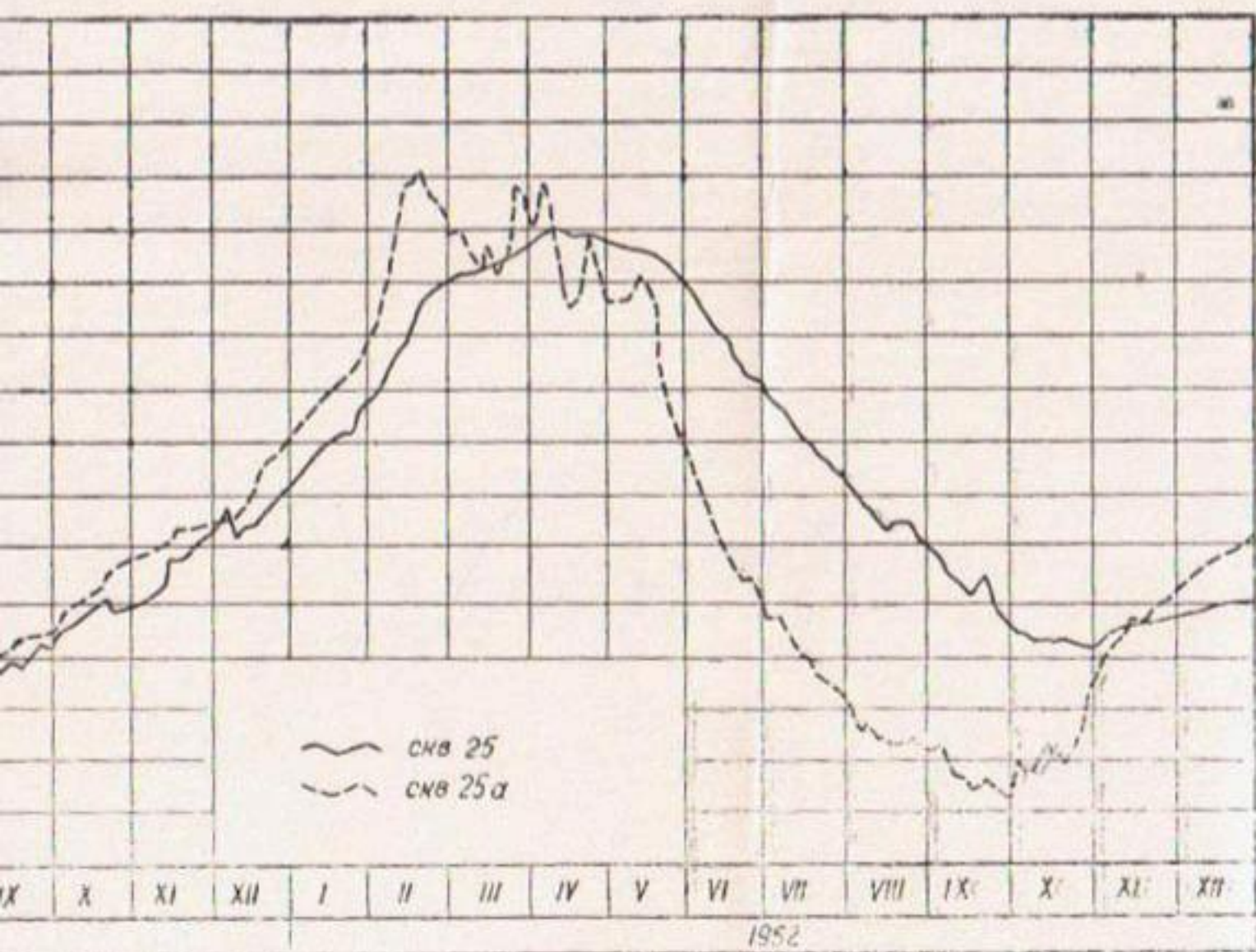
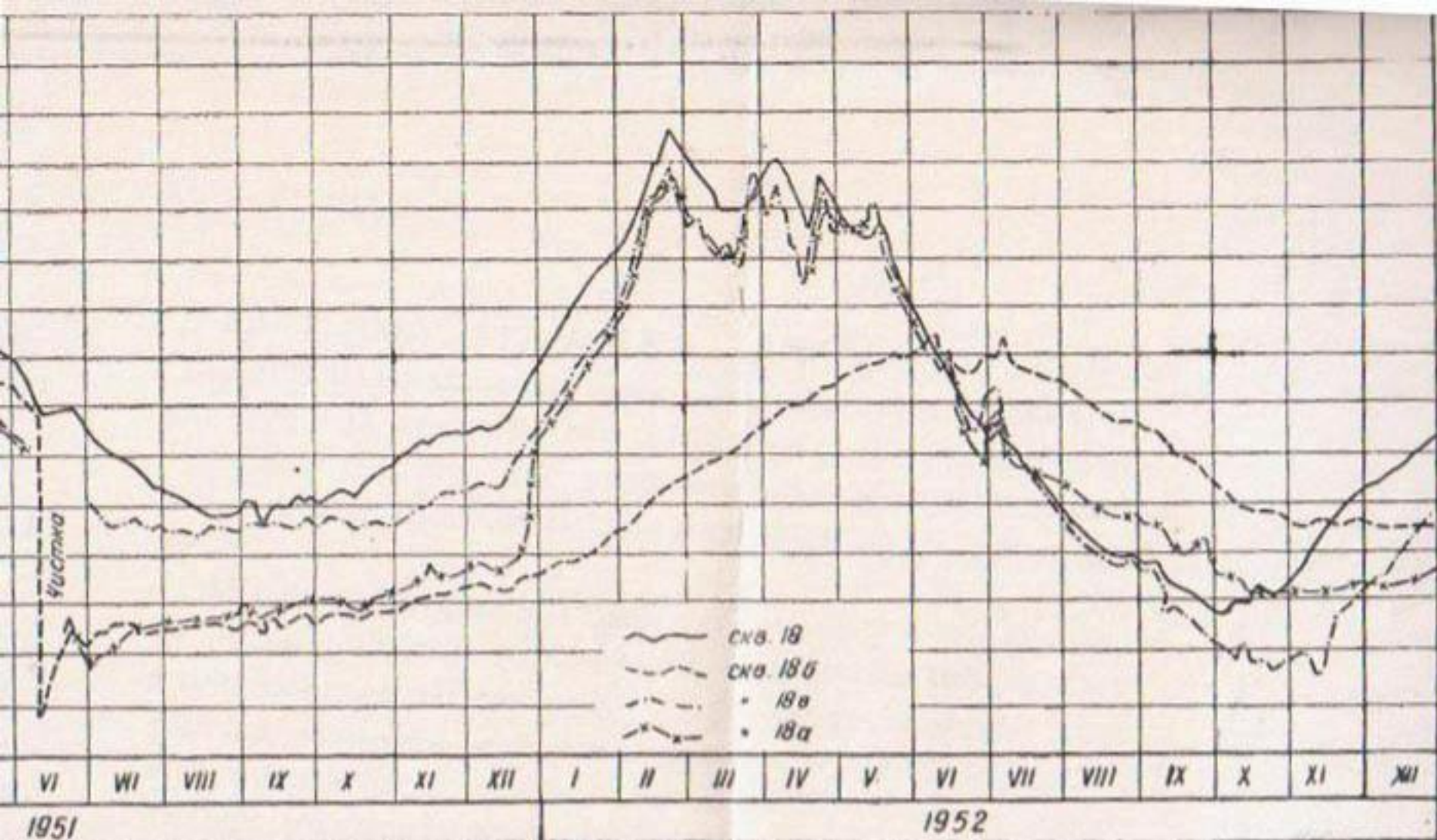


Рис. 19. Графики колебания уровня грунтовых вод по пьезометрам Золотоордынского опытного у



участка (Г. Л. Антонова).

Подводя итоги работ, Г. Д. Антонова приходит к заключению, что если первую задачу — изучение мощности и строения покровной толщи мелкоземов — можно считать разрешенной так же, как и изучение вопроса о связи между водами в нижней песчаной толще и уровнем грунтовых вод, то вторую, касающуюся опытной откачки из одиночной скважины, нельзя признать выполненной вполне удовлетворительно. Откачка велась на низком техническом уровне, поэтому по существу откачивалась только та вода, которая притекала из песчаной толщи, и лишь в том объеме, какой могла обеспечить производительность компрессора ДКС-6. Этим и объясняется столь незначительное влияние откачки на понижение уровня воды в пьезометрах, опущенных в песчаную толщу, и почти полное отсутствие его в пьезометрах, заложенных в суглинистые верхние горизонты.

Таким образом, на первом опытном участке не были выяснены вопросы о взаимодействии между отдельными вертикальными дренами, оптимальном расстоянии между ними, дренирующем влиянии откачки на грунтовые воды, а также о способах строительства гравийного фильтра.

Для решения всех этих вопросов был составлен новый проект исследований вертикального дренажа. Участок был выбран с относительно более простыми условиями в Велико-Алексеевском районе, Верхне-Волынского с/с, на землях колхозов им. К. Маркса, в 7 км к северо-востоку от ж.-д. ст. Велико-Алексеевская (см. рис. 16).

ВЕЛИКО-АЛЕКСЕЕВСКИЙ УЧАСТОК

Участок расположен на поверхности второй террасы Сыр-Дарьи, в пределах которой мощность мелкоземистого покрова не превышает 5 м. Непосредственно под мелкоземами залегают аллювиальные пески, из которых и предполагалось вести откачку. Проектировалось заложить три опытные скважины для выяснения их взаимодействия и определения мелиоративного эффекта при групповых откачках.

Работы на этом участке были начаты в 1952 г. заложением разведочно-опытной скв. № 3 глубиной 120 м. Скважиной вскрыт следующий разрез: суглинок — 2,1 м; супесь — 2,4 м; песок мелкозернистый, заиленный, плавун — 1,4 м; песок мелкозернистый, содержащий рассеянные зерна гальки и гравия и многочисленные прослои глин 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 менее 0,1 мм составляют от 3—4 до 15%. Общая мощность песчаной толщи 38,5 м.

Толща подстилается плотными суглинками мощностью 10,8 м, залегающими в интервале 43,3 — 54,1 м. На глубине 54,1 — 58,8 м залегают переслаивающиеся между собой суглинки, супеси и пески, причем мощность отдельных слоев колеблется от 0,2 до 1 м. Общая мощность толщи 4,7 м, еще ниже (58,8—61,9 м) залегает суглинок мощностью 3,1 м, затем снова пески мощностью 4,3 м (61,9—66,2 м), которые подстилаются суглинками, местами переходящими в глины мощностью до 29,4 м (на глубине 66,2—95,6 м). В интервале 95,6—97,6 м — супесь мощностью 2 м; 97,6—103,9 м — пески мелкозернистые мощностью 6,3 м. Под ними залегает слой глины в 1,5 м, и ниже, на глубине 105,4—120 м, лежат водоносные пески, в основном мелкозернистые с примесью гальки до 10—15%. При бурении в этой толще встречены даже единичные мелкие валуны диаметром до 20 см.

Анализы проб воды вскрыли ту же закономерность уменьшения минерализации подземных вод с глубиной, что и на Золотоордынском участке; только степень минерализации в скважине Велико-Алексеевского участка оказалась меньше.

Для верхнего горизонта грунтовых вод в суглинках величина плотного остатка колебалась от 1496 до 9656 мг/л; для первого водоносного горизонта в песках на глубине 4,83—43,3 м, — от 1169 до 2200 мг/л, общая жесткость варьировала в пределах 29,7—58,2 мг·экв; устранимая — от 5,6 до 9,5 мг·экв. Минерализация воды второго водоносного горизонта (61,9—66,2 м) составила 624 мг/л, а самого нижнего (на глубине 105 м) — 492 мг/л, причем для первых двух пластов она была хлоридно-сульфатного, а для нижнего — гидрокарбонатно-сульфатного типа.

Было признано целесообразным начать эксплуатацию верхней песчаной водоносной толщи, залегающей непосредственно под незначительным слоем суглинков, в интервале 4,8—43,3 м.

Таким образом, глубина опытных скважин была ограничена 50 м. Три скважины (№ 2, 3, 4), расположенные по треугольнику со сторонами 300—500 и 590 м, составили опытный куст вертикального дренажа.

Разрезы скв. № 2 и 4 аналогичны приведенному выше.

Глубина грунтовых вод, вскрытая скважинами, 1,7—2,1 м. Опытные скважины в процессе проходки оборудованы обсадными 18-дюймовыми трубами до кровли суглинков, залегающих в основании песков; до глубины 43,8 м фильтровая колонна состоит из 14-дюймовых дырчатых труб с отверстиями

диаметром 14—18 мм; общая скважность фильтра — 10%. Поверх дырчатого каркаса была сделана обмотка из проволоки диаметром 3 мм таким образом, чтобы каждое отверстие было пересечено одной нитью обмотки.

Нижняя часть фильтровой колонны, погруженной в суглинки на глубину 7,5 м, представляла собой отстойник, сделанный из глухих 12-дюймовых труб.

После спуска подготовленной на поверхности фильтровой колонны 18-дюймовые обсадные трубы были извлечены; перфорированная часть фильтра тут же заполнилась песком, а вокруг скважины образовалась провальная воронка.

Гравийный фильтр во всех трех опытных скважинах был устроен различно. Вначале гравийная обсыпка шла параллельно с чисткой скважины желонкой. По мере извлечения песка гравий засыпали в затрубное пространство колонны (диаметр зерен гравия 3—40 мм). Работа продолжалась 12 смен, и только после этого удалось расчистить скважину до 49 м, вынуть при этом почти 40 м³ песка и одновременно засыпать в затрубное пространство такое же количество гравия.

В дальнейшем гравийный фильтр формировался в процессе строительной откачки, которая велась эрлифтными установками с помощью компрессоров марки ЗИФ-56 с дизелем ЯАЗ-204 и марки ЧЗМЗ с дизелем КДМ-46.

Мощность гравийных фильтров в трех опытных скважинах различна. Самый маломощный гравийно-сетчатый фильтр, аналогичный созданному на Золотоордынском участке для скв. № 1, был поставлен в скв. № 2. Объем гравийной засыпки составлял здесь 45 м³, а средний радиус провальной воронки на поверхности земли не превышал 1,9 м. При откачке из колодца с этим фильтром получен наименьший расход.

