



Г. Г. ОГАНЕЗОВ

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ
АРАРАТСКОЙ КОТЛОВИНЫ

IV

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА АРМ. ССР
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

Г. Г. ОГАНЕЗОВ

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ АРАРАТСКОЙ КОТЛОВИНЫ

ТОМ IV

НАСОСНОЕ ОСУШЕНИЕ

Араздаянской степи

ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЛАВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С/Х НАУКИ МСХ
АРМЯНСКОЙ ССР
ЕРЕВАН — 1957

11817
13553

ПРЕДИСЛОВИЕ

Араздаянская степь, расположенная неширокой полосой на берегу р. Аракс частью в Армянской ССР, частью в Нахичеванской АССР, издавна считалась удобным участком для развития ценных культур хлопка и винограда.

Еще в семидесятых годах прошлого столетия для ирригации этой степи на площади в 8000 га был осуществлен комплекс инженерных сооружений, и была начата инженерная эксплуатация этого участка в основном под хлопок. Но первые попытки эксплуатации не увенчались успехом. Частично засоленные земли требовали мелиоративных мероприятий, каковые не были предусмотрены, и площади орошаемых земель начали из года в год выпадать, уменьшаться, не достигнув даже 1000—1500 га.

С установлением Советской власти в Армении с первых же лет начинается глубокое изучение степи для целей мелиорации.

В 1930 г. заканчивается первый проект орошения степи с дренажом насосными колодцами.

Несколько позже Управление Закавказского водного хозяйства, объединявшее тогда водное хозяйство трех Закавказских республик, поручило своему консультанту Олбергу Ч., имевшему опыт в проектировании насосного осушения, самостоятельно разработать схематический проект мелиорации Араздаянской степи.

В предлагаемой работе, в отличие от проектов прошлых лет, расчеты по осушению насосными колодцами выполнены по разработанной нами методике, получившей одобрение в Министерстве сельского хозяйства Союза ССР при рассмотрении

проекта осушения Севджурской степи, где часть степи намечена была к осушению также насосными колодцами.

В основу нашей разработки проекта осушения Араздайнской степи легли как изыскания и исследования 1927—30 гг., так и более поздние работы, выполненные Геологическим управлением Арм. ССР. Если первые изыскания раскрыли геологию степи до глубины в 50 м, то вторые дали картину геологического строения степи на глубину до 150 м и более.

Другим обстоятельством, характеризующим отклонения от ранее составленных проектов, является переработка изыскательского материала Араздайна и сопоставление его с результатами и выводами, полученными нами для Севджурской степи.

На основании параллельной обработки результатов изысканий и исследований, выполненных на полях Араздайна и Севджура, проектируемые дебиты колодцев Араздайнской степи получаются не случайные, а закономерные, соответствующие условиям, при которых складывалась Араздайнская степь.

Эта закономерность показана изодебитами, составленными для Араздайнской степи, они же подтверждены распределением пятен засоления и интенсивности последних, что имеет самостоятельный глубокий смысл.

Использование дополнительного исследовательского материала и выработанная методика его обработки изменили некоторые прежние основные параметры, положенные в основу проекта мелиорации степи.

В первоначальном проекте средняя амплитуда колебаний уровня грунтовых вод исчислена была в размере 1,75 м по стоянию уровней воды в скважинах в апреле и октябре. В нашем исчислении эта амплитуда равна 1,36 м. В первоначальном проекте определение среднего стояния уровня было дано по скважинам, расположение которых отнюдь не равномерное; мы же свои исчисления провели по гидроизогипсам указанных месяцев, что значительно правильней.

Далее, количество вод, подлежащих откачке, в первоначальном проекте исчислялось по 10% порозности почво-грунта в пределах амплитуды колебания уровня грунтовых вод, без учета испарения с поверхности земли, без учета динамики почвенной влаги, без учета осадков. В нашем изложении все эти

обстоятельства учтены в так называемом вертикальном балансе.

Отметим, что в результате составления вертикального водного баланса, перед нами раскрылась и гидрогеологическая сущность движения подземных вод степи.

Далее, в подсчетах первоначального проекта фильтрационные воды учтены в размере 33 %, у нас же они учтены в размере 40 % и дополнительно — от фильтрации в сети крупной и мелкой.

В первом проекте насосы откачивали с октября по апрель включительно только грунтовые воды, а с мая по сентябрь исключительно оросительные воды, совершенно игнорируя грунтовые воды. В нашем изложении нет такой простоты взгляда на сущность явлений.

Эффект откачек в первом проекте оценивался весьма оптимистически: считалось достаточным откачать из каждого колодца воду в размере до 23 л/с и предполагалось, что запроектированные дебиты колодцев в 100—60 л/с перекрывают потребность. В нашем изложении нет места для такого оптимизма; Араздаанской степи требуется более значительное количество насосов (21—25 насосов против ненагруженных проектных 18—20).

Согласно первому проекту намечалось откачивать грунтовых вод всего 31 млн. м³; по нашим исчислениям нужно откачивать 52,5 млн. м³ воды, правда, при новом распределении культур по степи, требующем 42 млн. м³ воды на полях, взамен прежних 38,4 млн. м³.

Наконец, в нашей работе дается в первом приближении график откачки и, увязанная с последней, динамика колебаний уровня грунтовых вод, какового раздела в прежнем проекте не было.

Необходимо сказать еще несколько слов о проекте консультанта Ч. Олберга, которому Закводхозом было поручено дать самостоятельную проектную разработку мелиорации Араздаанской степи, учитывая, что для наших инженеров осушение методом насосных колодцев было тогда новостью.

Если считать, что основными разделами в насосном осушении являются:

1. Определение водного баланса степи как настоящего времени, так и будущего при орошении,
 2. Определение размера необходимой откачки насосами,
 3. Определение возможного дебита колодцев,
- то инженер Ч. Олберг подошел к своей задаче весьма упрощенно.

Водный баланс грунтовых вод Араздаянской степи им определен по водосборной площади степи. Принимая осадки в пределах степи по данным метстанции Араздаян в 320 мм, а для горной части вне степи по интерполяции по весьма отдаленным станциям, находящимся вне пределов бассейна, в размере 440 мм, он быстро получает приходную часть баланса. При этом приводит обоснование:

«Сравнивая Араздаянскую степь с аналогичными площадями Соединенных Штатов, где были произведены подробные подсчеты стока для различных условий осадков, уклонов и т. д., **вполне очевидно**, что не более 10 % от количества воды, выпадающего на делювиальные конуса, может стекать в заболоченную часть долины».

Прибавляя 100 % осадков, выпадающих на поверхность болот, простым перемножением площадей на осадки и указанные проценты, он получает приходную часть в 47 млн. м³ воды в год.

Расходную часть баланса инж. Олберг определял следующим образом:

Считая, что в пределах Араздаянской степи заболочено 6050 га площади, и имея данные метстанции Араздаян, согласно которым с водной поверхности испаряется в год 1460 мм и с другой стороны то, что «судя по данным Соединенных Штатов можно предположить, что испарение с поверхности земли в **аналогичных условиях** доходит до 70 % от испарения с водного зеркала», приходит к заключению, что испарение будет в размере

$$60,5 \cdot 10^6 \times 1460 \times 0,7 = 61,83 \text{ млн. м}^3 \text{ в год.}$$

Так как это количество превышает приток с горного бассейна на 14,66 млн. м³, то «**по всей вероятности**», пишет инж. Ч. Олберг, «это количество пополняется водами реки и с верхней части степи».

Определив, таким образом, баланс современной степи, он переходит к балансу грунтовых вод по осуществлению орошения.

«По всей вероятности, до 70 % осадков, выпадающих непосредственно на степь, будет испаряться.

Это количество составляет 13,35 млн. м³. Следовательно, $61,83 - 13,35 = 48,48$ млн. м³ должны быть удаляемы насосами».

При исчислении баланса настоящего времени, а также и будущего, предполагалось, что уходящего за пределы степи грунтового потока нет, что является, безусловно, ошибочным.

Причем, как это видно из приведенного, баланс дан не по месяцам, а в разрезе года.

Прибавляя к исчисленному количеству вод еще 40 % оросительных, не осваиваемых растениями, и 100 % фильтрационных, Олберг получает общее количество вод, подлежащих откачке в размере 72 млн. м³.

По третьему вопросу о возможном дебите колодцев инженер Ч. Олберг пишет: «в Соединенных Штатах, в условиях аналогичных Араздаянским, средний дебит колодцев равен 2000 галлонам в минуту». Таким образом, весьма просто, но, к сожалению, не убедительно, заканчивает Олберг вопрос о возможном дебите колодцев.

Глубокие гидрогеологические и почвенные исследования, проведенные в Араздае, и учет благоприятных результатов осушения, достигнутых по соседству с Араздаем на опытном участке, открытом близ с. Джрарат (Нархун) Министерством сельского хозяйства Союза ССР в 1937-38 гг., как мы полагаем, должны обеспечить успех работ по осушению и орошению Араздаянской степи.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АРАЗДАЯНСКОЙ СТЕПИ

Геология и гидрогеология Араздамянской степи детально освещена изысканиями и исследованиями прежних лет.

Мы намечаем здесь дать предварительно общую геологическую и гидрогеологическую характеристику всего приараксинского района, частью которого является Араздамянская степь.

Отметим при этом, что излагаемое тут основывается как на прежних материалах, так и на более поздних.

Араздамянская степь расположена по р. Аракс. В плиоценовое или постплиоценовое время здесь существовало проточное озеро, по размерам значительно превышавшее Араздамянскую степь.

На основании ряда исследований выяснено, что уровень озера доходил до современной отметки 850 м.

В пределах озерной чаши при проведении исследований были заложены в значительном количестве скважины. Эти скважины во многих местах прорезали озерные отложения, выявив в этих точках мощность озерных глин. По отметке уровня воды и по другим показателям околонтурены границы озерной чаши, включающей в себе всю Араздамянскую степь.

Озерная чаша располагается вдоль по Араксу сравнительно неширокой полосой; верхней по течению реки границей этой продолговатой озерной полосы является долина Севджура (Северная степь). Этот участок изучен многими скважинами, числом более пятидесяти.

Выявлено, что под долиной р. Севджур имеется сплошной мощный покров озерных глин, совершенно изолирующий верх-

ние аллювиальные отложения от древних нижних. Питание грунтовой водой этой долины идет по лавовым трещиноватым породам, слагающим раму гор, окаймляющих долину (рис. 1).