В скв. № 3 засыпка гравия в затрубное пространство производилась в процессе строительной откачки и сопровождалась интенсивным выносом песка. Количество засыпанного гравия в этой скважине оказалось наибольшим — 135—140 м³, при этом радиус провальной воронки достигал 3,3 м. Эта скважина дала самый высокий дебит.

Скв. № 4 по количеству засыпанного гравия и по дебиту занимает промежуточное между скв. № 2 и 3 положение. Радиус провальной воронки, которая образовалась у ее устья, достигал 2,6 м, а общий объем засыпанного гравия — 85—90 м³.

Результаты опытных откачек. Опытные откачки проводились эрлифтными установками с воздухоудвными трубами диаметром 63/49 мм и водоподъемными диаметром 218/203 мм, при центральном их расположении. Количество откачиваемой

воды определялось объемным способом, а динамический уровень замерялся хлопущкой или поплавком.

Наблюдения в период откачки велись ежечасно. Опытные откачки проводились по следующей методике. Вначале велись индивидуальные откачки — из каждой скважины. Продолжительность их 1—1,5 мес.; затем — так называемые парные откачки из скв. № 3 и 4 продолжительностью почти 2,5 мес. и, наконец, в течение 2 мес. проведена групповая откачка, т. е. в работу включена и скв. № 2, которая в период парной откачки бездействовала.

Откачка из опытной скв. № 2 проводилась с 31 июля по 2 сентября 1953 г. Расход откачиваемой воды колебался от 41,3 до 50,8 л/сек; уровень воды в скважине понижался с 7,8 до 10,1 м, а удельный дебит оставался в пределах 5,02—5,04 л/сек.

Откачка из скв. № 2 оказала заметное влияние на понижение уровня грунтовых вод в пьезометрах, расположенных на расстоянии 540 м.

При этом, в отличие от Золотоордынского участка, пьезометры, заложенные в покровную суглинистую толщу, реагировали на откачку так же хорошо, как и опущенные в подстилающие пески.

Откачка из скв. № 3 велась с 12 октября по 19 декабря 1953 г. Самый низкий уровень грунтовых вод по большинству пьезометров был отмечен в конце октября — начале ноября. Позднее наблюдалось повышение уровня воды, обусловленное общим повышением уровня грунтовых вод.

Сква. № 3 давала наименьший расход — от 25,1 до 40,5 л/сек, а понижение уровня — от 3,8 до 6,2 м. Радиус влияния этой скважины 290 м.

Наибольшая производительность достигнута по скв. № 4: расход ее изменялся в пределах 44,3 — 65,2 л/сек, а уровень воды понижался от 7,49 до 10,9 м; радиус влияния откачки — 520 м.

На основании опытных данных Г. Д. Антонова по формуле Дюпюи рассчитала средний коэффициент фильтрации водоносных песков, который составил 16,4 м/сутки, или 0,19 мм/сек.

Весной 1954 г. проведена групповая откачка из всех трех скважин с общим средним дебитом 124,6 л/сек и понижением уровня воды в скважинах в среднем на 6,2—8,5 м.

Откачка велась в период общего повышения уровня грунтовых вод на территории второй террасы Сыр-Дарьи. Тем не менее уровень грунтовых вод в средней части дренированной площади понизился на 1,7—2,4 м.

В 1955 г. на этом же участке был испытан насос новой конструкции ВП-24×5, сконструированный лабораторией ма-

шинного водоподъема САНИИРИ специально для работы на скважинах вертикального дренажа. Насос имеет пять колес с полным напором 25 м, производительностью 50—190 л/сек и мотором мощностью до 70 квт. Испытания показали перспективность получения расхода до 180—200 л/сек при понижении уровня воды в скважине на 19—20 м.

Качество откачиваемых вод. Химический анализ показал некоторую неоднородность минерализации подземных вод, извлекаемых из опытных скважин. Наиболее минерализованной оказалась вода, откачиваемая из скв. № 4. Величина плотного остатка изменилась в период откачки от 1602 до 2224 мг/л, а общая жесткость — от 10 до 18 мг-экв (причем вода имела сероводородный запах).

Скважина расположена вблизи болота, занимающего, очевидно, древнюю старицу реки, чем и объясняется несколько повышенная минерализация воды: увеличение ее в процессе откачки обусловлено дренированием болотных вод.

Относительно лучшего качества оказалась вода скв. № 2: плотный остаток 900—1146 мг/л, тогда как для скв. № 3 (откачка в течение 7 мес.) он колебался в пределах 1449—1896 мг/л, причем отмечалось некоторое снижение его в процессе откачки из скв. № 4. Температура воды 16—17°.

Использование откачиваемых вод на орошение. Опыты проведены на переложном участке в колхозе им. К. Маркса. Пользуясь откачиваемой подземной водой, колхоз в 1954 г. освоил небольшую территорию, примерно 20 га, под хлопчатник и получил на ней урожай около 20 ц/га.

Фенологические наблюдения за развитием растений и динамикой водно-солевого режима почвы на участке, орошаемом откачиваемыми подземными водами, проводила Центральная опытно-мелиоративная станция САНИИРИ (агроном А. И. Калашников). Опыты показали полную пригодность подземных вод для орошения.

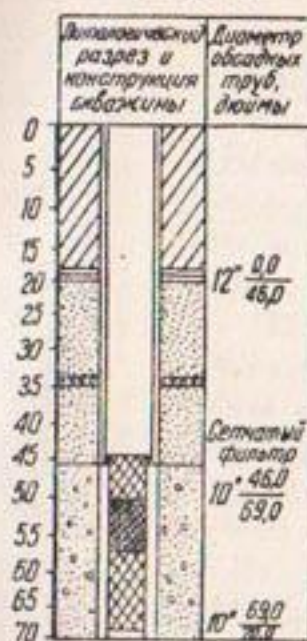
ВЫВОДЫ

1. К началу 1956 г., когда было принято решение о строительстве опытно-производственных систем вертикального дренажа, в Голодной степи было построено и испытано восемь колодцев (рис. 20, табл. 15 и 16). Пять из них в пределах Шур-Узякского понижения исследовались как одиночные, а три колодца, заложенные на второй террасе Сыр-Дарьи, испытаны в групповой работе.

Результаты исследований на Велико-Алексеевском участке подтвердили мнение о сравнительно легких условиях мелиорации второй террасы.

Номер опыт- ного колод- ца	Местополо- жение сква- жины (автор и год иссле- дования)	Тип опыт- ного колод- ца	Глу- бина, м	Фильтр		Тип фильтра
				диа- метр, дюй- мы	длина, м	
1	Ст. Золо- тая Орда (Н. В. Мак- ридин, 1929—1930)	Буровой с открытым дном	20	12	8	В верхней части разреза трубы перфорированы, отверстия $d =$ $= 5 \text{ мм}$
2		Несовер- шенный буровой	70	10	25	Перфориро- ванные трубы с сеткой сечением 2×2 и $3 \times 3 \text{ мм}$
3	В 6 км к северо-вос- току от ст. Золотая Орда (Г. Д. Антонова, 1949—1950)	Мелкий бу- ровой в суглинке	16,5	8	16,5	Щелевидные от- верстия 100×10 мм по 17 щелей в 4 пояса на 1 пог.м
4		Несовер- шенный бу- ровой	30,5	8	30,5	В процессе от- качки засыпка галечника в зат- рубное простран- ство
5		Несовер- шенный бу- ровой	77,8	12	51	Гравийно-сетча- тый фильтр, тол- щина слоя 5—7 см, размер гравия 2—8 мм, перфори- рованные трубы, скважность 10%, сетка $1,5 \times 1,5 \text{ мм}$
6	Колхоз им. К.Марк- са, Верхне- Волын- ского с/с, Сыр-Дарь- инского района Расстояние между скважина- ми 500— 600—590 м (Г. Д. Ан- тонова, 1952—1955)	Совершен- ный буро- вой	48	14	41	Гравийно-сетча- тый фильтр, гра- вия 45 м^3 , пер- форированные трубы, скваж- ность 10%
7		Совершен- ный буро- вой	50	14	42	Гравийный фильтр, размер зерен—3—40 мм, гравия $135—$ 140 м^3 , перфори- рованные трубы, скважность 10%
8		Совершен- ный буро- вой	51	14	43	Гравийный фильтр, гравия $85—90 \text{ м}^3$, пер- форированные трубы, скваж- ность 10%, диа- метр отверстий 14—18 мм

Глубокая скв. Н.В.Макридина
1929-1930 гг.



Мелкая скв. Н.В.Макридина
1929-1930 гг.



Скважина Г.Д. Антоновой
1951-1953 гг.

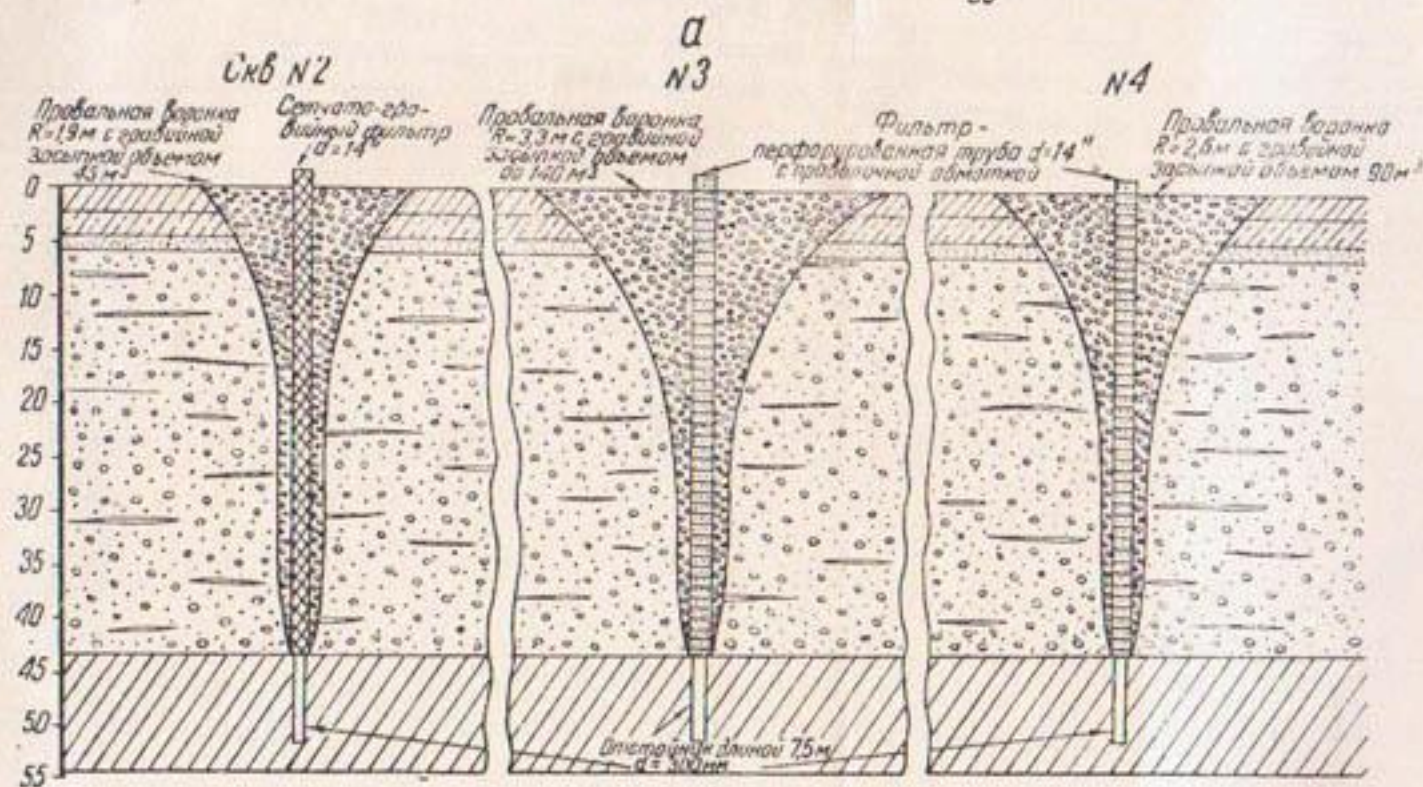
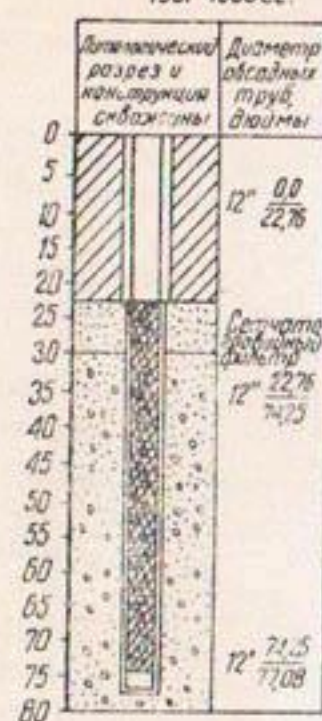


Рис. 20. Разрез и конструкция опытных скважин вертикального дренажа.

а — Золотоордынский участок; б — Велико-Алексеевский.

Значительно сложнее обстоит дело с Шур-Узякским понижением, где мощность мелкоземистого покрова достигает 16—20 м, а толща его сильно засолена. Поэтому испытания пяти одиночных колодцев в этих условиях представляют особенно большой интерес. По существу были испытаны все четыре возможных в данных гидрогеологических условиях варианта колодцев (рис. 20).

Таблица 16

Номер опытного колодца	Водоносный горизонт	Общая про- должитель- ность откачки	Пониже- ние уров- ня воды в колод- це, м	Расход, л/сек	Удель- ный де- бит, л/сек	Наб- люда- емый ради- ус влия- ния, м
1	Суглинки и песок-плы- вун	17 дней	—	—	4	—
2	Песчано-гра- вистые слои	8 мес.	8,1	37	4,5	500
3	Лессовидные суглинки	5 дней	6,3	4,75	1,3	100
4	Лессовидные суглинки и мелкозер- нистые пески	13 "	7,6	15,1	2	150
5	Песчаная и песчано-гра- вистая толща	6 мес.	26	52	2	—
6	Пески	1,5 "	9,8	44,3	5,02	556
7	Пески	8 "	3,8—6,2	25,1— —40,5	6,1	290
8	Пески	12 "	11,9	65,2	6,03	520

2. Основной недостаток бурового колодца с открытым дном (табл. 15 и 16, колодец № 1), опущенного до плывунов, и с фильтром в верхней части хорошо проницаемых мелкоземов — слабая прочность глинистой кровли, залегающей над плывуном, благодаря чему колодец быстро осел и деформировал образованную в песках каверну, уменьшив тем самым расход подаваемой воды.

Самые лучшие результаты получены для бурового колодца, опущенного в гравелисто-песчаные слои, с естественным гравийным фильтром, длиной 25 м, образованным вокруг стренера в процессе строительной откачки. Удельный расход колодца 4,5 л/сек (табл. 16, колодец № 2).

3. Попытка включения в эксплуатацию мелкозернистых пливунов в интервале глубин 22,6—30,6 м при увеличении в два раза длины фильтра не оправдала себя: удельный дебит скважины снизился, а стоимость ее возросла, так как потребовалось сооружение искусственного гравийного фильтра (колодец № 2, табл. 15 и 16).

4. Еще менее удачными оказались опытные скважины, заложенные в верхней части водоносной толщи в суглинках и подстилающих их тонкозернистых пливунах. Фактически произошла почти полная кольматация гравийного фильтра, что свидетельствует о несоответствии гравийной засыпки составу водоносного грунта и о малой перспективности такого типа колодцев в данных условиях (колодцы 3 и 4, табл. 15 и 16).

5. Скважины, заложенные в колхозе им. К. Маркса, различались толщиной гравийной засыпки (табл. 15 и 16, колодцы № 6, 7, 8). Соотношение засыпанного гравия 1:2:3, при общем количестве его 45, 90 и 140 м³ в каждой скважине. Однако такое большое количество засыпанного гравия не привело к соответственному увеличению удельного расхода скважин, который для всех трех скважин колебался в пределах 5—6 л/сек. Поэтому распространенное мнение о том, что чем больше мощность гравийного фильтра, тем больше расход в скважине, вряд ли можно считать обоснованным.

Большие расходы в скважине сопровождались соответственно большими понижениями уровня воды, тогда как удельный дебит ее оставался примерно тем же. Известно, что строительство мощного гравийного фильтра связано со значительными материальными затратами, поэтому вопросу о правильном сооружении его следует уделить серьезное внимание. Во всяком случае результаты испытания трех гравийных фильтров в колхозе им. К. Маркса заставляют считать, что примененные мощности превысили оптимальные размеры.

В общем опытами Н. В. Макридина и исследованиями Узбекской гидрогеологической экспедиции установлена возможность понижения уровня грунтовых вод путем откачки из колодцев, опущенных в песчано-гравелистые слои.

Опыты показали, что

а) наиболее перспективен глубокий колодец большого диаметра, опущенный в песчано-гравелистые слои, с естественным гравийным фильтром, получаемым (где это возможно) в процессе строительной откачки;

б) конструкция колодца и насосно-силовое оборудование его должны быть таковы, чтобы обеспечить получение максимального расхода воды. В условиях Шур-Узьяского понижения расход колодца может быть в 5—10 раз больше того, что получал в своих опытах Н. В. Макридин.

Глава VIII

ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Проблема мелиорации орошаемых земель Голодной степи возникла вместе с началом освоения их, и в первых же проектах появилась идея применения вертикального дренажа. Однако на протяжении более чем 30 лет исследователи пытались подойти к осуществлению этой идеи чисто эмпирически, сооружая отдельные опытные колодцы и проводя испытание их. Никакой общей теоретической разработки в основу этих испытаний положено не было. И если в 1929 г. проф. Н. В. Макридин при анализе результатов исследования пользовался методом аналогий и привлекал для сравнения данные из практики США, то в дальнейшем этот опыт по существу почти не учитывался.

Мы решаем проблему применения вертикального дренажа в Голодной степи в совершенно новой постановке: на первый план выдвигаем идею использования глубинных пресных подземных вод на орошение. В связи с этим рассмотрена структура гидрогеологического бассейна, выяснена его природа, описано крупное подземное водохранилище в зоне современного орошения Кировского магистрального канала, подсчитаны его запасы (статические и динамические), а также — разработан вопрос о применении системы вертикального дренажа на определенных наиболее перспективных территориях. Мелиоративный эффект при этом должен быть главной целью: откачка пресных глубинных напорных вод снизит пьезометрические напоры нижних горизонтов и создаст условия для постепенного понижения зеркала соленых грунтовых вод до нужных размеров. Орошение и промывки будут способствовать образованию пресных грунтовых вод.

Строительство опытно-производственных систем на участках в несколько тысяч гектаров в наиболее перспективных районах является первым шагом в осуществлении вертикального дренажа. Цель их — проверка и уточнение изложенных выше расчетов и прогнозов с тем, чтобы можно было смелее вести строительство на больших массивах. Поэтому соору-

жение этих систем сопровождается специальными наблюдениями и исследованиями, в задачу которых входит:

а) проверка методов расчета числа, дебита и размещения скважин в системе;

б) проверка принятых в расчетах параметров (коэффициентов фильтрации, радиусов влияния, удельных дебитов и других величин);

в) испытание конструкций дренажных колодцев, особенно наиболее важной их части — фильтров. Разработка новых конструкций и способов устройства гравийных фильтров в условиях мелких песков;

г) выбор и испытание насосно-силового оборудования и разработка схем энергоснабжения и автоматизации;

д) разработка технических условий эксплуатации скважин вертикального дренажа;

е) решение вопросов использования подземных вод на орошение;

ж) установление мелиоративного и экономического эффекта и в связи с этим выявление оптимального режима работы системы вертикального дренажа.

Шур-Узякский участок

На основании анализа гидрогеологических и мелиоративных условий в зоне современного орошения Голодной степи были выдвинуты для проектирования опытно-производственных систем два участка. Один из них — на землях совхоза «Социализм», в Шур-Узякском понижении, как известно, давно привлекал внимание мелиораторов и явился объектом опытных работ 1929—1930 и 1949—1951 гг.

Участок занимает днище Шур-Узякского понижения; его правый склон вытянут в северо-западном направлении вдоль коллেকтора Шур-Узяк (который проходит по его территории вблизи юго-западной границы) и имеет площадь 5000 га. Эта территория представляет собой в значительной мере неосвоенные лугово-солончаковые почвы и солончаки; частично же она занята орошаемыми землями, в той или другой степени засоленными. Грунтовые воды залегают на глубине 1—2 м и имеют высокую минерализацию — от 3 до 10 г/л и более.

По данным гидрогеологических исследований, специально проведенных Узгипроводхозом (гидрогеолог К. Я. Опышко), литологическое строение участка характеризуется следующим разрезом. С поверхности на глубину 18—25 м залегает толща лессовидных суглинков, иногда в нижней части разреза содержащая маломощные линзы глин. Суглинки по гранулометрическому составу относятся к различным пы-

леватым разностям с числом пластичности от 8 до 12. Объемный вес их в первом метровом слое составляет 1,3—1,4, ниже он увеличивается до 1,5—1,7.

Суглинки в значительной мере засолены легко растворимыми солями. Наибольшая засоленность (до 2—3%) приурочена к глубине до 2 м. Ниже она заметно уменьшается и на глубине 15—20 м составляет 0,1—0,2% к весу сухой породы. Под суглинками залегают мелкозернистые плавунные пески мощностью от 8 до 30 м. В южной части участка мощность плавунных наименьшая — 8—10 м, в северной она увеличивается до 30 м и в толще глинистых песков обнаруживаются тонкие прослои и линзы иловатых суглинков и глин с включением мелкого рассеянного гравия. В составе мелкозернистых песков преобладают фракции размером 0,25—0,1 мм, количество которых достигает 50—70% по весу. Содержание пылеватых частиц колеблется от 4 до 17 и глинистых — от 2 до 10%.

Засоление песка легкорастворимыми солями сравнительно невелико: 0,1—0,3% к весу воздушно-сухой породы.

С глубины 30—50 м залегает мощная гравийно-песчаная водоносная толща, состоящая из переслаивающихся слоев и линз гравия, мелкозернистых песков с включением зерен гравия и мелкой гальки, а также редкими и маломощными прослоями суглинков, глин и галечников. Общая мощность этой толщи выдерживается на территории опытного участка в пределах 60—70 м. Содержание гальки увеличивается вниз по разрезу. Кроме того, заметно некоторое мельчание материала с востока на запад.

Толща галечников подстилается буровато-желтыми суглинками с прослоями глин, мощность которых в скв. № 16 составляет 37 м. Ниже залегают водоносные мелкозернистые пески, пьезометрический уровень воды в которых установился в скв. № 16 на 1 м выше, чем в основной гравийно-песчаной толще, лежащей в интервале глубин 40—100 м.

Для изучения пьезометрических напоров вскрытой слоистой толщи заложены специальные кусты пьезометров, наблюдения по которым дают интересную картину взаимоотношения горизонтов на опытном участке (рис. 19). Эти наблюдения показывают, что соотношение напоров грунтовых вод основного водоносного горизонта в галечниках и глубинных вод в песках неодинаково и изменяется по сезонам года. В отдельные достаточно продолжительные периоды наблюдается ясная тенденция питания верхних грунтовых вод за счет восходящих токов из глубинных горизонтов. Это особенно четко проявляется в летние месяцы, когда уровень грунтовых вод понижается в связи с испарением.

По данным опытных откачек, коэффициенты фильтрации для верхних покровных суглинков варьируют в пределах 1—3 м/сутки. Залегающие в основании толщи прослой более тяжелых суглинков имеют коэффициенты фильтрации значительно меньше, от 0,3 до 0,03 м/сутки. Мелкозернистые пески, по данным механического анализа и лабораторным испытаниям, показывают коэффициенты фильтрации от 1,5 до 7—8 м/сутки, в отдельных случаях — до 15 м/сутки.

Основная водоносная толща, состоящая из гравия, мелких песков и галечников, обладает хорошей водоотдачей. В среднем для нее может быть принят коэффициент фильтрации 1 мм/сек, или 86 м/сутки.

Получены данные об изменении химического состава воды на различную глубину (рис. 13). Все анализы подтвердили установленную для этой части Голодностепского аллювиального бассейна общую закономерность уменьшения минерализации подземных вод вниз по профилю и наличие на глубине 70—100 м пресных вод с плотным остатком до 1 г/л.

Таким образом, при откачке из гравелисто-песчаных слоев минерализация воды будет примерно 1—2 г/л, т. е. она вполне пригодна на орошение.

При указанном гидрогеологическом разрезе опытного участка естественно, что за основной дренирующий слой, из которого должна вестись откачка, нужно принять гравелисто-песчаные слои, в которые и должен быть заглублен стренер буровых скважин. Тогда глубина дренажных колодцев определится в среднем 100 м, причем верхние 40—60 м будут состоять из глухих труб.

Наличие гравелисто-песчаного материала позволяет проектировать здесь заложение обычных дырчатых или щелистых фильтров с формированием в процессе откачки естественного гравийного фильтра вокруг стренера. Однако изменчивость аллювиальной толщи в пределах участка может вызвать необходимость дополнительной засыпки гравия.

Расчет опытно-производственной системы вертикального дренажа

Методы расчета взаимодействия скважин в системе колодцев на сравнительно небольших участках бассейна или потока подземных вод разработаны в теории искусственного понижения уровня грунтовых вод на строительных и промышленных площадках [40, 52]. Работа опытно-производственной системы отличается от работы водопонизительной установки нормой снижения уровня грунтовых вод и использованием откачиваемых вод на орошение.

Известно, что водопонизительными установками на площадках гидротехнических сооружений достигнуты понижения уровня грунтовых вод, исчисляемые десятками метров. Для вертикального дренажа Голодной степи столь значительных понижений уровня грунтовых вод не требуется.

На мелиорируемой территории, площадь которой может измеряться десятками и сотнями тысяч гектаров, необходимо путем интенсивной откачки опустить уровень соленых грунтовых вод на 3—5 м и тем самым создать благоприятные условия для быстрого рассоления почвогрунтов и верхних слоев грунтовых вод. В дальнейшем интенсивность откачки может быть уменьшена: она должна быть такой, чтобы обеспечить устойчивый оптимальный водно-солевой режим в корнеобитаемом слое почв и использовать пресные воды на орошение.

При размещении колодцев по всей площади бассейна подземных вод каждый из них работает как бы самостоятельно и должен рассчитываться как одиночный колодец. В этом случае вся система работает в общем балансе подземных вод крупного региона, и отдельные колодцы располагаются на расстоянии двух радиусов действия друг от друга (речь идет об относительно установившемся режиме работы системы).

В общем случае при расчетах и проектировании системы вертикального дренажа для больших бассейнов и потоков подземных вод, мощность которых во много раз превышает глубину дренажных колодцев, расположение их по площади должно быть относительно равномерным. Если в такой бассейн имеется какой-то сосредоточенный приток подземных вод с определенной стороны, то ряды колодцев могут быть сгущены.

Рассмотрение работы системы на всей территории бассейна показывает (см. гл. VI), что на Шур-Узякском массиве в среднем один колодец должен располагаться на 250—300 га.

Однако, если мы захотим получить мелиоративный эффект только на части бассейна, то, естественно, потребуются более густая сеть колодцев, и каждый из них будет обслуживать уже не 250—300 га, а значительно меньше. При этом чем меньше участок, на котором будет работать система дренажных колодцев, тем меньше площадь, обслуживаемая одним колодцем. Это объясняется тем, что при работе опытно-производственной системы на сравнительно небольшом участке бассейна на всей остальной его территории сохраняется высокое положение уровня грунтовых вод. Следовательно, должно возникнуть движение подземных вод

с окружающих участков к системе колодцев, и для отвода этого притока требуется создание более густой сети колодцев. Естественно, что если и на остальной территории, за пределами рассматриваемой опытно-производственной системы, будут располагаться такие же дренажные колодцы, то притока не будет. Это необходимо иметь в виду при оценке результатов испытаний производственной системы и сравнении их с производственной системой более крупного массива.