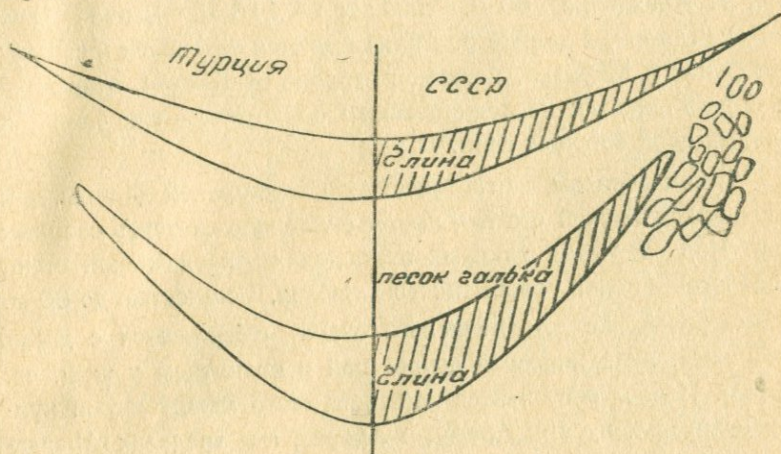


Рис. 1. Схематический поперечный разрез Арадатской долины.

Верхние грунтовые воды заболачивают долину р. Севджур. Нижние, — в связи с чашеобразным сечением озерных отложений, приобретают под долиной напор и дают самоизливающуюся артезианскую воду.

Мощность озерных глин под современным Араксом достигает 30 метров и больше; на береговой полосе бывшего озера, на расстоянии около 10 км от р. Аракс, мощность озерных глин достигает 3 м, уменьшаясь при дальнейшем удалении от Аракса, теряя одновременно водоупорные качества, благодаря примеси песков и галек. Указанные озерные глины Севджурской долины располагаются (считая от поверхности земли) на глубине около 100 метров у Аракса и 8 м на периферии.

Первые изыскания, произведенные в пределах Араздаинской степи, не обнаружили озерных глин, так как бурение было сравнительно неглубокое, достигавшее лишь в некоторых местах 50 м.

Но более поздние буровые работы, произведенные на посту Араздаин, а также на постах Арарат, Шидлу, дали более полную картину геологического строения долины и обнаружи-

ли под Араздаем три слоя озерных глин, разделенных мощными слоями речного аллювия. Под озерными глинами были вскрыты базальты. Глубина расположения верхних озерных глин в Араздае 60 м, нижних — 115 м. Выше Араздаинской степи, в долине р. Аракс имеются скважины в с. Шаумян (Юва) и Маркара, первая в стороне от Аракса, вторая — на берегу Аракса; последняя также обнаружила три самостоятельных слоя озерных глин.

Таким образом, как в пределах Севджурской долины, так и под Араздаинской степью, имеем сплошную скатерть озерных глин. Над озерными глинами в пределах Араздаинской степи располагается слой современного аллювия, мощностью до 60 м.

Образование Араксинского озера связывается с двумя причинами: вулканической депрессией и поднятием у ж.-д. ст. Неграм. Первое обстоятельство имеет место между двумя вулканическими конусами Арагац и Арарат, а в пределах Араздаинской степи обязано исключительно Арарату. Отмеченное поднятие у ж.-д. ст. Неграм в свою очередь сильно подняло отметку воды, доведя глубину озера у запруды до 150 м (рис. 2).

В поисках места запруды Араксинского озера делают иногда предположение, что таковая получилась от затека лав М. Арарата против гор Дагна. Такое предположение не может считаться правильным. Отметка лав под Араздаем у горы Дагна, как показало бурение, равна 700 м, а отметка уровня бывшего озера — 850 м. При значительной водности реки Аракс никакая лавовая запруда высотой в 150 м не могла бы устоять, лавовая гряда была бы быстро размыва. Подобные затеки лав могут осуществлять запруды лишь при небольших расходах рек. Бурение, произведенное в 1943 году вдоль р. Аракс, на постах Араздаин, Арарат (Давалу), Шидлу выявило, что затопленные под наносами долины лавы Б. и М. Арарата на фронте около 20 км имеют соответственно отметки 676, 702 и 718 м, последнее обстоятельство позволяет прийти к выводу, что лавы Малого Арарата против г. Дагна не играли роли плотины и, помимо этого, отметки их далеко не достаточны.

Подтверждением наличия запруды у ст. Неграм могут служить следующие соображения.

К. Н. Паффенгольд указывает на громадное распространение постплиоценовых (по Богачеву и Марголиусу — плиоценовых) галечников в районе Нахичеван-чая, толща которых, полого падая к р. Аракс, уходит под аллювиальные отложения реки. Он же указывает на наличие вдоль долины р. Арпа в районе Азнабирг, Чива, Микоян террасированных плато галечников на высоте 200 метров над рекой, а по Нахичеван-чаю на высоте 400 м. Это говорит о том, что базис эрозии указанных притоков Аракса раньше был высок, а к настоящему времени снизился, надо полагать, не менее чем на 100—150 м.

Считая отметку современного Аракса против Нахичевани 753 м, получим прежнюю отметку реки около 850—900 м. на этой отметке и была запруда у ж.-д. ст. Неграм.

Небезынтересно указать и на то, что у той же ст. Неграм одновременно смыкалось с юга и другое озеро, именно, озеро нынешней Хойской долины (Иран), спущенное впоследствии по р. Котур-чай (Богачев, «Урмийское и Ванское озера»).

Понижение Нахичеванского участка К. Н. Паффенгольд объясняет совсем недавним синклинальным прогибом долины р. Аракс.

Таким образом, подтверждается наличие тут в плиоцене-постплиоцене достаточных отметок для существования озерной запруды, обрзовавшейся от тектонического поднятия и вулканической депрессии чаши вдоль Арабата и Арагаца.

Что же касается того, прекратило ли озеро свое существование вследствие синклинального прогиба долины на этом участке или просто в силу речной эрозии, по существу это не имеет значения для жизни бывшего тут озера.

Участок тектонического поднятия, хотя и размывался переливавшейся через запруду рекой, но все же он сохранялся продолжительное время, благодаря гидрогеологическим условиям нижележащего участка реки.

Как известно, речное ложе формируется не межениными расходами рек, а паводковыми, и между средне-паводочными расходами, их скоростями течения с одной стороны и фракциями речного аллювия с другой, имеется соответствие. При малых скоростях и расходах обычно идет накопление наносов в виде

мелких фракций; большим скоростям и расходам соответствуют формирования крупно-обломочного аллювия.

Примем, что первоначальный профиль реки на рассматриваемом участке представлял собой наклонную прямую, или какую-либо кривую и, предположим, что в пределах этого же участка имело место тектоническое поднятие. Это вызывает вначале падение уклонов в верхних частях реки, появление меандров, затем, по мере дальнейшего поднятия, образование болот и озер. Слив воды через гребень поднятия вызовет ниже размыв русла, но не до установления прежнего уклона, а до уклона, соответствующего новому ложу реки (рис. 3).

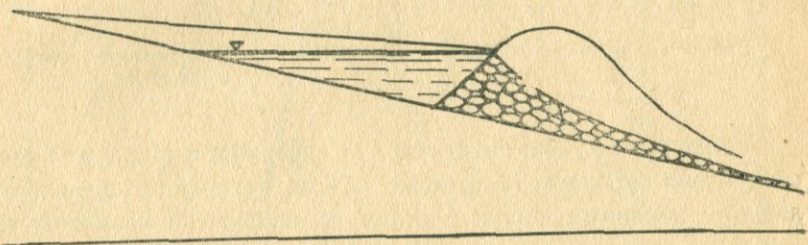


Рис. 3. Схема развития русла р. Аракс на участке Ордубад—Ахбенд.

На участке Ордубад—Ахбенд, расположенном ниже Неграма, речное ложе было заполнено крупными глыбами, выпавшими со склонов каньона. Последнее обстоятельство несомненно повело к повышению уклона реки в низовой части и созданию подпора в верховой.

И действительно, в настоящее время против Нахичевани и ниже до Неграм-Кизилванка Аракс явно меандрирует, а после вступления в полосу развития интрузивных пород с крупноглыбистым ложем уклон реки резко повышается.

Миоценовые песчаники и мергеля Нахичеванского участка не могли бы удержаться на высоких отметках без наличия высоких отметок нижележащего участка Ордубад—Ахбенд.

Вулканическая депрессия, как самостоятельный фактор, в свою очередь создала озерное ложе, понизив отметку его дна.

Нижняя граница озерных отложений в с.с. Маркара, Араздае, расположенных друг от друга на расстоянии 64 км, считая не по извилинам реки, а по плавной кривой долины, имеет следующие отметки:

Отметки нижней границы озерных отложений

Слой отложений	Маркара	Араздае	Примечание
I	728	737	В Араздае забой в базальте
II	713	726	
III	678	700	
IV	—	683	
Забой скважины	659	670	

При этом нужно отметить, что скважина в Маркаре приоткрыта бурением на отметке 659 м, не пройдя до подстилающих коренных пород; поэтому не исключена возможность, что ниже имеются еще другие ярусы озерных отложений.

Во всяком случае приведенные выше схемы и цифры достаточно убедительно указывают на депрессию в пределах озерной чаши между с.с. Маркара и Араздае.

Наличие нескольких горизонтов озерных глин хорошо увязывается с постепенным тектоническим поднятием Нахичеванского участка. Нижние слои озерных глин относятся к первой фазе поднятия, верхние — к последней. Эти фазы последовательно занумерованы на продольном профиле на ординате Нахичевани (рис. 4).

Между отдельными фазами поднятия имело место заполнение неглубокой чаши аллювием. Последняя фаза 4—5—4 относится к тому времени, когда озеро поднявшись, вновь опустилось от прохода порога. И действительно, верхний слой озерных глин самый мощный. Возраст плиоцен-постплиоцен в первую очередь относится именно к последнему верхнему слою.