Для расчета системы скважин опытно-производственного участка можно применить существующие методы расчета взаимодействия скважин Форхгеймера [40], Лейбензона [64], Чарного [86], Маскета [52]. Однако все они рассматривают задачу в условиях работы совершенных скважин, т. е. скважин, доведенных до водоупора, когда приток из нижних водоносных горизонтов отсутствует, а питание сверху за счет инфильтрации не учитывается. Эти схемы расчета основаны или на контурном питании скважин, или на линейном. В нашем случае, при глубине проектных скважин около 100 м, а мощности бассейна в этой части 250—300 м, нельзя пренебрегать притоком подземных вод из нижних горизонтов через полупроницаемые слои суглинков. Кроме того, на территории опытно-производственной системы будут проводиться освоение засоленных земель, промывки, поливы их. Следовательно, неизбежны процессы инфильтрации поверхностных вод и пополнение за счет них грунтовых. Поэтому нами была принята схема, представленная на рис. 21.

Расчет разделяется на следующие операции:

- 1) определение общего дебита откачек;
- 2) выбор конструкции и расчет дебита одного колодца;
- 3) определение числа колодцев и размещение их в плане.

Определение общего дебита установки

Общий дебит установки складывается прежде всего из притока по основному водопроводящему пласту с окружающей территории бассейна, благодаря созданному откачками градиенту напора. Этот приток (обозначим его через Q_1) будет определяться по Дарси следующим выражением:

$$Q_1 = k i m L,$$

где k — средний коэффициент фильтрации водопроводящей толщи;

i — уклон потока;

- m — мощность водоносного слоя, по которому происходит движение подземных вод;
 L — длина, или периметр участка, по которому совершается приток воды;

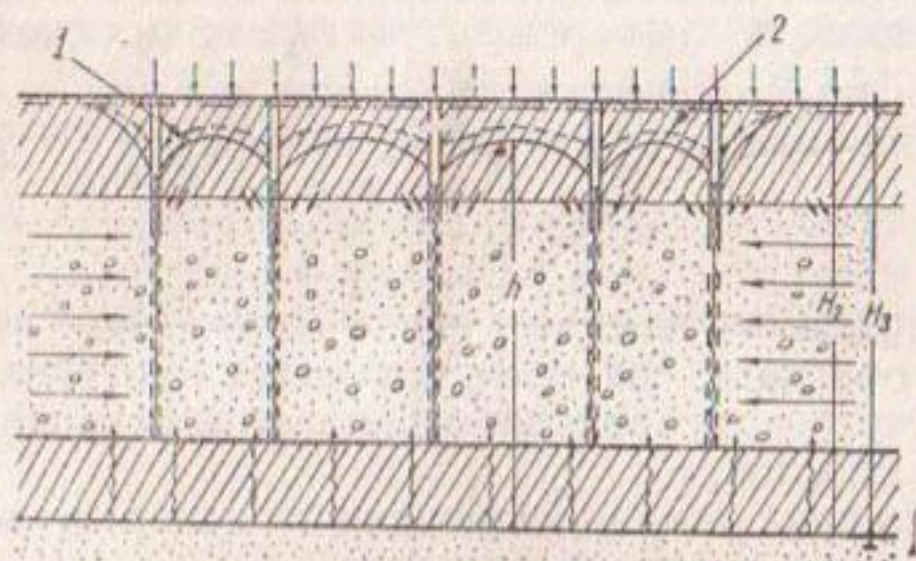


Рис. 21. Схема работы дренажных колодцев в слоистом грунте.

1 — пьезометрический напор песчано-галечного пласта при откачке; 2 — пониженный уровень грунтовых вод.

Расчет ведем, считая, что движение будет происходить по гравелисто-песчаному пласту, и рассматривая его как напорное. В первый же период работы колодца установится определенное падение пьезометрической поверхности к опытному участку. Уровень грунтовых вод на прилежащей территории будет отставать от депрессии пьезометрических напоров и вследствие этого возникнут вертикальные скорости фильтрации грунтовых вод, заключенных в суглинках. Только при полном отсутствии питания сверху можно себе представить в дальнейшем совпадение уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров гравелисто-песчаного пласта в процессе откачки. На самом деле, так как грунтовые воды будут получать дополнительное питание сверху за счет инфильтрации, уровень грунтовых вод большую часть времени будет залегать несколько выше пьезометрической поверхности. Развитие районной воронки депрессии вокруг опытно-производственного участка будет происходить достаточно длительное время, и радиус действия может достигать 1—2 км. Поэтому проведем расчет для двух случаев: $R_1 = 1000$ м и $R_2 = 2000$ м, при средней норме понижения пьезометрического напора 4 м, уклоны $i_1 = 0,004$ и $i_2 = 0,002$. Средний коэффициент фильтрации водоносных гравелисто-песчаных слоев принимаем $k = 10^{-3}$ м/сек, а мощность основного водоносного слоя

$m = 70$ м. Тогда расход потока подземных вод, который направляется со всех сторон к опытному участку, при периметре 30 км, составит для $i_1 = 0,004$ $Q_1 = 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \cdot 30 \times 10^3 = 8,4$ м³/сек при $i_2 = 0,002$ $Q_1 = 4,2$ м³/сек.

Приток воды из нижних напорных водоносных горизонтов, при разности напоров $H_1 - H_2 = 5$ м, коэффициенте фильтрации полупроницаемого пласта суглинков $\lambda = 10^{-7}$ и средней мощности его $m = 20$ м, вычисляем по формуле

$$Q_2 = \lambda \cdot \frac{H_1 - H_2}{m},$$

где H_1 — пьезометрический напор нижнего водоносного горизонта, из которого идет поступление воды через полупроницаемый пласт в основной водоносный слой;

H_2 — средний пьезометрический напор в водоносном пласте в период откачки;

λ — коэффициент фильтрации полупроницаемого пласта, разделяющего водоносные горизонты;

m — его мощность.

При указанных значениях общий приток из нижних напорных водоносных горизонтов составит 0,025 м³/сек с 1 км² пласта.

В первый период откачки, когда контур депрессии уровня будет немногим более 50 км², общий приток воды из нижних напорных горизонтов составит 1,20 м³/сек. При этом, если бы мощность полупроницаемого пласта оказалась равной 10 м, то расход соответственно должен был бы возрасти до 2,5 м³/сек, а если — 30 м, то уменьшиться до 0,85 м³/сек.

В процессе откачки, по мере развития воронки депрессии, область притока из нижних горизонтов будет возрастать. Так, при радиусе влияния 2000 м площадь дренирования увеличится до 126 км², т.е. более чем в два раза. Если полагать, что средняя величина действующей разности напора при этом составит 2 м в зоне развития районной депрессии, то дополнительный расход из нижнего напорного слоя достигнет 0,7 м³/сек.

Питание грунтовых вод непосредственно на участке вертикального дренажа за счет инфильтрации поверхностных вод Q_3 , ирригационных и атмосферных осадков принимаем, по опытным данным, в среднем равным 3000 м³/га в год. Тогда непосредственно на площади самой системы в 5000 га это питание составит до 0,5 м³/сек. Если же учесть и зону дренирования в радиусе действия установки, то на площади

более 100 км^2 это питание будет составлять соответственно большую величину.

Приведенный расчет показывает, что главная масса воды поступает из основного водоносного горизонта, из которого производится откачка. Общее количество воды, подлежащей откачке системой колодцев вертикального дренажа на Шур-Узякском участке, составляет, таким образом, от 7 до $10 \text{ м}^3/\text{сек}$, причем в первый период оно больше (около 10 м^3), чем в последующие.

Для достижения нормы осушения необходимо откачать в начальный период определенный объем воды для осушения грунта выше эксплуатационного положения уровня грунтовых вод. Объем грунта, подлежащего осушению, приближенно можно определить по формуле

$$\Omega = hF + \frac{h}{2} 2F,$$

где h — норма осушения;

F — площадь участка;

hF — объем грунта, подлежащего осушению на территории участка;

$\frac{h}{2} 2F$ — объем грунта, подлежащего осушению в зоне развития районной депрессии.

Подставляя значения $h = 2 \text{ м}$, $F = 50 \text{ км}^2$, получим объем грунта $2 \cdot 10^8 \text{ м}^3$. Принимая коэффициент водоотдачи для верхней части суглинков равным 0,04, получим дополнительный объем воды, подлежащий откачке в начальный период работы системы, равный $8 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

Следовательно, к общему расходу откачки в первый период работы колодца нужно прибавить еще и величину сработки статических запасов.

Рассмотрим, за какой срок могли бы действительно понизить уровень грунтовых вод до заданной нормы осушения, т.е. сработать подсчитанные выше статические запасы подземных вод в количестве $8 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

Исходя из принятой нами схемы движения подземных вод в слоистой толще участка (вертикального — в суглинистой толще и горизонтального — в гравелисто-галечных слоях) и пользуясь методом последовательной смены стационарных положений, произведем расчет понижения уровня грунтовых вод от бытового до заданной нормы осушения под влиянием откачек из гравелисто-песчаных слоев (рис. 22). Принимая мощность мелкоземистой толщи (суглинки и глинистые пески) равной 40 м, средний коэффициент филь-

Трации $\lambda=0,1$ м/сутки, начальную разность напоров 4 м, подсчитаем начальную скорость фильтрации по формуле

$$v_n = \lambda \frac{H_1 - H_2}{m} = 0,01 \text{ м/сутки.}$$

Рассмотрим единичный расход на 1 км^2 в центре участка между скважинами

$$q_1 = v_n \cdot 10^6,$$

где q_1 — единичный расход потока из суглинков и песков в гравелисто-галечный слой на 1 км^2 , $\text{м}^3/\text{сутки}$,

v_n — начальная скорость фильтрации,

или $q = 0,01 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{сутки}$, или $0,11 \text{ м}^3/\text{сек.}$

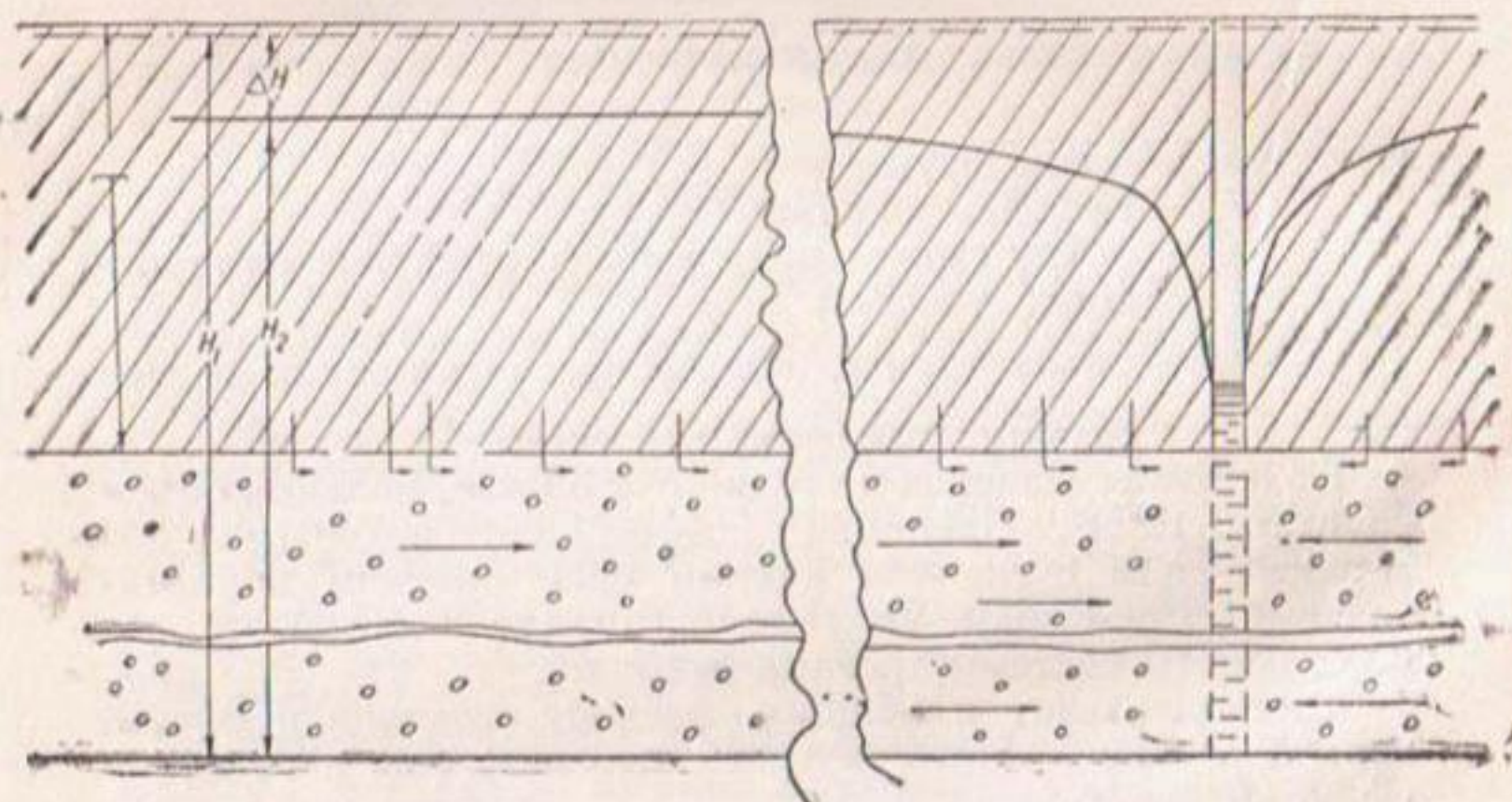


Рис. 22. Схема расчета скорости снижения уровня грунтовых вод при откачках из подстилающих песков.

Если предположить, что эта начальная скорость сохранится в течение суток, произойдет понижение уровня грунтовых вод, соответствующее осушенному объему грунта:

$$\Omega = \frac{10^4}{0,04} = 0,25 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Отсюда глубина понижения уровня грунтовых вод за сутки определится как

$$h_1 = \frac{\Omega}{F},$$

где F — площадь участка, равная 10^6 м^2 . Подставляя значения, находим

$$h_1 = \frac{0,25 \cdot 10^6}{10^6} = 0,25 \text{ м.}$$

Следовательно, фильтрационная способность покровной толщи позволяет произвести достаточно быстрое опускание зеркала грунтовых вод, но для этого нужно было бы, чтобы в первые сутки откачка составляла более $10 \text{ м}^3/\text{сек}$. Практически совершенно достаточно, если расход нашей установки будет превышать приток подземных вод к участку на 10—15%. И в этом случае мы получим существенное понижение уровня грунтовых вод уже в первый месяц откачки. Поэтому считаем нецелесообразным завышать расчетный расход более чем до $10 \text{ м}^3/\text{сек}$. Особенности эксплуатации производственной системы, рассмотренные выше, нужно иметь в виду при выборе насосно-силового оборудования.