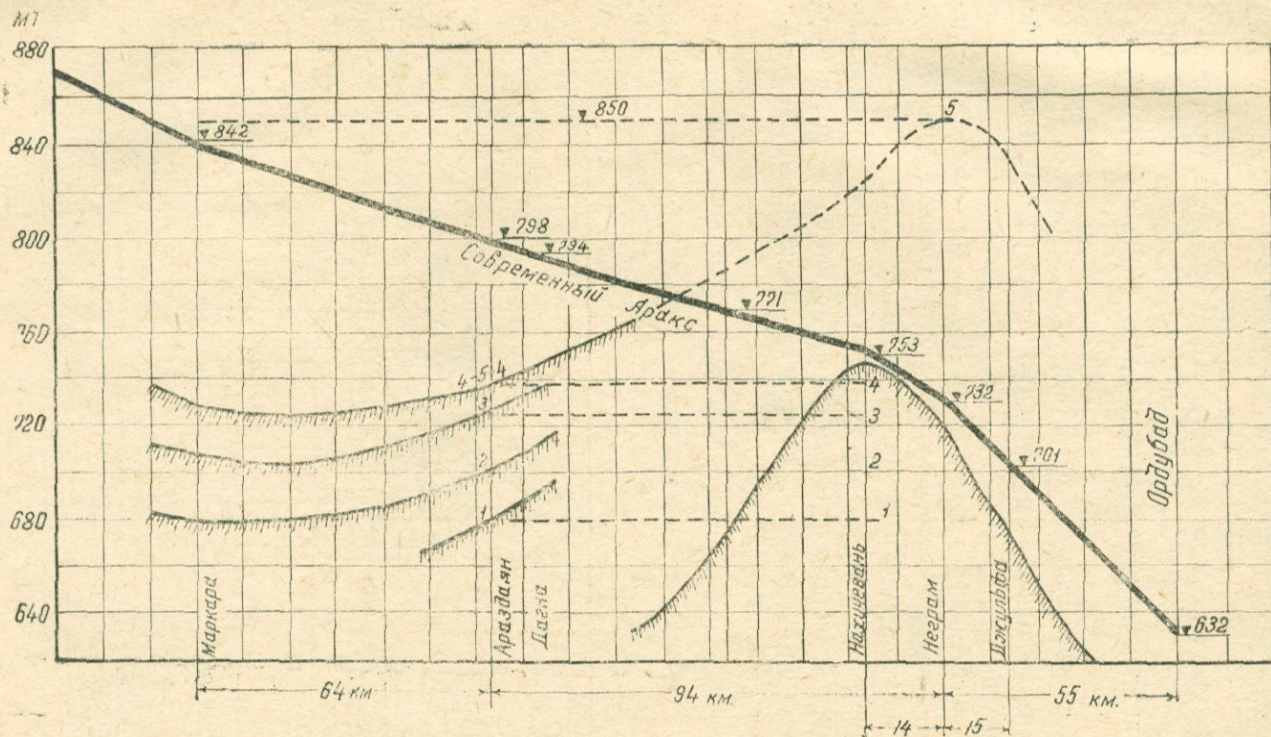


Рис. 4. Продольный профиль р. Аракс и озерных отложений.

За горой Дагна верхние слои озерных глин должны считаться большей частью смытыми.

В сечении Маркара нижние слои озерных глин имеют отметку ниже таковых в Араздагине. Без вулканической депрессии, при наличии лишь подируды, мы не имели бы такой картины.

В случае подируды от затека лавы, мы могли бы иметь лишь один общий слой озерных глин, чего на самом деле не наблюдается.

Увязка процесса формирования озерных отложений с динамикой тектонического поднятия запруды может служить хорошим ключом для распознавания последней.

Продольный профиль р. Аракс является прекрасной иллюстрацией к вулканической депрессии и поднятию русла реки как Мегринскими интрузиями, так и от завала реки камнями в пределах участка интрузии (рис. 5).

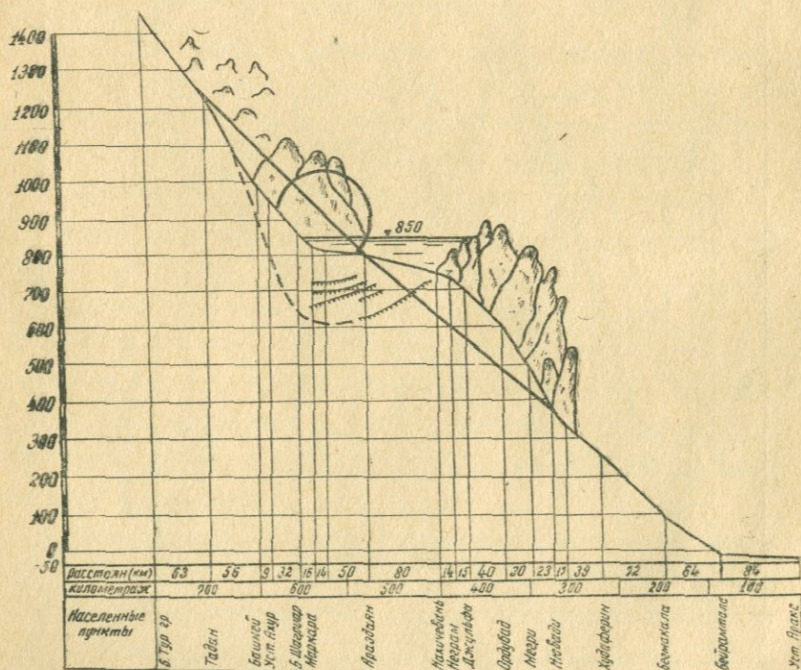


Рис. 5. Влияние депрессий и поднятий на продольный профиль р. Аракс

На том же профиле показан наклонной прямой предполагаемый теоретический древний профиль реки.

Максимальное опускание приходится в сечении у сел. Маркара; величина максимального опускания, считая его для нижней границы озерных глин, достигает 250—300 м.

Ширина Аракатской долины также отражает влияние вулканической депрессии: на участках реки, где Аракат и Арагац располагаются по бокам, долина шире, а ниже по реке, где кончается влияние Арагаца и остается влияние одного лишь Араката, долина соответственно суживается.

Выше впадения р. Ахурян, на участке Алуджинского поднятия, имеет место глубокий размыв русла.

Таким образом, на основании последних данных надо считать, что под Араздаянской степью на глубине 60—70 метров имеется сплошной слой озерных отложений, не обнаруженный первыми изысканиями.

Все верхние покровные отложения аллювиально-пролювиального типа являются наиболее молодыми, относятся к четвертичному времени, и как это установили еще первые изыскания, они, будучи водоносными, легко отдают воду. Причем водопроницаемыми являются не только песчаные отложения, но и глинистые пролювиальные слои, слагающие толщу Араздаянской степи.

В результате изложенного, можно прийти к выводу, что глубина заложения насосных колодцев в Араздаяне определяется глубиной озерных отложений в 60—70 м, и в каждом конкретном случае они должны быть скорректированы в процессе бурения.

ДЕБИТЫ И ДИАМЕТРЫ КОЛОДЦЕВ

Настоящая глава посвящена определению дебита колодцев с учетом всех геологических и гидрогеологических особенностей Араздаяна и с учетом условий работы колодцев, что является одной из самых сложных задач в данной работе.

Расчетный дебит колодцев зависит от ряда факторов: от текстуры грунтов, от вязкости воды, определяемой температурой, от засоления, от мощности водоносных слоев, от диаметра колодцев, от величины понижения уровня воды в колодце, от напора грунтовых вод, от условий размещения колодцев по степи и пр.

Исследования в этой области неизменно приводят к мысли, что основным законом движения грунтовых вод должен быть признан закон Дарси.

Этот закон проверялся многими исследователями и обычно применяется в расчетах при откачке воды из колодцев.

Принцип Дарси в формуле Дюпюи для откачек из колодцев имеет следующий вид:

$$Q = K \frac{\pi(H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}},$$

где

R и r — радиусы депрессионной воронки и скважины,
 H и h — глубины наполнения скважин до откачки и при откачке,
 K — коэффициент фильтрации.

Легко подметить, что сложное сочетание факторов, влияющих на дебит колодцев, не получило в этой формуле должного отражения, вернее, вся сложность комплексного влияния разнообразных факторов перенесена на величину коэффициента фильтрации.

Таким образом, применяя приведенную формулу, мы должны обратить особое внимание на величину коэффициента фильтрации.

Техническая литература в этом отношении не дает достаточных данных для коэффициента фильтрации.

Ряд исследователей производил свои исследования не в полевых условиях, а над промытыми, отсортированными песками.

Академик Н. Н. Павловский, подвергший анализу результаты различных исследований, придавал наибольшее значение исследованиям Хазена, базирующимся на многочисленные (в несколько тысяч) опытные работы.

Дальнейшим шагом вперед академик Н. Н. Павловский считал формулу проф. Сликтера, предлагающего, хотя и более сложную формулу, но учитывающего такой фактор, как порозность грунта и вязкость воды.

Но и эти формулы не дают правильных результатов в условиях откачек.

На этом основании надо считать, что наиболее правильным подходом явится использование результатов опытных откачек при специальной обработке, учитывающей как текстуру грунтов, так и основные выводы исследователей фильтрации, в основном, Хазена и Сликтера.

Изложим методику, принятую нами.

Согласно положений, имеющих в литературе, фильтрационные свойства грунтов, состоящих из неоднородных по крупности зерен, определяются не столько крупными зернами, сколько, главным образом, мелкими, которые располагаются в промежутках между первыми.

Обычно вводится понятие действующего зерна, при котором расчетная величина зерен данного неоднородного по крупности грунта определяется из условия, что однородный грунт, состоящий только из зерен размером d , обладает такой же пропускной способностью, что и данный неоднородный.

Исследования показали, что действующая величина зерна есть размер d такого зерна, меньше которого в данном грунте содержится по весу 10 %.

Фильтрационные свойства грунтов в основном зависят от текстуры грунтов; на этом основании нами были тщательно изучены текстуры всех грунтов, вскрытых скважинами, густой сетью покрывших долину.

Песчаные и супесчаные грунты с содержанием глины не больше 20%, были нами отнесены к практически фильтрующим, остальные грунты приняты условно нефилтующими.

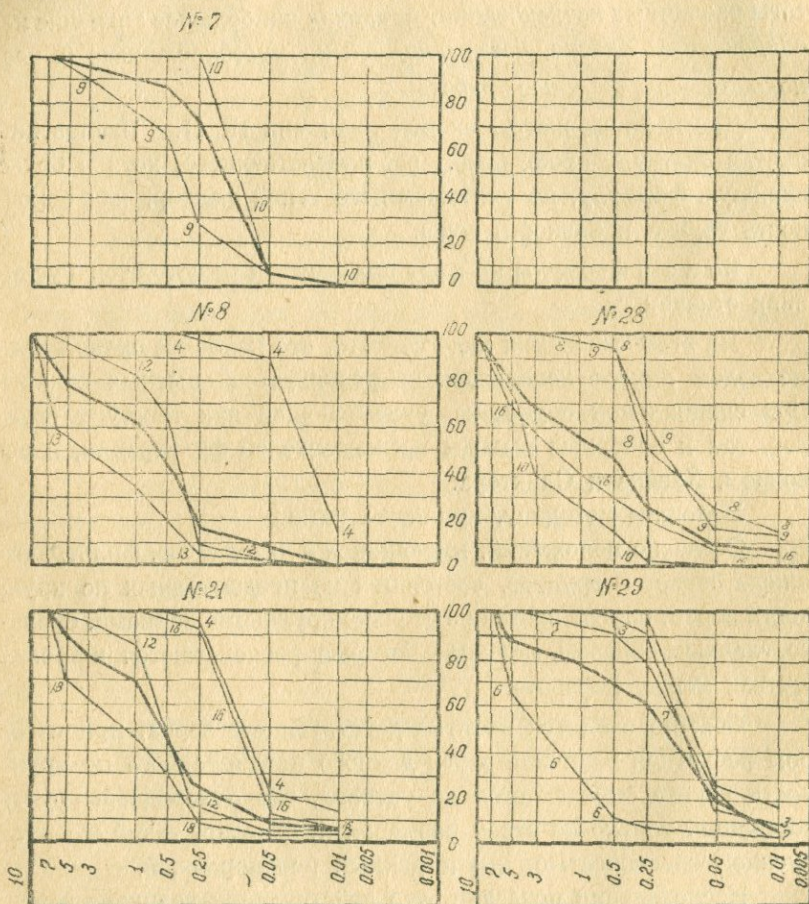


Рис. 6. Кумулятивные кривые песчаных грунтов из скважин Араздайна.

Считали практически нефилтующими также цементированные грунты.

Откачки в Араздаине производились из 12 скважин, расположенных по степи почти равномерно.

Кумулятивные кривые грунтов, извлеченных из скважин, показывают (рис. 6), что последние можно разделить на две группы: на группу предгорных скважин и на группу долинных. Первая группа по мехсоставу представлена по преимуществу глинами и суглинками и лишь единично встречаются супесчаные грунты. Вторая группа — долинная, в своих разрезах показывает слои песков.

Ниже в таблице показан мехсостав грунтов предгорных скважин; хотя таблица охватывает лишь грунты с наименьшим содержанием глины, все же в них процент глины весьма высок.

Таблица 1

Процентное содержание глинистых частиц в грунтах
из скважин, расположенных в предгорной части Араздаина

№ скважин	Глубина скважин при откачке	№ образцов	Мощность м	% глины	Дебит скважин л/с	Средний дебит для 10 м л/с	Примечание
5	44,55	5	1,20	22,39	40	0,7	Средние удельные дебиты скважин приведены к 10 м глубине при понижениях уровня воды в скважине на 1 метр.
		6	1,60	25,22			
		8	1,0	40,24			
9	33,22	14	1,0	18,75	13	0,8	
		15	5,6	20,44			
		6	0,20	37,75			
22	41,45	10	5,30	5,97	17	0,83	
		4	1,35	17,31			
		7	3,10	43,74			
24	39,40	10	3,0	29,22	15	1,58	
		13	4,9	42,35			

Долинные скважины Араздаина характеризуются следующими показателями:

Таблица 2

Средние удельные дебиты Араздаинских долинных скважин

№ скважин	Глубина скважин при откачке м	Дебит скважин л/с	Понижение м	Средний удельный дебит для 10 м скважины л/с	Примечание
7	51,5	45	7,91	1,10	
8	30,37	11	3,6	1,01	
21	33,55	18	2,4	2,22	
28	23,28	13,5	3,0	1,93	
	38,61	18	4,92	0,95	
29	22,67	11	4,6	1,06	

Эти две таблицы показывают, что предгорные скважины, несмотря на преимущественное содержание глинистых частиц в грунтах, в достаточной степени фильтрующие и довольно близко подходят по среднему удельному дебиту к скважинам долинным, имеющим в разрезе песчаные слои.

В этом отношении особенно показательна скважина № 5, которая дала значительный дебит. Отличие этой скважины заключалось в том, что шурф, вырытый у нее, показал комковатую глину в виде орешек.

Надо полагать, что в условиях предгорного Араздаина в данном случае имели фильтрующие глины, характерные вообще для пролювиальных склонов долин.

Нашей задачей является установление связи между текстурой грунтов и удельными дебитами.

Для этой цели в нашем распоряжении имеются результаты пробных откачек и текстуры грунтов скважин, подвергшихся откачкам. Сопоставление этих данных не представило бы больших затруднений, но положение осложняется тем, что разрез каждой скважины, обычно состоит не из одного грунта, а из ряда грунтов, имеющих разную величину действующего зерна. Очевидно, для сопоставления текстурных показателей с результатами откачек нам надлежит определить эквивалентный размер действующего зерна для каждой данной скважины в целом.

Кумулятивные кривые показывают, что по каждой скважине имеется обычно 3—5 и более разнообразных фильтрующих

грунтов с содержанием глины менее 20%, которых необходимо свести в один эквивалентный грунт.

График каждой кумулятивной кривой дает размер действующего зерна.

Для правильного подхода к этой задаче необходимо при-
нять во внимание вид формул коэффициентов фильтрации. Наи-
более признанными формулами, связывающими коэффициент
фильтрации K с размером d действующего зерна, являются
формулы Хазена и Слихтера.

Не приводя тут общеизвестных формул указанных авторов,
тем более, что ими мы пользоваться не будем, отметим лишь,
что эти формулы имеют вид:

$$K = f(d^2)$$

Определение эквивалентного действующего зерна можно
было бы выполнить по одной из следующих схем (рис. 7):

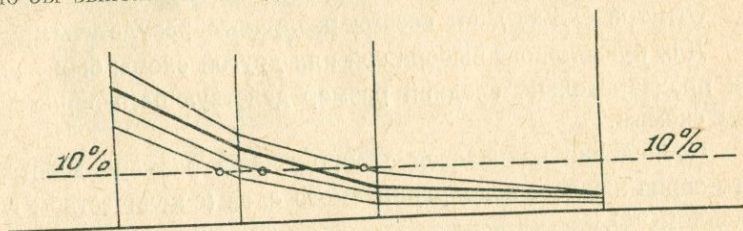


Рис. 7. К определению диаметров действующего зерна по кумулятивным кривым.

1. Определить среднее значение текстуры, исчисляя для каждой, указанной на графике ординаты, средний процент фракций по формуле

$$P_0 = \frac{\sum np}{\sum n},$$

где

p — процент по каждой кумулятивной кривой,

n — мощность слоя каждого грунта.

Применяя эту формулу по каждой ординате, определяем среднюю кумулятивную кривую (толстая линия), что даст и среднее значение действующего зерна на 10% линии.

2. Отметив места пересечений каждой данной кумулятив-
ной кривой с 10% линией, определяем размер d действующего

зерна каждой разновидности, а среднее значение по формуле

$$d_0 = \frac{\sum nd}{\sum n}$$

3. Наконец, третью схему можем базировать на том принципе, что основной вид формулы коэффициента фильтрации таков:

$$K = f(d^2)$$

и поэтому можно было бы исчислить и размер среднего действующего зерна пропорционально квадрату диаметра зерна по формуле

$$d_0^2 \sum n = \sum nd^2$$

и отсюда

$$d_0 = \sqrt{\frac{\sum nd^2}{\sum n}}$$

Эти три схемы дают весьма различные результаты.

Для правильного выбора той или другой схемы был исчислен предварительно средний размер действующего зерна по трем схемам.

Исчисление начинается с определения размера действующего зерна каждого водопроницаемого слоя (с количеством глины меньше 20%).

Для этого должны быть предварительно построены кумулятивные кривые образцов.

Предположим для какого-либо образца грунта имеем показанную ниже кумулятивную кривую. 10% линия пересекает кумулятивную кривую между указанными ординатами (рис. 8).

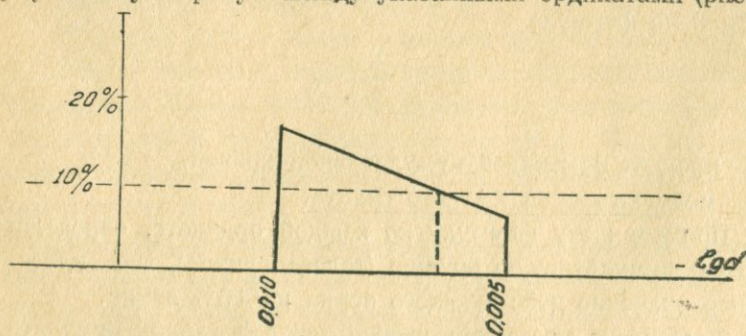


Рис. 8. Схема к теоретическому определению диаметра действующего зерна.

Так как по оси абсцисс откладываются не размеры зерен, а их логарифмы, то снеся точку пересечения 10% линии на абсциссу, получим логарифм соответствующего диаметра зерна.

Абсциссы кумулятивных кривых определяются из уравнения $d = 2^{-x}$

$$\text{Откуда } X = -\frac{\ln d}{\ln 2} = -1,441 \ln d = -3,325 \lg d$$

Получив по кумулятивной кривой величину X , соответствующую 10% содержанию, исчисляем соответствующую величину d .

Так, образец № 9 из скважины № 7 в Араздаине имел следующие показатели кумулятивной кривой

$$\angle 0,25 - 27,32\%$$

$$\angle 0,05 - 6,1\%$$

Абсцисса 10% содержания $X = 3,93$

$$\text{поэтому } 3,93 = -3,325 \lg d$$

$$\text{откуда } \lg d = -2,82; d = 0,066$$

Подобной обработкой исчислены величины всех действующих зерен для скважин Араздаина.

Таблица 3

Размеры действующих зерен d каждого водопроницаемого грунта из скважин Араздаина

№ скважин	№ образцов	d
8	4	0,0069
	12	0,250
	13	0,306
7	9	0,066
	10	0,054
	4	0,007
21	12	0,085
	16	0,017
	18	0,203
	8	0,007
28	9	0,008
	10	0,363
	16	0,062
	2/4	0,014
29	6	0,307
	7	0,017
	9	0,015
	11	0,007
	13	0,006

Затем переходим к определению эквивалентного среднего действующего зерна комплекса грунтов скважины в целом.

Исчисляем среднее действующее зерно по 1-й схеме по средневзвешенной кумулятивной кривой, определенной лишь в пределах 10% линии.

Пример расчета показан для одной из скважин.

Таблица 4

Схема 1

№ образ.	Мощность слоя	np			$-3,325 \lg d_1$	$\lg d_1$	d_1
		0,05/0,01	0,01/0,005	0,005			
7	0,75	25,43	12,40	2,61	—	—	—
8	0,90	13,74	8,68	2,47	—	—	—
11	3,0	3,87	3,87	2,16	—	—	—
14	1,60	36,74	21,33	4,74	—	—	—
18/20	6,20	39,59	37,70	16,80	—	—	—
Σ	12,45	115,37	83,98	28,78	—	—	—
p_0	—	9,3	6,70	2,31	—	—	—
Σp_0	—	18,31	9,01	2,31	6,40	2,03	0,012

Пояснение

1. Для образца № 7 $np = 33,91 \times 0,75 = 25,43$ и т. д.

$$2. p_0 = \frac{\Sigma np}{\Sigma n} = \frac{115,37}{12,45} = 9,3 \text{ и т. д.}$$

3. Σp_0 = сумме ординат p , начиная с конца, с малых фракций.

$$4. \begin{aligned} & - 3,325 \lg 0,001 = 6,65 \\ & - 3,325 \lg 0,05 = 4,32 \end{aligned}$$

Разность 2,33

Абсцисса пересечения с 10% линией будет

$$6,65 - \frac{(10,0 - 9,01) 2,33}{18,31 - 9,01} = 6,40$$

$$5. - \lg d = \frac{6,40}{-3,325} = 2,08; d = 0,012$$

На основе полученных размеров действующего зерна для каждой скважины и по данным результатов пробных откачек можем построить кривую зависимости между размерами действующих зерен и дебитами скважин (рис. 9).