Мощность насосных агрегатов должна в общем быть на 15—20% больше, чем указанная расчетная мощность установки.

Из приведенного расчета и рис. 22 видно, что скорость фильтрации, а следовательно и скорость снижения уровня грунтовых вод в покровных суглинках, прямо пропорциональна коэффициенту фильтрации и действующему градиенту $H_1 - H_2$, представляющему величину, которая изменяется во времени.

Скорость снижения уровня тем меньше, чем больше толща суглинков и чем меньше ее коэффициент фильтрации (рис. 23). В зависимости от мощности покровных суглинков и среднего коэффициента фильтрации их получено семейство кривых, характеризующих скорость снижения уровня грунтовых вод при заданном пьезометрическом напоре в нижнем песчаном слое, из которого ведется откачка.

Выбор оптимальных конструкций и расчет дебита колодца

Анализ опытных данных по вертикальному дренажу (гл. VII), а также опыт бурения и эксплуатации скважин в аналогичных условиях свидетельствует о том, что наиболее перспективна конструкция дренажного колодца диаметром 400—500 мм, с обычным щелевым стрелером, без сетки, опущенного в гравелисто-песчаные слои таким образом, чтобы сверху и снизу до начала фильтра оставался 1—2-м слой гравелисто-галечного материала.

Такой колодец в рассматриваемых условиях, при длине стрелера 40—50 м, будет иметь удельный дебит 12—15 л/сек и позволит получить дебит от 100 до 300 л/сек.

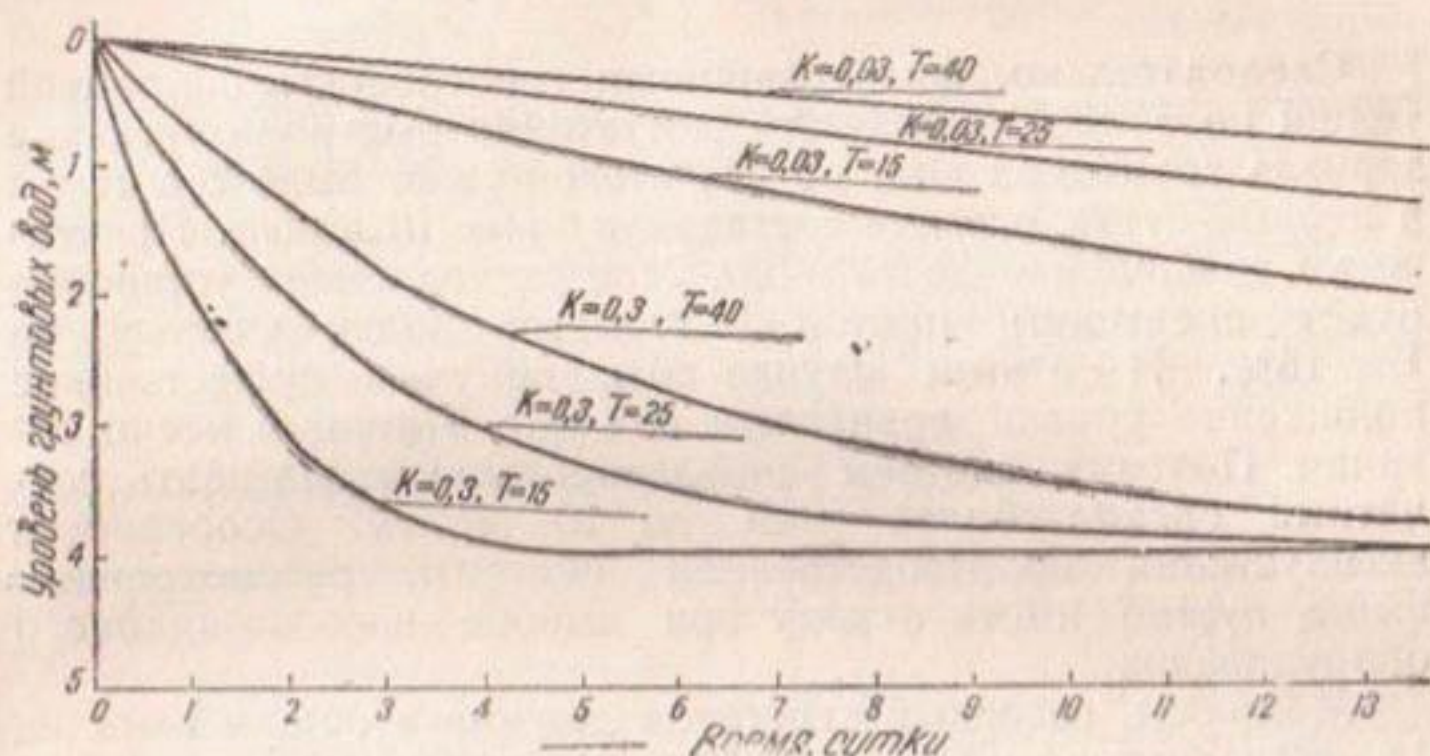


Рис. 23. Кривые снижения уровня грунтовых вод в суглинках при откачках из подстилающих песков (начальная разность напоров $\Delta H=4$ м, коэффициенты фильтрации покровных суглинков k , м/сутки; мощность суглинков T , м).

Теоретический расчет колодца был проведен по разработанной В. А. Васильевым формуле для расчетной схемы, специально подобранной соответственно гидрогеологическим условиям Голодной степи (см. рис. 1):

$$Q \approx 2,73 \frac{k T s_0}{\lg \frac{1,12}{\omega r_0}},$$

где $\omega = \sqrt{\frac{\lambda_2}{k T T_2}}$;

Q — дебит колодца;

s_0 — понижение уровня воды у стенки колодца;

k — коэффициент фильтрации;

T — мощность основного гравелисто-песчаного водоносного горизонта;

r_0 — радиус колодца;

ω — член, учитывающий приток из нижнего горизонта;

λ_2 — коэффициент фильтрации полупроницаемого слоя, через который происходит подпитывание основного водоносного пласта;

T_2 — мощность полупроницаемого слоя.

Определение числа колодцев и расположение их в плане

Расположение колодцев в плане определяется схемой притока подземных вод к мелиорируемому участку, и в данном случае для гарантирования равномерного понижения уровня грунтовых вод на территории Шур-Узякского участка мы должны были бы расположить колодцы в соответствии с главным поступлением из основного водоносного горизонта

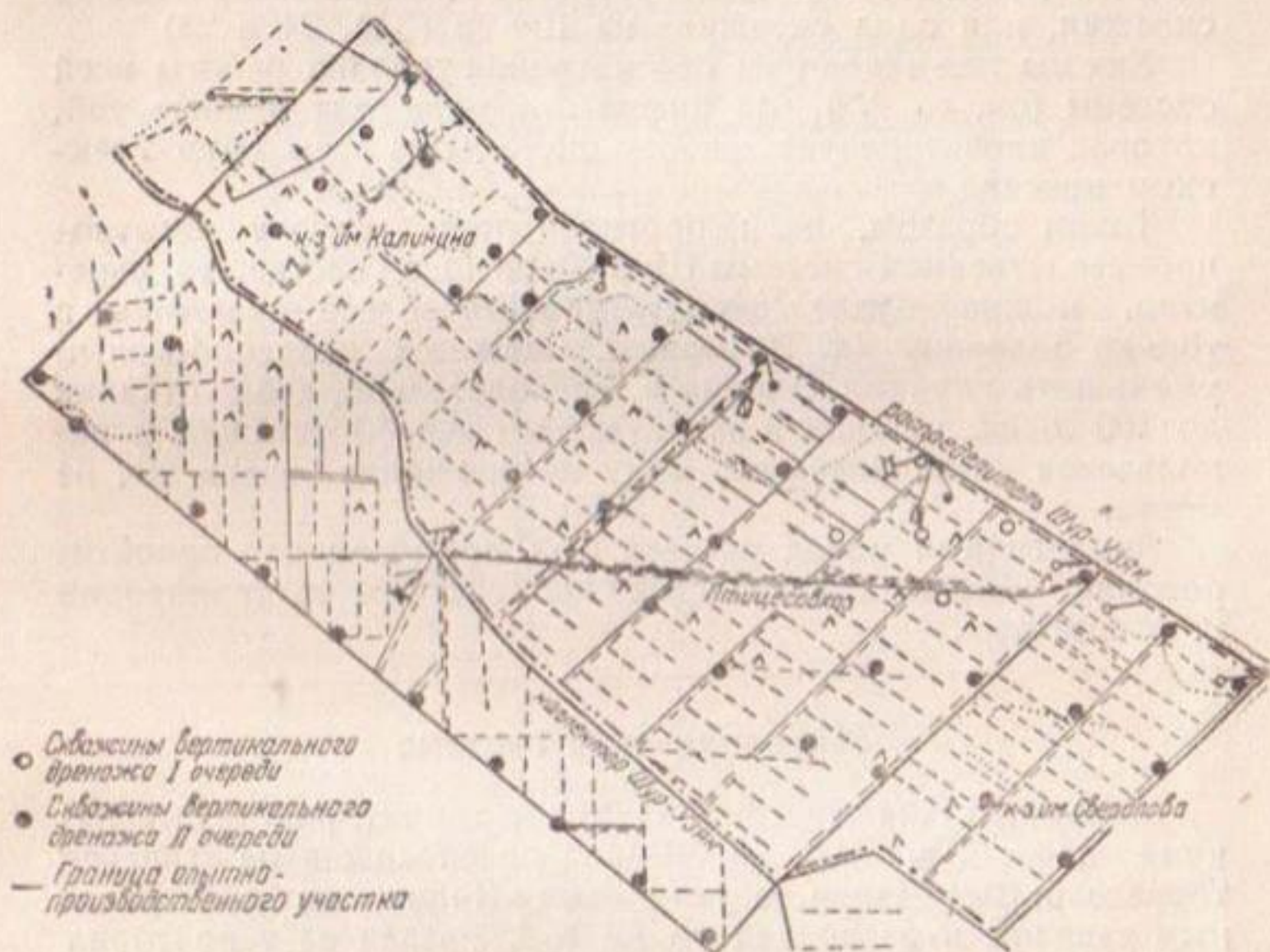


Рис. 24. Схема расположения проектируемых скважин на Шур-Узякском опытно-производственном участке.

по периферии участка (по контуру). Так, если принять дебит одного колодца 200 л, а общий расход системы 10 м³/сек, то нужно было бы иметь на участке 50 колодцев; из них, считая, что главный приток в 7 м³/сек будет направлен со всех сторон по контуру участка, 35 скважин следовало бы расположить по периметру участка и только 15 распределить равномерно по его площади.

Однако, имея в виду, что в дальнейшем опытно-производственная система Шур-Узякского участка должна войти в общую систему скважин вертикального дренажа на Шур-Узякском массиве, решено было разместить дренажные колодцы примерно так, как они должны располагаться в общей системе, т.е. относительно равномерно по всей площади. Учет же особенностей работы отдельного участка выразился лишь в том, что общий расход скважин в проекте опытно-производственной системы принят соответственно изложенному выше и, таким образом, сохранено 50 скважин, или одна скважина на 100 га (рис. 24 и 25).

Как мы уже видели из рассмотрения условий работы всей системы (см. гл. VI), эта цифра в два-три раза меньше той, которая характеризует работу системы на всем Шур-Узякском массиве.

Таким образом, если прогнозировать работу опытно-производственной системы Шур-Узякского участка, то, вероятно, можно будет эксплуатировать не все скважины, а только половину их. Возможно, окажется целесообразным уменьшить глубину качания и, следовательно, дебит откачек до 100 л/сек, оставив в эксплуатации все 50 скважин и используя откачиваемую воду на орошение здесь же, на месте.

Аналогичный метод расчета был применен для проектирования опытно-производственной системы на территории г. Мирзачуля.

Мирзачульская система

Мирзачульская система занимает территорию г. Мирзачуля площадью 600 га. Город расположен на третьей террасе р. Сыр-Дарьи, в углу между Кировским магистральным каналом и распределителем К-3. Разрез на территории города представлен толщей лессовидных суглинков, подстилаемых на глубине 29—30 м мелкозернистыми песками с включениями зерен гравия и мелкой гальки. Мощность этого водоносного горизонта колеблется от 10 до 25 м, в среднем 15 м. Ниже залегает слой глин различной мощности — от 2 до 7—8 м, в среднем 4 м. Глины подстилаются основной толщей водоносных аллювиальных песков ташкентского комплекса, мощность которых более 50—60 м.