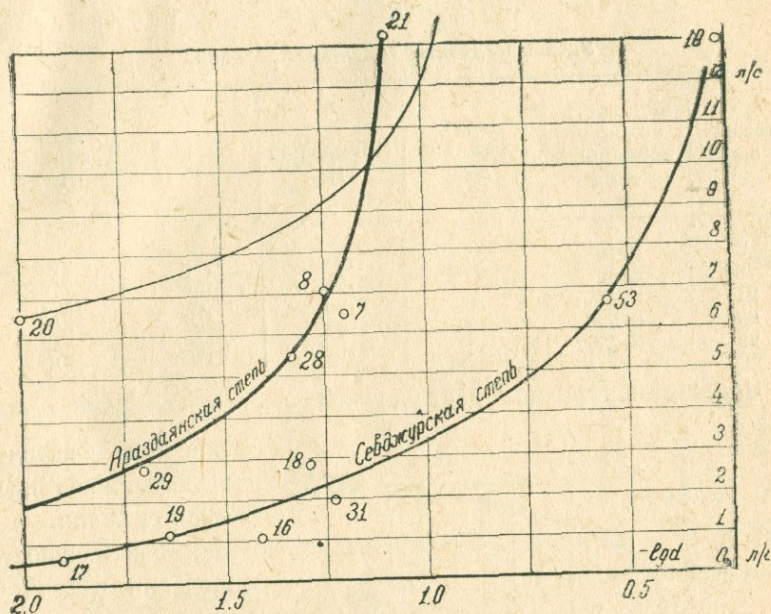


Рис. 9. График зависимости дебитов скважин от мехсостава грунтов

При этом считаем удобным придать кривой логарифмический вид. Кривая при этом получается более удобной. Конечно, логарифмическая форма кривой, кроме удобства, не вносит никаких перемен.

Имея дебиты скважин и понижения уровня вод в скважинах, определяем удельные дебиты при снижении уровня воды на 1 метр и пересчитываем для возможности сравнения на мощность водопроницаемого грунта в 10 метров.

Результаты сведены в таблицы; удельные дебиты определены по формуле

$$q = \frac{Q}{SI}$$

Q — дебит скважины в л/с

S — понижение уровня в скважине при откачке

I — мощность водопроницаемого слоя, считая за единицу мощность в 10 м.

Таблица 5

Удельные дебиты скважин Араздаана

Скважи- ны	Мощность водопрони- цаемого слоя м	Дебит скважин л/с	Понижения м	$-\lg d$	Удельный дебит для 10 м
7	8,10	45	7,91	1,19	7,0
8	4,09	11	3,5	1,24	7,5
21	5,47	18	2,40	1,08	12,7
28	6,53	18	4,92	1,33	5,6
29	8,68	11	4,6	1,70	2,8

Приведенная таблица дает удельные дебиты скважин Араз-

даана при фактиче-
ски имевшихся диа-
метрах скважин.

Для возможности
сравнения результа-
тов необходимо по-
следние привести к
одному диаметру
скважин.

Чтобы по возмож-
ности не исказить ре-
зультаты опытных от-
качек переработкой
теоретическими фор-
мулами, пересчет
производим на сред-
ний диаметр сква-
жин в 200 мм, при
этом дебиты их ме-
няются на небольшие
величины.

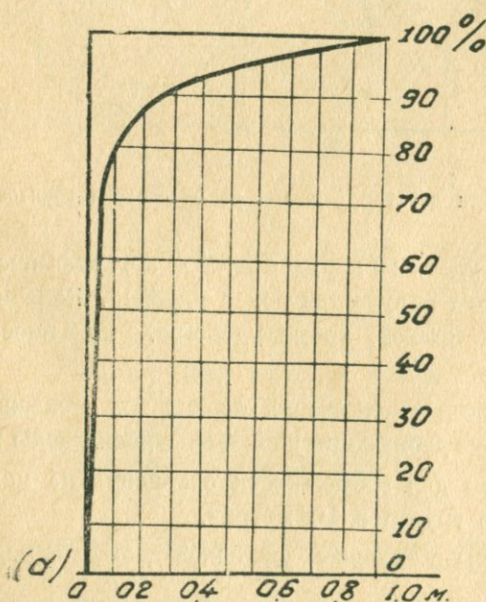


Рис. 10. График зависимости дебитов от диаметра скважин

Пересчет произведен согласно кривой зависимости дебита от диаметров скважин в условиях откачек.

Эта зависимость, вытекающая из формулы Дарси-Дюпюи, представлена графически (рис. 10).

$$Q = \frac{\pi K(H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}}$$

Таблица 6

пересчета удельных дебитов скважин на диаметр в 200 мм по схеме 1

Скважи- ны	Диаметр см	Удельн. дебит на 10 м	Переход. коэффци.	$-\lg d$	Удельн. дебит при $d = 200$ мм
7	40	7,0	0,92	1,19	6,4
8	32	7,5	0,94	1,24	7,0
21	15	12,7	1,05	1,08	13,3
28	25	5,6	0,97	1,33	5,4
29	20	2,8	10,0	1,70	2,8

Анализ определенно показал, что 2 и 3 схемы не дают достаточно закономерной зависимости дебитов от текстуры грунтов, в то время как 1 схема довольно строго, без сильных отклонений, выражает эту зависимость.

На первый взгляд — это неожиданный результат. Казалось бы, что 3 схема, где средний размер действующего зерна определяется по формуле:

$$d_0 = \sqrt{\frac{\sum n d^2}{\sum n}}$$

должна была дать наиболее правильные результаты. И действительно, если считать, что понижение уровня воды в скважине одинаково относится ко всем фильтрующим грунтам скважины, что для всех слоев имеем один и тот же гидравлический уклон, удельные дебиты должны были быть, согласно Хазену, пропорциональны квадрату диаметра действующего зерна, и мы могли бы набрать общий дебит скважины по каждому слою в отдельности по принципу $\sum A n d^2$, где n мощность слоя, но графики этого не подтвердили.

Нам представляется, что причина заключается в том, что принцип ΣAnd^2 мог дать правильные результаты лишь в том случае, когда каждый слой дебитовал бы в скважину самостоятельно (рис. 11); тогда, действительно, набрав дебиты по каждому слою, мы получили бы дебит всей скважины, при этом дебит каждого слоя мог бы быть исчислен по той или другой формуле, например по Хазену.

Но известно, что движение грунтовых вод при откачке

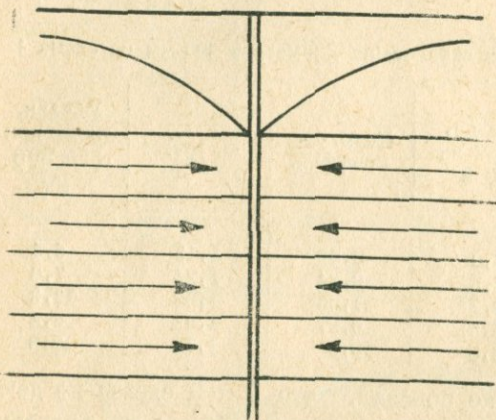


Рис. 11. Отвергнутая схема поступления грунтовых вод в скважину при откачках.

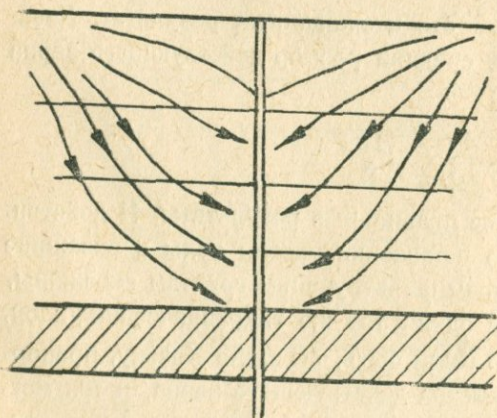


Рис. 12. Принятая схема поступления грунтовых вод в скважину при откачках.

не происходит по этому принципу. При откачке более водопроницаемые грунты дают значительный дебит, обедняяют свои горизонты, и вышележащие менее водопроницаемые грунты сдают свои воды вниз к первым грунтам. Так, если пункт находится на расстоянии 100 метров от скважины, а водопроницаемый грунт на глубине, скажем, 20 м, то ближайшим путем по затрате энергии будет путь вниз на 20 м к водопроницаемому слою и далее в сторону скважины, чем все 100 м по менее водопроницаемому грунту.

Таким образом, грунтовые воды при откачке делают путь

к скважине не по одному и тому же слою, а проходят сложный путь от вышележащих менее проницаемых грунтов к нижележащим проницаемым, оставляя лишь неширокую зону непосредственного попадания в скважину (рис. 12).

При таком существе явления, конечно, принцип самостоятельного действия каждого слоя, выражаемый формулой ΣAnd^2 не может иметь места; также не имеет места, как выясняется, и принцип $\Sigma An \left(\frac{\Sigma nd}{\Sigma n} \right)^2$, лишь первая схема, определяющая действующее зерно среднего мехсостава, дает удовлетворительные результаты.

Надо заметить, что полученная кривая зависимости $q=f(d)$ (см. рис. 9) может быть использована лишь для скважины в целом, и будет неправильно стремление использовать ее для определения дебита каждого слоя в отдельности.

В нашей работе «Осушение насосными колодцами Северной степи» приведены те же данные по Севджурской степи.

Существенное значение имеет то, что кривая Араздаяна по сравнению с аналогичной кривой для Севджура расположилась на высоких ординатах.

Какая может быть причина этому?

Выше мы отметили, что предгорные скважины при преимущественном преобладании в разрезе глинистых грунтов показали себя в полной мере дебитующими. Из представленной кривой усматривается, что и долинные скважины отличаются по сравнению с Севджурской повышенным дебитом. Напрашивается мысль, что здесь кроется одна и та же причина, т. е. повышенные ординаты получаются от того, что весь дебит скважин мы приписываем пескам, в то время, как значительный процент дебита, видимо, принадлежит глинам, не принятым в учет.

Совместный анализ Араздаяна и Севджура дал возможность осветить индивидуальные особенности каждого из этих участков; без этого сопоставления условия Араздаяна остались бы невыясненными.