Оба канала идут в дамбах; горизонты воды в них находятся на несколько метров выше поверхности земли на территории города. Уровень грунтовых вод в периоды наиболее высокого положения (весной) залегает у поверхности

земли, образуя заболоченные участки в понижениях рельефа. Амплитуда колебания уровня в году составляет примерно 1,5—2 м. Откачку предполагается вести из первого водоносного горизонта, имея в виду, что таким образом будет наи-

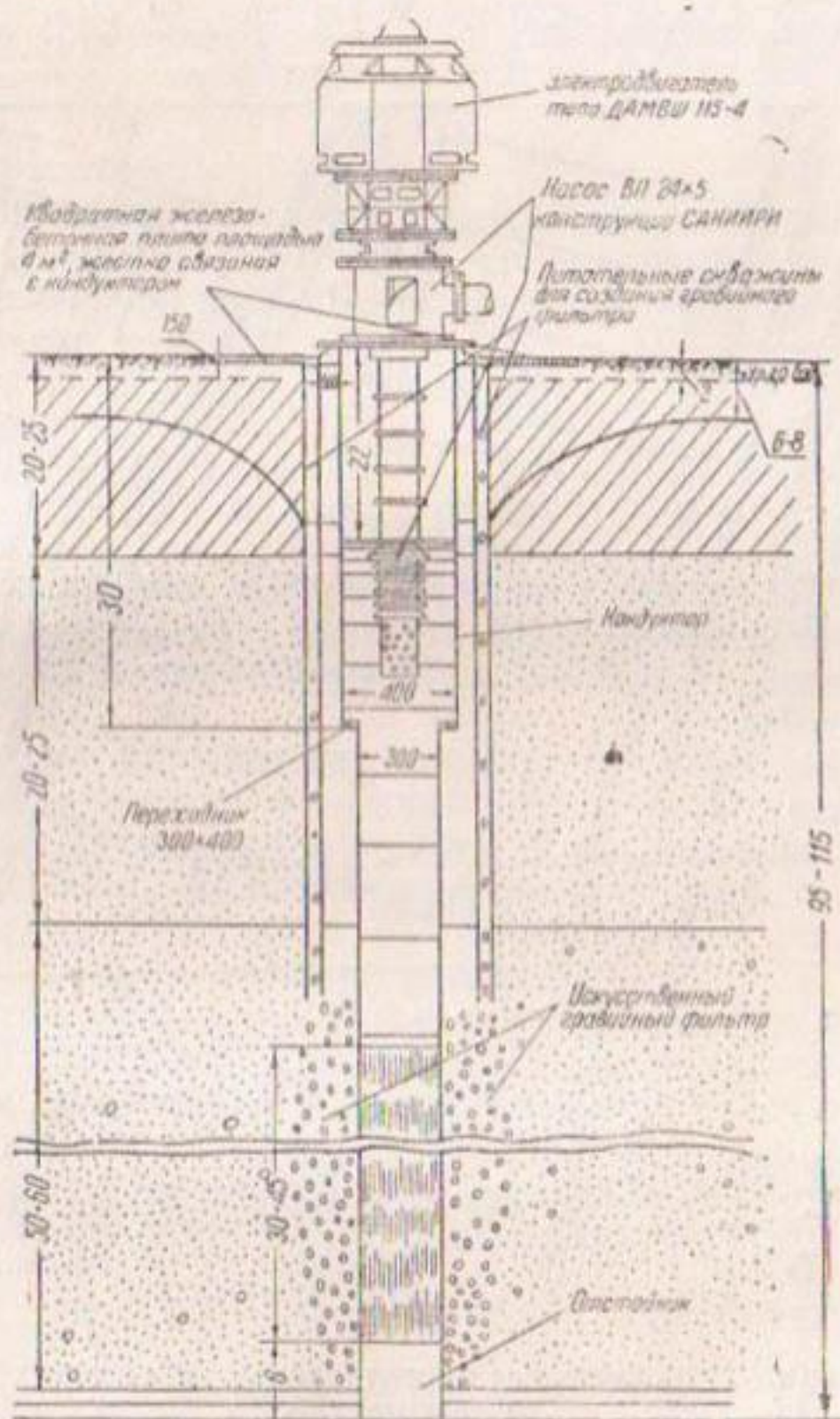


Рис. 25. Конструкция скважины на Шур-Узякском опытно-производственном участке.

более быстро осушена городская территория. По проекту Узгипроводхоза (1957 г.), на территории города намечено построить 20 скважин (рис. 26). Общий дебит приближенно определен в $1 \text{ м}^3/\text{сек}$, а средний дебит каждой скважины — 50 л/сек .

Расход дренажного колодца для Мирзачульской системы подсчитывался по формуле [14]:

$$Q = 2,73 \frac{kms}{\lg \frac{1,12}{\omega r_0}} \cdot$$

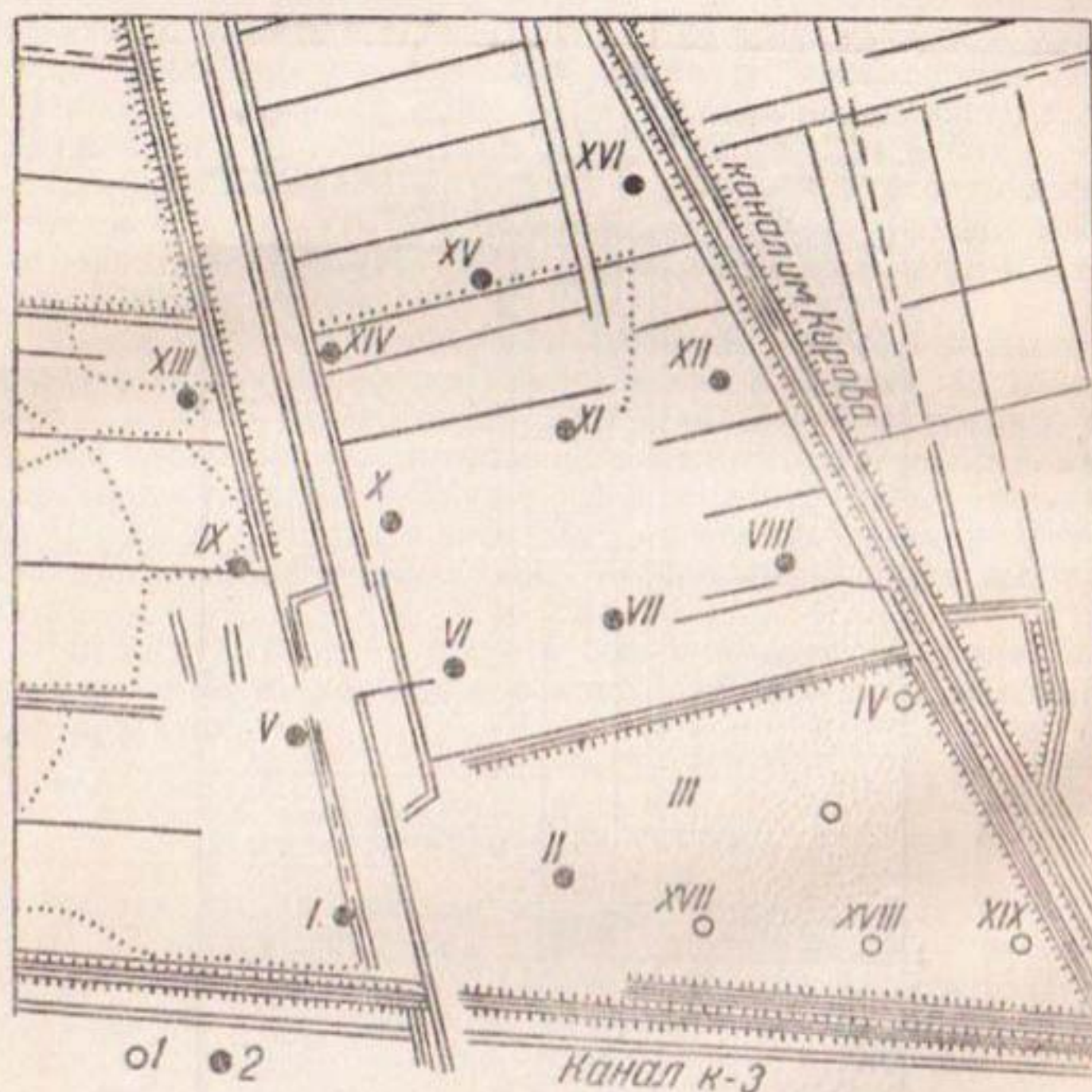


Рис. 26. Схема расположения проектируемых дренажных колодцев в г. Мирзачуле.
1—скважины вертикального дренажа I очереди; 2—то же II очереди.

Здесь ω учитывает влияние притока подземных вод из нижнего водоносного слоя через слабопроницаемые суглинки.

Заданные величины:

$$\begin{aligned} k &= 25 \text{ м/сутки} & s_0 &= 22 \text{ м} \\ T &= 15 \text{ м} & r_0 &= 0,2 \text{ м} \\ T_2 &= 4 \text{ м} & \lambda_2 &= 0,05 \text{ м/сутки} \\ T_1 &= 30 \text{ м} \end{aligned}$$

тогда

$$\omega^2 = \frac{\lambda_2}{k T T_2} = \frac{0,05}{20 \times 15 \times 4} = 0,000041,$$

или $\omega = 0,0054$;

$$Q = 2,73 \frac{20 \times 15 \times 22}{\lg \frac{1,12}{\omega r_0}} = \frac{2,73 \times 6600}{2,898} = 6,217 \text{ м}^3/\text{сутки},$$

или $Q = 72 \text{ л/сек.}$

Эта формула позволяет подсчитать теоретически зависимость $Q = f(s_0)$ и построить кривую дебита колодца.

Теоретическое построение депрессионной поверхности и определение радиуса влияния колодца проводилось по формуле

$$s = s_0 \frac{K_0(\omega r)}{\lg \frac{1,12}{\omega r}},$$

где s — понижение уровня грунтовых вод на расстоянии от оси колодца. $K_0(\omega r)$ — функция Бесселя мнимого аргумента нулевого порядка второго рода. Остальные обозначения те же (рис. 1).

Расчет по формуле Дюпюи дает приток только по основному пласту без учета питания сверху за счет инфильтрации и притока из глубинных слоев, т.е. несколько занижен.

Кроме того, R — радиус влияния колодца — в данном случае также неизвестен, и его приходится подсчитывать по одной из эмпирических формул.

Расчет дебита скважин при их взаимодействии производился по формулам Маскета [52] для кругового контура питания и равномерного распределения скважин по сетке (16 скважин с расстояниями $2b = 600 \text{ м}$ и радиусе действия системы $R = 2\,000 \text{ м}$):

$$Q_1 = Q_4 = Q_{13} = Q_{16} = \frac{2\pi k T s \ln \left[\frac{2b}{\sqrt{2} r_0} \right]}{\Delta},$$

где

$$\Delta = 4 \ln \left[\frac{\sqrt{2} R}{2b} \right] \ln \left[\frac{2b}{\sqrt{2} r_0} \right] + \ln \frac{k}{r_0} \ln \left[\frac{2b}{2 \sqrt{2} r_0} \right].$$

Решая уравнение, получим

$$Q_1 = \frac{2 \times 3,14 \times 20 \times 15 \times 22}{80,1} \times 75 = 3\,800 \text{ м}^3/\text{сутки} \text{ или } 44 \text{ л/сек.}$$

Дебит скважин $Q_1 : Q_2 : Q_6 = (y^2 + 33,66 y - 0,28) : (y^2 + 0,98 y - 0,622) : (y^2 - 2,2 y + 0,671)$; при $y = \ln \frac{2b}{r_0} = \ln \frac{600}{0,2} =$

$= 8,08$; $Q_1 : Q_2 : Q_6 = 94,3 : 76,2 : 48,2$ или $Q_1 = 44$ л/сек;
 $Q_2 = 35$ л/сек; $Q_6 = 23$ л/сек.

Таким образом, дебит скважин при взаимодействии внутри контура примерно в два раза меньше, чем дебит скважин по границе контура. Однако абсолютные величины будут несколько больше, так как формулы Маскета не учитывают притоков в пласт сверху и снизу.

В 1958 г. построены первые пять скважин диаметром 16", глубиной 45—50 м, с фильтром длиной 15 м и каркасом из цельнометаллических 12-дюймовых труб, перфорированных в водоносных песчано-гравелистых слоях (отверстия диаметром 12 мм, общая порозность 25%). Вокруг дырчатого стренера в процессе строительных откачек создан гравийный фильтр — путем засыпки гравия через питающие скважины — мощностью более 1 м.

Расстояния между первыми пятью скважинами различны: от минимального — 300 м до максимального — 900 м.

Строительство гравийного фильтра осуществлено, по оригинальному предложению Узбекского Гидрогеологического треста, следующим образом: 5—6 питающих скважин диаметром 0,5 м расположились вокруг основной на минимальном расстоянии — 0,4—0,5 м. Бурение производилось шарошечным долотом с глинистым раствором, без крепления. После проходки скважина промывалась до осветления раствора, наконечник инструмента менялся на трехпёрое долото, затем велась засыпка гравия при непрерывной циркуляции осветленного раствора и слабом вращении инструмента, который по мере засыпки постепенно поднимался с забоя.

После окончания засыпки гравия во все питающие скважины немедленно начиналась строительная откачка из основной опытной скважины, в процессе которой вымывались все глинистые частицы и окончательно формировался гравийный фильтр.

Кривые дебита и удельного дебита для первых мирзачульских скважин дали близкие к расчетным значения и даже несколько превзошли ожидаемые результаты.

Так как мощность глинистой прослойки, подстилающей первый водоносный горизонт песков, невелика и нет достаточной уверенности, что при откачках не начнется поступление воды из нижележащих песчаных слоев, предусмотрено сооружение двух дополнительных скважин с установкой фильтров и в этих слоях. Такие колодцы, естественно, будут иметь значительно большую производительность, до 100—150 л/сек. В этой связи первые пять скважин предпола-

гается эксплуатировать с помощью вертикальных пропеллерных насосов САНИИРИ ВП = 24×5 , которые позволяют менять режим работы от 50 до 190 л/сек. Предусмотрено также, что все насосы будут работать с электромоторами и с применением автоматики, а управление системы будет телемеханизировано.

Для наблюдений за влиянием откачек на уровень грунтовых вод и пьезометрическими напорами создана специальная сеть пьезометров, опущенных на глубину от 12 до 50 м.

Комплекс наблюдений и исследований

Проектирование, строительство и эксплуатация опытно-производственных систем вертикального дренажа сопровождаются широким комплексом наблюдений и исследований, которые в соответствии с этапами осуществления самой системы можно разделить на три части.

Первый этап — изучение исходного положения на опытно-производственном участке и обеспечение проекта исследовательскими данными. Основная цель этих исследований — точная фиксация исходного положения на территории строительства вертикального дренажа и получение данных для разработки и уточнения проекта. В этот период проводится гидрогеологическая и почвенно-мелиоративная съемка участка, описываются и картируются ирригационно-хозяйственные условия, закладываются наблюдательные створы и кусты пьезометров, водомерные посты, постоянные точки для наблюдений за водным балансом, пьезометрическими напорами и водно-солевым режимом почвогрунтов.

В этот же период строятся первые пять типовых колодцев вертикального дренажа и проводится их полное опробование для проверки принятых в проекте параметров и расчетов, а также внесения необходимых корректив. Исследованиями охватывается территория возможного понижения уровня грунтовых вод.

На основании результатов исследований первого этапа уточняется общий проект опытно-производственной системы вертикального дренажа и выдаются рабочие чертежи на строительство всей системы.

Второй этап — исследования в процессе строительства. Основное внимание исследователей должно быть направлено на документацию разрезов скважин в целях сравнения фактических разрезов с проектными и внесения, в случае необходимости, в проектные конструкции соответствующих уточнений по фактическим данным. Попутно ведутся гидрохимические и пьезометрические наблюдения за подземными вода-

ми как по всем строящимся скважинам, так и по сети специальных пьезометров.

Для каждой новой скважины в процессе ее строительства проверяется проектное решение конструкций фильтра в соответствии с фактическим литологическим разрезом, затем скважина испытывается в работе для получения паспорта, в котором дается зависимость дебита от понижения для данной скважины, характеристика удельного дебита и технические условия ее эксплуатации. На основании этих данных уточняется оптимальный эксплуатационный дебит каждой скважины.

Попутно ставятся специальные эксперименты по подбору фильтров и насосов, решаются вопросы автоматизации и телеуправления.

В процессе строительных работ совершенствуются и разрабатываются способы производства работ и проверяется их экономика.

Третий этап — исследования в процессе эксплуатации опытно-производственных систем вертикального дренажа — имеет следующие задачи:

1) выявление эффективности действия системы вертикального дренажа на водно-солевой режим почвогрунтов. Для этого ведутся наблюдения за положением уровня грунтовых вод на территории системы вертикального дренажа, за развитием районной депрессионной воронки, по пьезометрам фиксируется движение подземных вод к колодцам; специальному изучению подвергается движение солей и солевых растворов;

2) выявляются технико-экономические показатели работы системы дренажа;

3) проверяются принятые конструкции колодцев;

4) получает решение вопрос об оптимальном режиме откачки;

5) наконец, в процессе эксплуатации должна быть проверена надежность и техническое соответствие установленного насосно-силового оборудования, принятых схем энергоснабжения, автоматизации и телеуправления вертикального дренажа.

Срок проведения перечисленных выше исследований и процесс опытной эксплуатации этих систем многолетний, однако уже в первый год многие из перечисленных выше вопросов могут получить достаточно удовлетворительное разрешение, поэтому основные выводы, позволяющие проектировать систему вертикального дренажа на прилегающих площадях, подкомандных Кировскому магистральному каналу,

могут быть сделаны в первый же год работы опытно-производственной системы.

Например, уже сейчас, когда построены первые пять скважин на Мирзачульском участке, можно сказать, что полученные в натуре дебиты и характеристики их подтверждают принятые в проекте параметры и сделанные теоретические расчеты. Наблюдения же на пьезометрах показывают общую тенденцию снижения уровня грунтовых вод в суглинках под влиянием откачек из подстилающих песков, с некоторым разрывом уровней, как это нами было подсчитано теоретически. Величина снижения и темпы его совпадают с расчетными. В середине между опытными скважинами получено снижение грунтовых вод до 1 м, при снижении пьезометрических напоров в песках на 2—3 м.

Данные наблюдений по пьезометрам показывают также, что принятое в проекте расположение скважин обеспечивает их взаимодействие; есть все основания ожидать, что групповая откачка даст проектное снижение уровня грунтовых вод.

Методы исследований. Основным методом исследований в процессе проектирования, строительства и испытаний опытно-производственных систем является полевой или натурный метод.

а) Непосредственно на опытной скважине изучаются литологический разрез, соответствие этому разрезу проектной конструкции, а при откачке — твердый и жидкий сток для получения характеристик прифильтровой зоны дебита и удельного дебита.

б) На пьезометрах, опущенных на разную глубину в водоносные пласты, изучается распределение и динамика напоров в пластах в естественном состоянии и под влиянием откачек. Контрольные пьезометры устанавливаются за пределами влияния опытно-производственной системы в аналогичных условиях. Эти же пьезометры дают возможность отбирать пробы на химический состав подземных вод и изучить движение не только воды, но и солей.

в) На так называемых динамических точках изучается динамика водно-солевого баланса почвогрунтов по всей мощности покровных суглинков до подстилающих песков, из которых ведется откачка.

г) Проводятся повторные почвенно-мелиоративные съемки не менее двух раз в год.

Кроме того, обязательно должен быть привлечен и метод лабораторных исследований на специальных стендах и моделях для испытания новых конструкций фильтров, новых материалов для скважин и фильтров; в частности, большие перспективы открываются в связи с применением материалов

из полимеров — венипластов, хлорвинила и других, проверки и подбора насосно-силового оборудования и испытания схем автоматизации и телеуправления систем вертикального дренажа.

Для производства замеров и наблюдений должна быть привлечена современная техника и аппаратура, максимально использованы самописцы и дистанционные приборы. Новые перспективы в изучении движения воды и солей открывает применение в качестве индикаторов меченых атомов. Первые опыты в полевых и лабораторных условиях дают многообещающие результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный на примере Голодной степи метод исследования и решения вопросов выявления подземных водохранилищ, оценки их запасов и условий эксплуатации подземных вод приложим в равной мере и к другим оазисам Узбекистана.

Пользуясь этим методом, мы стремились показать, что вопрос о применении вертикального дренажа в целях мелиорации земель может быть правильно разрешен лишь при рассмотрении проблемы использования и регулирования подземных вод крупных гидрогеологических бассейнов во всей ее совокупности. Иначе говоря, это рассмотрение должно осуществляться в плане разрешения проблемы комплексного использования всех водных ресурсов и мелиоративных работ на этих территориях. В этом направлении сделаны лишь первые шаги, открывающие общие перспективы [2, 5, 72, 73, 75].

Выделены крупные гидрогеологические бассейны (рис. 27) и приближенно определены запасы подземных вод верхнего яруса (табл. 17). Выяснена роль этих запасов в общем водном балансе отдельных бассейнов и в самых общих чертах намечены принципы использования подземных вод.

В краевых приподнятых частях гидрогеологических бассейнов предгорных равнин, на так называемых богарных землях, подземные воды намечено использовать на водоснабжение и лишь частично — на орошение. Обычно на этих землях можно получить от 10 до 20% динамических запасов бассейна. Центральные, равнинные части бассейнов, куда устремляется подземный сток со склонов, обладают большими запасами подземных вод, которые расходуются главным образом на испарение и лишь частично — на сток в родниковых зонах и реках. На этих территориях и должен получить развитие вертикальный дренаж. При всей неоднород-

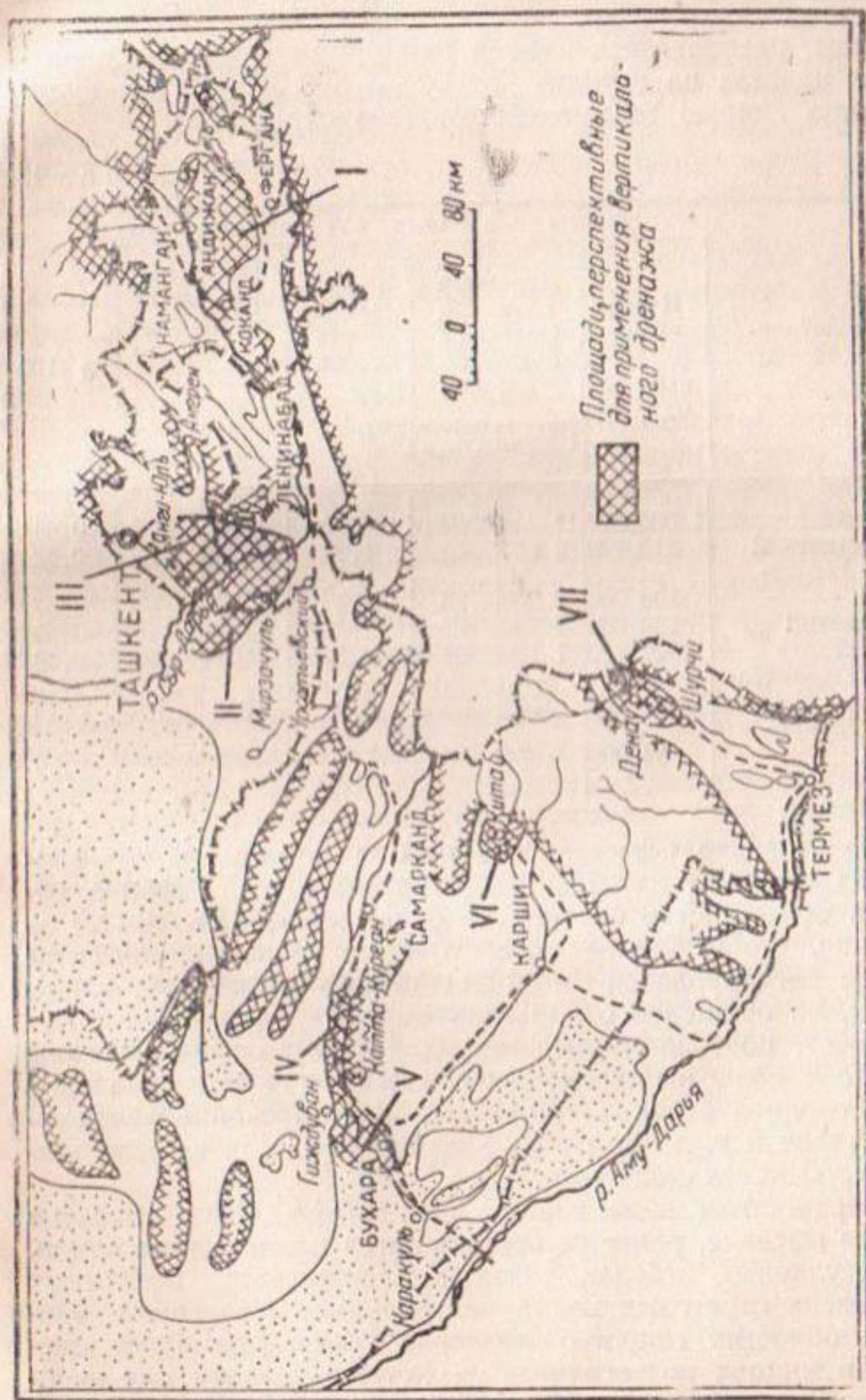


Рис. 27. Перспективы развития вертикального дренажа в УзССР.

Гидрогеологические бассейны: I — Ферганский; II — Голодностепский; III — Чирчик-Ангренский; IV — Зеравшанский; V — Бухарский; VI — Китаб-Шахрисабзский; VII — Сурхан-Дарьинский.

ности в строении бассейнов все же имеется совершенно определенная гидравлическая общность (благодаря отсутствию абсолютных водоупоров между водоносными слоями), и скважины, располагаясь своими фильтрами в хорошо проницаемых пластах на глубине от 50 до 300 м и более, будут составлять единую взаимодействующую систему.

Т а б л и ц а 17

Гидрогеологический бассейн	Запасы подземных вод верхнего яруса						
	Статические (емкостные) Ω , млн. м^3	Динамические Q^d , ежегодно возобновляемые		Зарегулированность стока $\frac{Q^d}{\Omega} \cdot 100$	Эксплуатационные Q^e (возможный дебит вертикального дренажа)		$\frac{Q^e}{Q^d} \cdot 100$
		1 млн. м^3	м/сек		млн. м^3	м ³ /сек	
Ферганский	1 500 000	11 250	360	0,75	3 800	120	0,34
Голодноостепский	210 000	2 680	85	1,27	2 200	70	0,82
Чирчик-Ангренский	100 000	2 200	70	2,2	1 260	40	0,57
Зеравшанский	120 000	2 740	87	2,28	1 900	60	0,69
Бухарский	40 000	1 100	34	2,7	950	30	0,88
Китаб-Шахрисабзский	40 000	790	25	2,0	315	10	0,40
Сурхан-Дарьинский	50 000	950	30	1,9	630	20	0,66

Использование естественного напора подземных вод значительно сократит затраты на электроэнергию. Глубина откачки в большинстве случаев не будет превышать 10—20 м.

Важно, чтобы баланс верхнего яруса гидрогеологического бассейна регулировался всей системой скважин и, таким образом, на орошение отбирались крупные расходы, которые составляют, по нашим расчетам, для Центральной Ферганы 120 м³/сек средневегетационного расхода, в аллювиальной части Голодной степи — 50 м³/сек, в Бухарской области — до 30 м³/сек и т. д. Всего по Узбекистану можно использовать до 350 м³/сек подземных вод.

Поверхностная вода горных рек может быть выведена на более высокие, ранее не орошавшиеся плодородные земли. При регулярных отборах указанных количеств подземных вод уровень грунтовых вод в центральных, засоленных, равнинных областях гидрогеологических бассейнов будет снижен, и в толщах почвогрунтов создадутся условия для необратимого рассоления земель. Отпадет необходимость еже-

годных промывок, навсегда разрешится вопрос коренной мелиорации засоленных земель.

В дальнейшем плановое регулирование системы откачек позволит не только избежать катастрофического снижения уровня грунтовых вод, как это было в некоторых штатах США (Калифорния, Аризона и др.) и других странах, но и добиться такого управления уровнем и минерализацией подземных вод, которое позволит создать оптимальный водно-солевой режим почвогрунтов и максимально повысить плодородие земель.

Задача привлечения к широкому хозяйственному использованию подземных вод рождает новое направление в науке, стоящее на грани гидротехники и гидрогеологии — науку о регулировании и использовании крупных подземных водохранилищ.

Подобно тому, как широкое гидротехническое строительство на реках вызвало к жизни специальную отрасль гидротехнической науки — регулирование русел рек, которая, опираясь на данные гидрологии и гидравлики, развивает инженерные приемы управления руслами рек, — точно так же должна развиваться и оформиться наука о регулировании подземных вод. Объектом исследования ее должно быть взаимодействие гидротехнических сооружений (подземных водозаборов — буровых и шахтных колодцев, систем вертикального дренажа) и гидрогеологического бассейна (подземного водохранилища) в региональном плане.