Получив на основе опытных откачек кривую зависимости удельных дебитов от мехсостава грунтов, имея текстурную характеристику грунтов для ряда скважин, заложённых

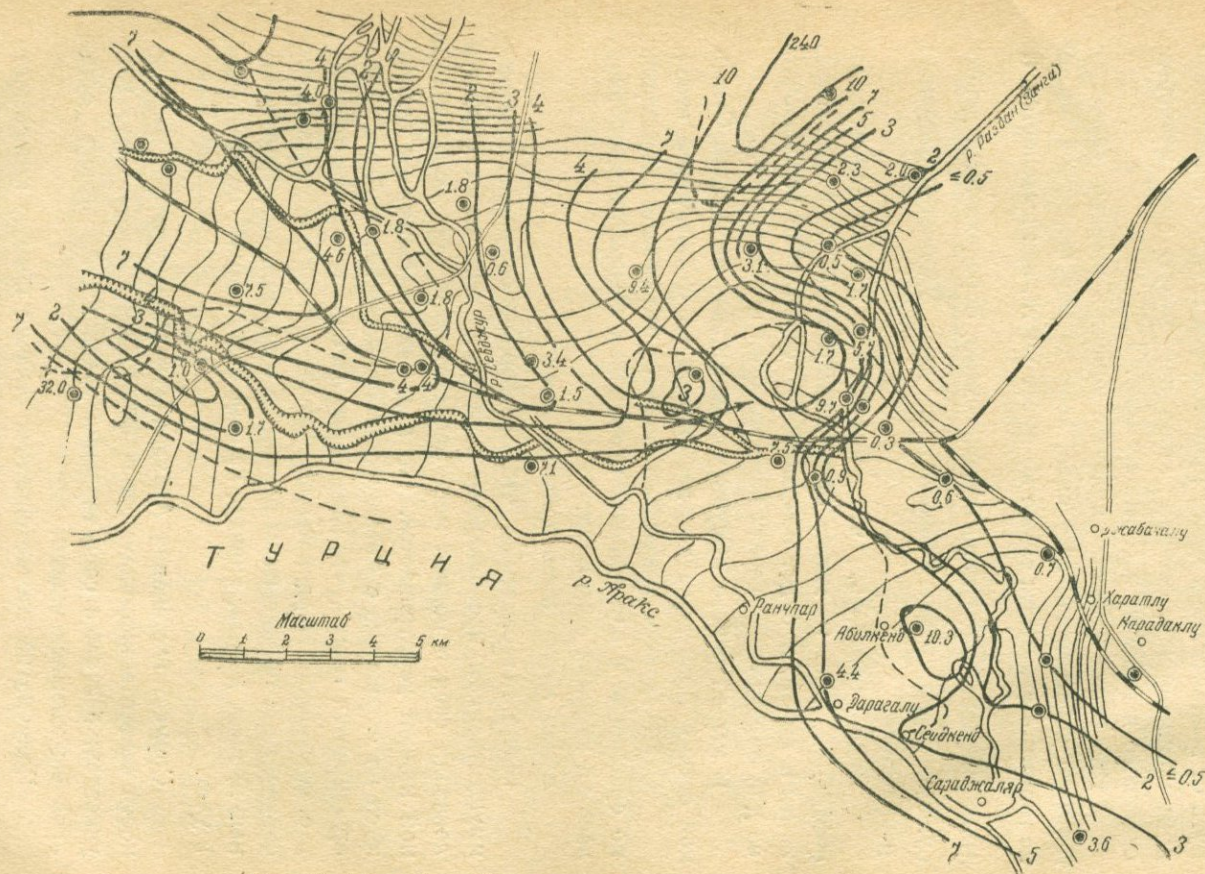


Рис. 13. Изодобиты Севджурской долины.

в Араздае, можем с достаточным приближением исчислить их удельные дебиты.

Учитывая, что придется при осуществлении строительства закладывать скважины крупных диаметров, дебиты скважин пересчитаны на диаметр в 500 мм.

Получив для разных точек долины удельные дебиты скважин, т. е. дебиты при понижении уровня вод в скважине на 1 м, составили карту изодебитов соединением точек равных дебитов соответствующими изолиниями.

Для Араздае, исходя из вышеизложенного, на карте представлены изолинии средних дебитов для всего разреза скважины в целом, а не только для песчаных грунтов.

В то время как изодебиты Севджурской степи показали весьма сложную работу трех рек — Аракса, Севджура и Занги, сходящихся в один общий узел (рис. 13), на Араздае эта картина представляется более простой, здесь в формировании долины принимал участие один Аракс (рис. 14).

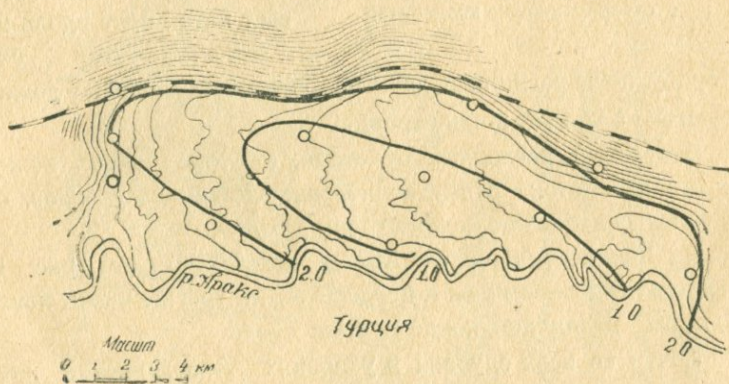


Рис. 14. Изодебиты Араздаекой степи

Испарение грунтовой воды вызывает концентрацию солей. Если грунтовый поток идет от высоких изодебитов к низким, (рис. 15), это обстоятельство, вызывая восходящее движение грунтовой воды, является причиной концентрации солей близ поверхности земли. Атмосферные осадки здесь не могут заметно ослабить концентрацию солей, так как эти воды не вызы-

вают в данных условиях нисходящего потока, — они располагаются выше грунтовых вод и испаряются затем в первую очередь.

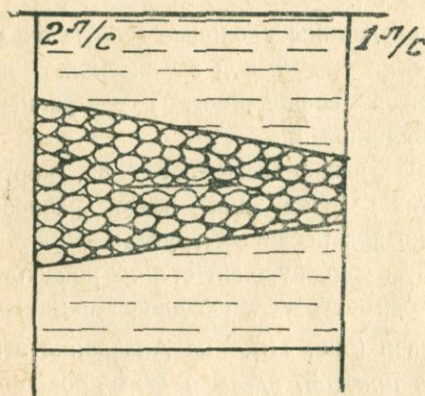


Рис. 15. Схема движения грунтовых вод Араздайнской степи в сторону низких изодобитов.

Очевидно, восходящее движение при этом задевает не только верхние горизонты грунтовых вод, но и всю толщину грунтового потока.

В тех случаях, когда гидронизогипсы указывают на направление потока в сторону понижающихся изодобитов, на этих участках будем иметь высокую концентрацию солей в почве и грунтовой воде. В тех случаях, когда грунтовый поток идет вдоль изодобитов, а тем более

в сторону повышающихся дебитов, грунтовые воды не должны отличаться большой концентрацией солей.

Отсутствие восходящего потока, а тем более наличие нисходящего потока в случае повышающихся изодобитов, способствуют ослаблению концентрации солей.

На прилагаемой карте Араздайнской степи (см. рис. 16), проведены гидронизогипсы и изодобиты, на той же карте показаны полосы различной концентрации солей.

Почти во всех случаях в условиях Араздайнской степи движение грунтовых вод, показанное стрелками, идет от высоких изодобитов к низким; эти направления занумерованы по порядку от 1 до 8, и неизменно по направлениям стрелок идет усиление концентрации солей; лишь стрелка № 9 имеет направление вдоль изодобитов, и здесь отмечается поэтому не усиление засоления, а сохранение его минерализации. По направлению стрелки № 3 имеет место промежуточное положение, эта стрелка идет сначала перпендикулярно изодобиту 2 л/с и затем подходит параллельно к изодобиту 1 л/с, в со-

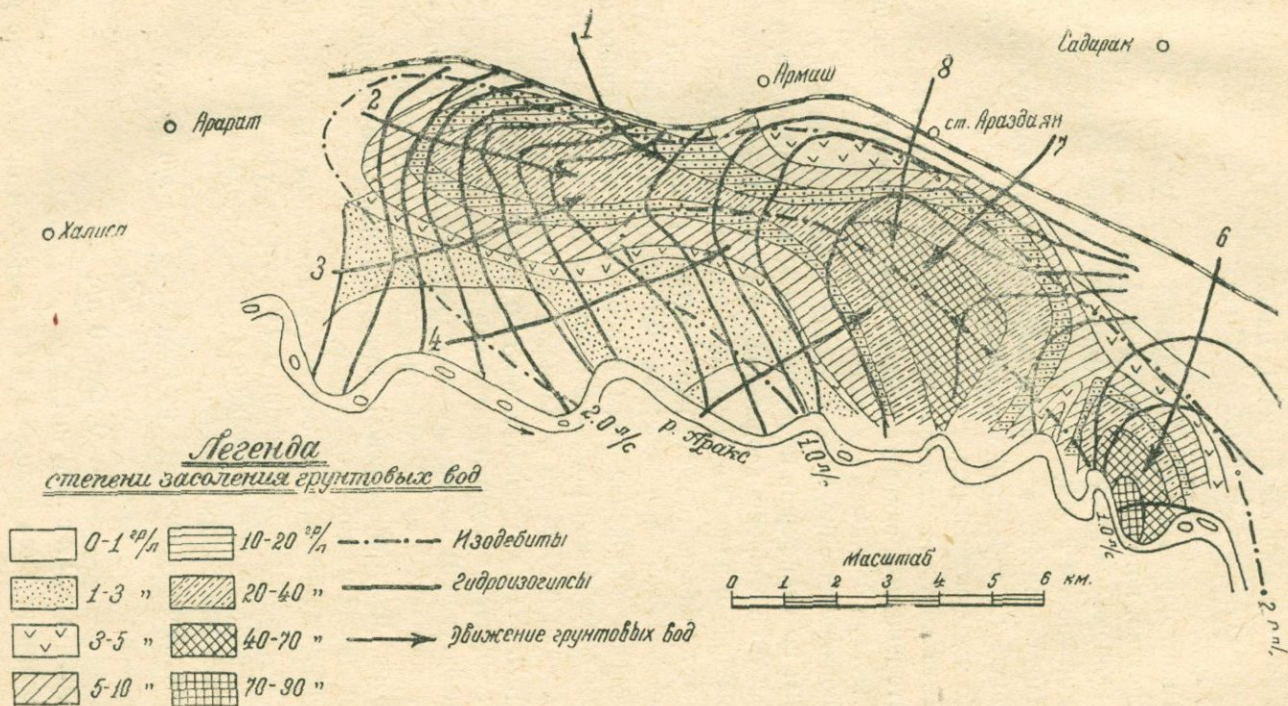


Рис. 16. Зависимость засоления Араздаинской степи от движения грунтовых вод в сторону низких изобеитов.

ответствии с этим имеем и косое направление полос засоления. Частично это касается и направления, указываемого стрелкой № 1.

Таким образом, карта Араздаяна показывает, что та характеристика, которая получена для водоотдачи грунтов и которая изображена изодобитами (рис. 16), вполне согласуется с картой засоления степи.

Карта изодобитов и карта минерализации вод степи, составленные на совершенно различных принципах, могут быть взаимно скорректированы.

Имея карту изодобитов Араздаанской степи, можем считать, что колодцы, закладываемые для осушения, не будут иметь дебитов случайного характера; их дебиты, как правило, будут подчинены определенной закономерности: они будут значительны по периферии, по линии 2 л/с и вне этой линии, и будут убывать в сторону изодобитов в 1 л/с в косом направлении по отношению к длине территории степи. В этом глубокое значение карты изодобитов; эта карта является ключом для правильного расположения колодцев разной производительности.

Глубина понижения воды в нормально действующих колодцах в иностранной практике принимается в размере 10 м; так, в долине р. Соленой в Калифорнии были приняты на участках А. В. С. Д. Е. соответственно 10,6—11,0—8,0—16,6—9,1 м, причем глубина понижения 16,6 м относится к слабо дебитующим грунтам с производительностью колодца в 32 л/с., в то время как остальные колодцы дебитовали от 80 до 119 л/с. Для Севджурской степи глубина понижения получилась также равной 10 метрам.

В наших расчетах мы считаем правильным также остановиться на расчетном понижении в 10 метров, тем более, что это понижение уровня в скважинах подтверждена в проектах экономическими соображениями.

Тогда дебиты колодцев на изодобите 2,0 л/с будут:

$$2 \cdot 10 \cdot 5 = 100 \text{ л/с,}$$

$$1,0 \cdot 10 \cdot 5 = 50 \text{ л/с}$$

а на изодобите 1,0 л/с получим

Это при глубине колодцев в 50 метров, а при глубине до 60 м эта цифра будет соответственно 120 л/с и 60 л/с.

Площади, тяготеющие к каждому из указанных дебитов колодцев, почти равны, вернее, намечается некоторое преобладание малолитражных колодцев, так как изодебит 2 л/с располагается по контуру орошаемой степи.

Отметим, что по проекту консультанта Олберга для всей Араздайнской степи была принята одна общая производительность насосов в 130 л/с при понижении уровня воды в колодцах в 15 м (6), что даст при 10-метровом понижении, принятом нами, соответственно

$$130 \frac{10}{15} = 86 \text{ л/с}$$

Это совпадает с нашей средней производительностью

$$\frac{1}{2}(100 + 60) = 80 \text{ л/с.}$$

Проведенные нами исследования и расчеты устанавливают, что степь в разных частях своих имеет гидрогеологически неодинаковую характеристику, и поэтому дифференцированный подход к дебитам, принятый нами, является более правильным.

Иностранная практика выработала для диаметров колодцев следующие нормы: в округе Телок и Фресно (Калифорния) приняты скважины диаметров в 16", в округе Модесто — 12 — 14", в Мерседе 20".

В долине р. Соленой (Нельсон—Скорняков Ф. Б.) имеют распространение следующие диаметры:

12" — 29 шт.

16" — 17 шт.

18" — 84 шт.

20" — 20 шт.

24" — 7 шт.

Консультант Олберг Ч. принял в своем проекте Араздайна диаметр колодцев — 20". В утвержденном проекте Араздайна приняты — 18" колодцы.

Мы считаем вполне достаточным иметь 18" колодцы (450 мм) без дифференциации по диаметрам. Вообще полагаемся на слабдебитных участках увеличивать диаметры, а иногда и больше понижать уровень воды в колодцах. Но размер 18" является достаточным и для слабдебитных скважин.

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Правильное исчисление количества вод, подлежащих откачке, представляет одну из основных и серьезных задач, которую приходится разрешать при проектировании осушения насосными колодцами. Горизонтальные и восходящие грунтовые потоки, осадки, испарение с поверхности почвы, переменная в течение года влажность почвы, поливные воды, фильтрационные воды, транспирационные воды—вот комплекс разнообразных условий, который имеет влияние на количество вод, подлежащих откачке.

Сложность вопроса усиливается еще и тем, что при определении количества подлежащих откачке вод, приходится учитывать и распределение насосных колодцев по степи, интенсивность и продолжительность откачек и прочие факторы.

При разрешении вопросов осушения насосными колодцами, по нашему мнению, основным является правильное представление о балансе вод.

В настоящей работе мы и обращаемся к водному балансу для разрешения вопросов, связанных с осушением насосными колодцами.

В этих условиях будем базироваться на баланс вод, условно называемый нами вертикальным.

Элементами вертикального баланса являются:

1. В приходной части

1. Поступление вод сверху (осадки, полив)
2. Приток снизу.

II. В расходной части

1. Всякого рода испарения с поверхности почвы или с поливного поля, транспирация.

2. Положительное или отрицательное изменение в течение каждого месяца влажности всего почво-грунтового слоя от поверхности земли до уровня грунтовых вод.

Очевидно, в условиях поставленной задачи необходимо иметь баланс для каждого месяца.

Нет сомнения, что вертикальный баланс будущего, когда степь будет осушена и будет поливаться, не может быть составлен без предварительного изучения баланса настоящего времени. Только изучением баланса настоящего времени, выяснением естественно-исторических элементов, влияющих на баланс, мы можем подойти к балансу будущего.

Степь Араздаяна, которая подлежит осушению насосными колодцами, в настоящее время почти не орошается. Лишь на весьма небольших клочьях, разбросанных по степи, и в основном на береговой полосе Аракса и в верхней части степи вдоль Лево́й ветки, можно встретить орошение.

В связи с этим естественно-исторические показатели степи характеризуются как для степи засоленной, не допускающей в современных условиях разведения культур.

Вертикальный баланс настоящего времени может быть представлен так:

Осадки + приток снизу = испарение с почвы + положительное или отрицательное изменение влажности в почвогрун-товом слое выше уровня грунтовых вод.

Колебания уровня грунтовых вод обуславливаются количеством осадков, интенсивностью инфильтрации и испарения. Уровень грунтовых вод зависит также от режима глубинных вод.

II. В расходной части

1. Всякого рода испарения с поверхности почвы или с поливного поля, транспирация.

2. Положительное или отрицательное изменение в течение каждого месяца влажности всего почво-грунтового слоя от поверхности земли до уровня грунтовых вод.

Очевидно, в условиях поставленной задачи необходимо иметь баланс для каждого месяца.

Нет сомнения, что вертикальный баланс будущего, когда степь будет осушена и будет поливаться, не может быть составлен без предварительного изучения баланса настоящего времени. Только изучением баланса настоящего времени, выяснением естественно-исторических элементов, влияющих на баланс, мы можем подойти к балансу будущего.

Степь Араздаяна, которая подлежит осушению насосными колодцами, в настоящее время почти не орошается. Лишь на весьма небольших клочьях, разбросанных по степи, и в основном на береговой полосе Аракса и в верхней части степи вдоль Лево́й ветки, можно встретить орошение.

В связи с этим естественно-исторические показатели степи характеризуются как для степи засоленной, не допускающей в современных условиях разведения культур.

Вертикальный баланс настоящего времени может быть представлен так:

Осадки + приток снизу = испарение с почвы + положительное или отрицательное изменение влажности в почвогрун-
товом слое выше уровня грунтовых вод.

Колебания уровня грунтовых вод обуславливаются количеством осадков, интенсивностью инфильтрации и испарения. Уровень грунтовых вод зависит также от режима глубинных вод.

Помимо этого, на уровне грунтовых вод отражаются и колебания горизонтов воды в реках.

Для Араздаяна источниками питания грунтовых вод являются воды с нагорной части, расположенной вдоль степи на северо-востоке, воды со стороны р. Аракс и, наконец, грунтовые воды, поступающие в Араздаянскую степь с площади, расположенной выше по р. Аракс.

Колебания грунтовых вод происходят в полном соответствии с временами года; как питание степи с окружающих гор, так и осадки и испарение, связанные со временем года, являются основными причинами колебания уровня грунтовых вод. Немалым фактором в колебаниях уровня грунтовых вод является и весенний подъем вод р. Аракс. Воды последней весной инфильтруются в берега и частично подпирают поток грунтовых вод, идущий с гор и с верхних участков долины р. Аракс.

Араздаянская степь характеризуется сравнительно высоким стоянием грунтовых вод; можно считать, что грунтовые воды располагаются в среднем на глубине около метра, имеют отдельные участки открытых болот, а весной, смотря по году, низина затопляется весенними водами Аракса, причем затопление доходит до 40% всей площади степи (1929 г.).

1929 год был наиболее многоводным, поэтому считаем целесообразным принять его расчетным годом.

По наличию материалов принимаем к рассмотрению наиболее характерные месяцы: январь, февраль, май, июль, октябрь. Май характеризуется наиболее высоким стоянием грунтовых вод, октябрь — наиболее низким.

На основании исследовательских данных определяем объем сухого грунта до уровня грунтовых вод по месяцам, указанным выше, и по маю и октябрю определяем амплитуду колебаний. Согласно характеру имеющегося материала, считаем целесообразным для расчетов брать не площади с разными глубинами стояния воды, а их процентное соотношение.

Таблица 7

В е д о м о с т ь
исчисления объема сухого грунта в январе, феврале
1929 г. и в январе 1930 года

Средняя глубина грунтов. вод мм.	I—1929 г.		II—1929 г.		I—1930 г.	
	% площ.	Объем сухого грунта	% площ.	Объем сухого грунта	% площ.	Объем сухого грунта
0,25	3,67	1,83	4,06	1,01	5,23	1,31
0,75	—	—	10,35	7,76	10,43	7,84
1,25	4,19	5,25	19,48	24,8	25,15	31,4
1,75	53,11	93,0	30,01	52,5	26,68	46,8
2,25	24,9	56,0	22,34	50,5	23,82	53,6
2,75	3,44	9,45	5,63	15,5	6,24	17,1
3,50	2,62	9,17	1,35	4,72	2,14	7,5
4,50	2,60	11,7	1,69	7,10	0,31	1,39
5,50	1,92	10,5	1,51	8,30	—	—
6,50	1,55	10,1	1,06	6,9	—	—
7,50	1,43	10,7	1,18	6,85	—	—
8,50	0,57	4,84	1,14	9,68	—	—
9,50	—	—	0,20	1,90	—	—
Итого	100	222,54	100	197,02	100	166,94

$$\text{Средняя глубина за январь} = \frac{1}{2} (222,54 + 166,94) \frac{1}{100} = 1,95 \text{ м.}$$

Средняя глубина за февраль — 1,97 м.