Она должна заниматься изучением физической, гидромеханической и физико-химической картины этих взаимодействий, разрабатывать теорию расчета, принципы и технические условия на проектирование и эксплуатацию водозаборных систем для разных структур подземных водохранилищ. При этом наряду с теоретическим анализом (математическим, гидрогеологическим, литологическим, геоструктурным и др.) должны быть поставлены самые широкие эксперименты на моделях и стендах (в том числе с помощью прибора ЭГДА) и детальные натурные наблюдения и исследования на работающих подземных водозаборах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрян В. В., Проектирование и расчет вертикального дренажа, Главное управление с.-х. наук МСХ АрмССР, Ереван, 1957.
2. Алимов Р. А., Использование грунтовых вод Голодной степи на орошение, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 8, Ташкент, 1958.
3. Антонова Г. Д., О водоснабжении Голодной степи за счет подземных источников, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 8, Ташкент, 1958.
4. Антонова Г. Д., Калашников А. И., Опыт вертикального дренажа в Голодной степи, Материалы к освоению Голодной степи, Ташкент, 1959.
5. Антонова Г. Д., Гидрогеологические условия Голодной степи в связи с мелиорацией и водоснабжением, Труды II Узбекистанского гидрогеологического совещания, Ташкент, 1959.
6. Антонова Г. Д., Изучение возможности применения вертикального дренажа в Голодной степи, Сборник научно-технической информации, № 2, Министерство геологии и охраны недр СССР, М., 1956.
7. Аравин В. И. и Нумеров С. Н., Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений, Л., 1955.
8. Афанасьев Т. П., Подземные воды Среднего Поволжья и Прикамья и их гидрохимическая зональность, М., 1956.
9. Баранов В. А. и Переверзев С. К., Пропеллерный насосный агрегат ВП-24, «Хлопководство», 1952, № 1.
10. Бехбудов А. К., Вертикальный дренаж в условиях мощных аллювиальных отложений, Министерство водного хозяйства АзССР, АзНИИГИМ, Бюллетень научно-технической информации, 1956, № 1.
11. Бояринцев Ф. С., Проектирование и строительство высокодебитных трубчатых колодцев, Сельхозгиз, М., 1949.
12. Бунятян Л. Б., Александрян В. В., Исчисление количества воды, подлежащей откачке при вертикальном дренаже, Гидротехника и мелиорация, 1956.
13. Вавилов А. П., Опыт применения вертикального дренажа в Узбекистане, Материалы VI сессии Академии наук ТуркмССР, Ашхабад, 1954.
14. Васильев В. А., Решеткина Н. М., Расчет колодца вертикального дренажа, ДАН УзССР, 1958, № 2.
15. Василевский М. М., Схема основного гидрогеологического районирования Европейской части СССР, Советская геология, 1938, № 8—9.

16. Васильковский Н. П., К возрастному расчленению четвертичных отложений Северо-Восточного Узбекистана, Тр. Института геологии АН УзССР, вып. 6, Ташкент, 1951.
17. Гаврилко В. М. и Абрамов С. К., Подбор и расчеты фильтров водозаборных скважин, М., 1956.
18. Гиринский Н. К., Обобщение некоторых решений для скважин на более сложные естественные условия, ДАН СССР, т. LIV, 1946, № 3.
19. Гиринский Н. К., Некоторые вопросы динамики подземных вод, «Гидрогеология и инженерная геология», 1947, № 9.
20. Гиринский Н. К., Расчет притока воды в подземные выработки в условиях взаимосвязи подземных вод водоносных пластов, Госгеолиздат, М., 1951.
21. Гидрогеология СССР, вып. I—VII, XVII, Госгеолиздат, М.—Л., 1939—1947.
22. Димо Н. А., Отчет (предварительный) по почвенным исследованиям в районе Восточной части «Голодной степи» Самаркандской обл., СПб., 1910.
23. Димо Н. А., Влияние искусственного орошения и повышенного естественного увлажнения на процессы почвообразования и перемещения солей в почвогрунтах Голодной степи Самаркандской обл., Саратов, 1911.
24. Значение дренажа в повышении плодородия почв (Доклад, составленный бригадой ученых под руководством члена-корр. АН СССР В. А. Ковда), АН СССР, М., 1956.
25. Игнатович Н. К., О закономерностях распределения и формирования подземных вод, ДАН СССР, т. XV, 1944, № 3.
26. Израэльсен О. У., Теория и практика ирригации, Иилит, 1956.
27. Каменский Г. Н., Основы динамики подземных вод, Госгеолиздат, М., 1943.
- 27а. Каменский Г. Н., Толстихина М. М., Толстихин Н. И., Гидрогеология СССР, М., 1959.
28. Кац Д. М., Вопросы режима грунтовых вод Голодной степи в связи с развитием орошения, Тр. ТИИМСХ вып. 5, Ташкент, 1957.
29. Кенесарин Н. А., Формирование режима грунтовых вод орошаемых районов на примере Голодной степи, Ташкент, 1959.
30. Ковда В. А., Егоров В. В., Морозов А. Т., Лебедев Ю. П., Закономерности процессов соленакопления в пустынях Арало-Каспийской низменности, Тр. Почвенного института АН СССР, т. XLIV, 1954.
31. Ковда В. А., Происхождение и режим засоленных почв, т. I и II, АН СССР, М.—Л., 1946, 1947.
32. Коржавин Б. Д., Место гидротехнических мелиораций в травопольной системе земледелия в орошаемых районах, Тр. Ферганской научной сессии АН УзССР, Ташкент, 1950.
33. Коньков Б. С., Петров Е. Г., К изучению грунтовых вод Голодной степи, Ташкент, 1929.
34. Костяков А. Н., Фаворин Н. Н., Аверьянов С. Ф., Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод, М., 1956.
35. Костяков А. Н., Основы мелиорации, Сельхозгиз, М., 1938.
36. Крылов М. М., Динамика баланса грунтовых вод и методы его изучения в условиях орошаемых р-нов Узбекистана, Ташкент, 1949.

37. Крылов М. М., Гидрогеологические процессы орошаемой зоны Узбекистана и их роль в мелиоративном освоении земель, Тр. Ин-та геологии АН УзССР, вып. 3, Ташкент, 1949.
38. Крылов М. М., Гидрогеология Голодной степи, Голодная степь, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 6, Ташкент, 1957.
39. Куделли Б. И., Принципы региональной оценки природных ресурсов подземных вод и вопросы водного баланса, Второе Узбекистанское гидрогеологическое совещание, Тезисы докладов и сообщений, Ташкент, 1957.
40. Кусакин И. П., Искусственное понижение уровня грунтовых вод, ОНТИ, М., 1931.
41. Курбатов Н. И., История и перспективы мелиорации Голодной степи, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 6, Ташкент, 1957.
42. Ланге О. К., К вопросу о сооружении калифорнийских колодцев в Средней Азии, «Ирригация и гидротехника», Ташкент, 1935, № 10.
43. Ланге О. К., О зональном распространении грунтовых вод на территории СССР, Очерки по региональной гидрогеологии СССР, Новая серия, вып. 8 (12), М., 1947.
44. Ланге О. К., Основы гидрогеологии, МГУ, М., 1958.
45. Легостаев В. М., К вопросу гидротехнических мелиораций Голодной степи, СоюзНИХИ, Ташкент, 1951.
46. Легостаев В. М., Вертикальный дренаж орошаемых земель, «Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана», 1953, № 3.
47. Личков Б. Л., Основные черты классификации подземных вод СССР, Тр. Гос. гидрологического института, вып. 2, М., 1938.
48. Макаренко Ф. А., Некоторые результаты изучения подземного стока, Тр. Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, т. I, М., 1947.
49. Макридин Н. В., Дренажные насосные колодцы и их применение, «Вестник ирригации», Ташкент, 1929, № 4.
50. Макридин Н. В., Глубокий дренаж лессовидных суглинков Голодной степи, СоюзНИХИ, Ташкент, 1932.
51. Малыгин В. С., Глубокий закрытый дренаж, СоюзНИХИ, Ташкент, 1939.
52. Маскет М., Течение однородных жидкостей в пористой среде, Гостехиздат, М., 1949.
53. Матвеев Т. И., Задача о фильтрации в одном и двух пластах, Инженерный сборник, т. XIV, 1953.
54. Михельсон Б. А., Поляков В. Ф., К вопросу мелиорации земель в зоне командования канала им. Кирова в Голодной степи, Узгипроводхоз, Ташкент, 1954.
55. Морозов А. Т., К методике составления водно-солевого баланса орошаемого района, Автореферат докторской диссертации, М., 1954.
56. Мятнев А. Н., Действие колодца в напорном бассейне подземных вод, Изв. Туркменского филиала АН СССР, 1946, № 3, 4.
57. Мятнев А. Н., Задача о колодцах в горизонте грунтовых вод, Известия АН СССР, отд. техн. наук, 1948, № 3.
58. Нельсон-Скорняков Ф. Б., Дренаж при помощи глубоких колодезных насосов, практикующийся на системе р. Соленой в Аризоне (США), ч. I, Ташкент, 1930.
59. Оганезов Г. Г., Подземные воды Аратской котловины, Насосное осушение Араздзянской степи, т. IV, Ереван, 1957.

60. Опышко К. Я. и Стукалова М. В., Гидрогеологические условия Голодной степи в зоне командования канала им. Кирова в пределах УзССР, Узгипроводхоз, Ташкент, 1954.
61. Панков М. А., Процессы засоления почв Голодной степи, Автореферат докторской диссертации, Ташкент, 1945.
62. Панков М. А., Почвы Голодной степи, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 6, Ташкент, 1957.
63. Панкратов П. А., К вопросу вертикального дренажа в орошаемых районах Средней Азии, Таджикский филиал АН СССР, вып. XXX, 1951.
64. Полубаринова-Кочина П. Я., Теория движения грунтовых вод, Гостехиздат, М., 1952.
65. Попов В. И., О поступательно-периодическом (стадийном) развитии фациально-ландшафтных поясов, Тр. майской научной сессии АН СССР, Ташкент, 1948.
66. Почвы Голодной степи как объект орошения и мелиорации, Тр. Почвенного института им. В. В. Докучаева, т. 29, М., 1948.
67. Пыхачев Г. Б., О дебите скважины в неоднородно-проницаемом пласте, Тр. Грозненского нефтяного института, вып. 1, 1944.
68. Пышкин Б. А., Калифорнийские колодцы, Тифлис, 1935.
69. Решеткин М. М., Гидрогеологический очерк Голодной степи, Материалы по гидрогеологии Узбекистана, вып. 4, Ташкент, 1932.
70. Решеткина Н. М., Применение метода глубокой откачки грунтовых вод в целях мелиорации и водоснабжения в Узбекистане, Тр. Института геологии, АН УзССР, вып. 3, Ташкент, 1949.
71. Решеткина Н. М., Ферганский гидрогеологический бассейн, ДАН УзССР, 1951, № 6.
72. Решеткина Н. М., Грунтовые воды Узбекистана и перспективы их откачки в целях мелиорации и орошения, Тр. Института сельского хозяйства АН УзССР, вып. 1, Ташкент, 1953.
73. Решеткина Н. М., Регулирование и использование грунтовых вод долины р. Зеравшан, Изв. АН УзССР, 1952, № 5.
74. Решеткина Н. М., Вертикальный дренаж на засоленных землях Узбекистана, «Хлопководство», 1955, № 5.
75. Решеткина Н. М., Регулирование и использование подземных вод Ферганской долины в целях мелиорации земель, Записки минералог. общества Узбекистана, вып. 2, Ташкент, 1957.
76. Решеткина Н. М., Вертикальный машинный дренаж и его роль в борьбе с засолением, В кн.: «Применение дренажа при освоении засоленных земель», АН СССР, М., 1958.
77. Розанов А. Н. и Панков М. А., Динамика пространственного развития вторичного засоления почв Голодной степи, Тр. Почвенного института им. В. В. Докучаева, т. 29, М., 1948.
78. Розанов А. Н., Лебедев Ю. П., Влияние орошения на глубину и химический состав грунтовых вод Голодной степи, Тр. Почвенного института АН СССР, т. XXIX, М., 1948.
79. Розанов А. Н., Фазы, стадии и типы вторичного засоления почв при орошении, «Проблемы советского почвоведения», Сб. № 14, 1946.
80. Скабалланович И. А., Гидрогеологические расчеты, Углетехиздат, М., 1954.
81. Скворцов Ю. А., Юные тектонические движения Тянь-Шаня и генезис лесса Приташкентского района, Тр. Всесоюзного ра-

бочего совещания по итогам изучения четвертичного периода, АН УзССР, Ташкент, 1953.

82. Смит Р. Дж., Грунтовые воды Уттар Прадеш, их применение для орошения, Понижение уровня грунтовых вод и его искусственное повышение, Гипроводхоз, М., перевод № 107, 1952.
83. Справочное руководство гидрогеолога, Л., 1959.
84. Толстихин Н. И., Рельеф и распределение подземных вод (на примере Сибири), Изв. Всесоюзн. географ. общества, т. 79, вып. 5, 1947.
85. Уклонский А. С., Предварительные данные по изучению изотопного состава поверхностных и подземных вод Средней Азии, ДАН УзССР, 1953, № 2.
86. Чарный И. А., Строгое доказательство формул Дюпюи для безнапорной фильтрации с промежуток высачивания, ДАН СССР, т. 79, № 6, 1951.
87. Шмидт М. А., Режим грунтовых вод Узбекистана, Ташкент, 1938.
88. Bennison E. W., Ground Water, its Development Uses and Conservation, USA, 1947.
89. Kirkham D., de Zeeuw I. W., Field measurements for tests of soil drainage theory, Iowa Agr. Exp. Sta. Journ., Paper No 7—2071.
90. Lee Willis Thomas, Underground waters of Salt River Valley Arizona, Washington, 1905.
91. Marr James C., Drainage by means of pumping from wells in Salt River Valley Arizona, Washington, 1926.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава I. Некоторые теоретические предпосылки для решения вопросов формирования и использования подземных вод	7
Глава II. Изученность и общая гидрогеологическая характеристика Голодной степи	19
Глава III. Расчет статических запасов подземных вод	29
Глава IV. Гидрохимическая характеристика бассейна как показатель его гидродинамики	41
Глава V. Расчет динамических запасов и баланса подземных вод	54
Глава VI. Районирование и гидрогеологические прогнозы в связи с применением вертикального дренажа	77
Глава VII. Первые опыты по вертикальному дренажу (1929—1955 гг.)	88
Глава VIII. Опытнo-производственные системы вертикального дренажа	113
Заключение	134
Литература	138

Наталья Михайловна Решеткина

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА**

Редакторы Издательства
Н. А. Романики, И. Г. Гайсинская

Обложка художника
В. Тий

Технический редактор
В. П. Барцева

Корректор
Р. И. Тимошева

* * *

P13851 Сдано в набор 21/IX—60 г. Подписано к печати 14/IX — 60 г. Бумага 60×92 1/16—
4,5 бум. л. Печ. л. 9,0 Изд. л. 9,0 Тираж 650 Цена 8 р. Переплет 2 р.
Цена с 1961 г. — 1 р.

* * *

Типография Издательства АН УзССР, Ташкент, Хорезмская, 9.
Изд. № 2746/58 г. Заказ 674.

Адрес Издательства: Куйбышева, 15.