Таблица 8

В е д о м о с т ь
исчисления объема сухого грунта в мае, июле, октябре
1929 г. для Араздаинской степи

Глубина грунтов. вод м	Средняя глубина м	% площ. печи в мае	Объем сухого грунта в мае	% площ. в июле	Объем сухого грунт. в июле	% площ. в октябре	Объем сухого грунта в октябре
0,0	0,0	39,72	—	—	—	—	—
0,—0,5	0,25	18,84	4,71	11,65	2,91	0,52	0,13
0,5—1,0	0,75	7,12	5,34	32,72	24,6	7,19	5,39
1,0—1,5	1,25	11,15	13,94	35,73	44,5	11,55	14,50
1,5—2,0	1,75	13,62	23,83	9,59	16,8	12,94	22,77
2,0—2,5	2,25	3,43	7,75	5,03	11,3	40,87	92,0
2,5—3,0	2,75	1,44	3,98	0,58	1,60	19,62	53,6
3,0—4,0	3,5	1,12	3,92	1,26	4,40	5,07	17,7

Глубина грунтовых вод м	Средняя глубина м	% пло- щади в мае	Объем сухого грунта в мае	% площ. в июле	Объем сухого грунта в июле	% площ. в октябре	Объем сухого грунта
4,0—5,0	4,5	1,14	5,13	0,80	3,60	0,72	3,24
5,0—6,0	5,5	0,98	5,40	1,03	5,65	0,53	2,92
6,0—7,0	6,5	0,81	5,26	0,93	6,05	0,20	1,30
7,0—8,0	7,5	0,61	4,57	0,67	5,0	0,24	1,80
8,0—9,0	8,5	—	—	—	—	0,26	2,20
9,0—10,0	9,5	—	—	—	—	0,28	2,66
Итого		100	83,83	100	126,4	100	220,1

На основании приведенной выше таблицы исчисляем для каждого месяца среднюю глубину стояния грунтовых вод с указанием площадей

Таблица 9

Таблица и график
средних глубин стояния грунтовых вод в Араздайнской
степи за 1929 год (рис. 17).

Месяцы	Средняя глубина гр. вод м	Площади в га	Примечание
М а й	0,84	9090	
И ю л ь	1,26	9732	
О к т я б р ь	2,20	7124	

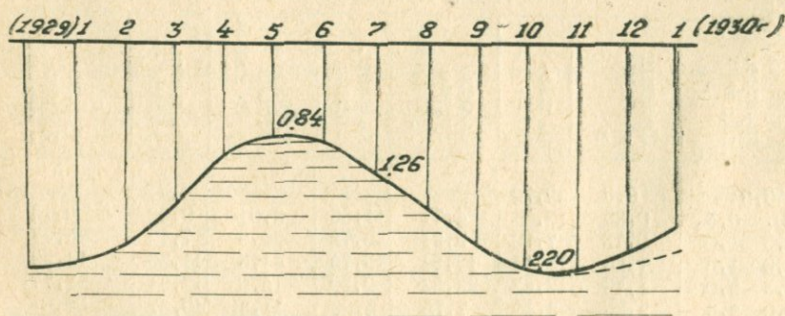


Рис. 17. Колебание уровня грунтовых вод Араздайнской степи за 1929 г.

По данным Романова Л. Г. (1) в 1914 году наблюдалось следующее стояние высоких и низких горизонтов вод степи.

Таблица 10

Скв.	22—23 мая саж.	10 сен- тября	Амп.	Скв.	22—23 мая саж.	10 сен- тября	Амплитуда
1	0,26	0,85	0,59	10	0,26	1,81	1,55
2	0,22	0,51	0,29	11	0,40	1,53	1,13
3	0,20	0,98	0,78	15	0,28	1,93	1,65
5	0,07	0,85	0,78	17	0,02	0,19	0,17
6	0,30	0,39	0,09	18	0,16	0,29	0,15
7	0,45	0,67	0,22	19	0,05	0,91	0,86
8	0,45	1,22	0,77	20	0,07	0,66	0,58
			Итого		3,19	12,79	

Средняя глубина стояния грунтовых вод Аразадяна в мае

$$\frac{3,19}{14} \cdot 2,13 = 0,49 \text{ м.}$$

В сентябре

$$\frac{12,79}{14} \cdot 2,13 = 1,95 \text{ м.}$$

Максимальная амплитуда за год

$$1,95 - 0,49 = 1,46 \text{ м.}$$

Эти данные согласуются с данными 1929 года, тем более, что принятый Романовым минимум и максимум горизонтов грунтовых вод абсолютные, а по нашим данным — среднемесячные.

Скважины Романова, где производились наблюдения за колебаниями грунтовых вод, были расположены по правильной сетке, поэтому считаем возможным по ним вывести среднюю величину глубины стояния грунтовых вод.

Отметим, что приведенные данные касаются степи, затопляемой высокими водами Аракса, что является, безусловно, ненормальным явлением, подлежащим устранению обвалованием реки, и что указанное затопление сильно повышает уро-

вень грунтовых вод. Поэтому считаем, что исчисленная нами амплитуда 1,36 м является, безусловно, преувеличенной. Но, несмотря на это, примем ее в основу и по полученной кривой колебания уровня грунтовых вод выведем таблицу, указывающую среднюю глубину стояния грунтовых вод по месяцам.

Т а б л и ц а 11

Средняя глубина стояния грунтовых вод Араздаанской степи

Месяцы	Средняя глубина гр. вод м	Колебания за месяц см.	Месяцы	Средняя глубина грун. вод м	Колебания за месяц см.
1	2,08	2	7	1,26	34
2	2,00	8	8	1,60	34
3	1,60	40	9	1,92	32
4	1,04	56	10	2,20	28
5	0,84	20	11	2,20	0
6	0,92	8	12	2,10	10

ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ОТКАЧКАХ

Влажность почвы в пределах Араздаянской степи не определялась; работы по определению влажности почвы проводились по соседству на полях Севджура, частично тоже подлежащих осушению насосными колодцами.

Не приводя данных о выполненных работах на полях Севджура, дадим их итоги.

1. При поливах влажность грунта ни в одном случае не доходит до предельной влагоемкости и даже до капиллярного насыщения.

Отметим, что согласно ряду опытов проф. А. Ф. Лебедева над лессом, непосредственно после просачивания воды через лессовую колонку влажность верхних горизонтов оказывалась меньше, чем нижних, причем влажность последних не достигала полной влагоемкости.

2. На глубине 0,40 м все грунты, как на поливных полях, так и на целинных участках имеют влажность в пределах 35—40%.

3. Ниже уровня грунтовых вод влажность в некоторых случаях меньше процентов на 10 полной влагоемкости, определенной в лабораторных условиях, что можно объяснить обычной уплотненностью глин в естественном состоянии.

На основании исследований на полях Севджура установлено, что при естественном понижении уровня грунтовых вод на 1 см испаряется в среднем слой воды в 2 мм и, наоборот, испарение 2 мм слоя воды из почвы вызывает в среднем понижение уровня грунтовых вод на 1 см (рис. 18).

При понижении в связи с испарением уровня грунтовых

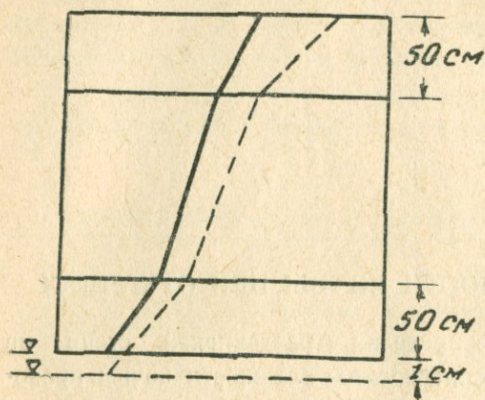


Рис. 18. Схема понижения уровня грунтовых вод от интенсивности почвенного испарения

вод испаряется одновременно капиллярная и гравитационная вода.

Если же будем понижать уровень грунтовых вод не путем испарения, а откачивая грунтовые воды насосами, то картина получится иная: здесь будут освобождаться гравитационные воды, количество которых зависит от порозности грунтов в пределах опускания уровня грунтовых вод.

Н. В. Макридин приводит гравитационную порозность некоторых почв в районах насосного осушения.

1. Чернозем	—18,5%
2. Глина с небольшой примесью песка	—5,8%
3. Светло-желтая глина	—2,5%
4. Синяя глина	—6,6%
5. Суглинок	—13,9%
6. Суглинок	—18,6%

В Араздайнской степи для глинистых грунтов гравитационная порозность была определена опытным путем в размере 8%.

Для лессовидных суглинков Голодной степи эта величина составляет по данным Н. В. Макридина 8—10% от объема почвы.

Для Севджурской степи к определению гравитационной порозности подошли следующим образом: было принято, что гравитационную порозность можно определить перепадом влажности почво-грунтового слоя в пределах 45—50 см зоны, примыкающей к уровню грунтовых вод.

Было подмечено, что при обычном залегании грунтовых вод на глубине в 1,5 м верхний слой мощностью около 50 см

представляет сухую почву, где свободны от воды не только гравитационные поры, но частично и капилляры.

Нижняя зона, примыкающая к уровню грунтовых вод, мощностью около 50 см, может быть признана переходной; здесь гравитационные поры, начиная непосредственно от уровня грунтовых вод, постепенно обедняются водой, постепенно уменьшается гравитационная влага, и на высоте 50 см остаются лишь капиллярные воды, также задетые испарением. Если вычертить график изменения влажности с глубиной, то можем подметить, что выше 50 см процент влажности почти не меняется, а близ поверхности земли на последних 50 см. кривая сдвигается в сторону падения влажности.

Поэтому считаем, что на высоте 50 см, считая от уровня грунтовых вод, практически имеются одни лишь капиллярные воды.

Определение перепада влажности в разных частях степи привело к величине 9%.

При откачке, в процессе понижения уровня грунтовых вод, происходит изменение влажности не только в пределах освобождаемых откачкой горизонтов, но также и в верхних горизонтах.

Пропуская воды сквозь колонну лесса и изучая распределение влаги вдоль по колонне разной высоты, А. Ф. Лебедев выявил, что высокие колонны в среднем удерживают меньше влаги, чем низкие колонны.

Графическое изображение показывает, что при переходе от метровой глубины на двухметровую влажность в среднем падает с 27% от сухой почвы до 26% или переводя на проценты от объема, влажность падает на

$$(27 - 26) 1,6 = 1,6 \%$$

где 1,6 — удельный вес сухой почвы.

Вводя этот корректив, получаем, что отдача воды должна исчисляться в размере

$$9,0 + 1,6 = 10,6 \%$$

от объема осушаемого грунта.

Округляя, для Севджура было принято считать отдачу в размере 10%.

На основании всего изложенного и нашего знакомства с

условиями степи, можем принять для Араздаянской степи отдачу воды при откачках в среднем в размере 10%.

Изменения влажности при откачке иллюстрируются согласно представленной схеме (рис. 19).

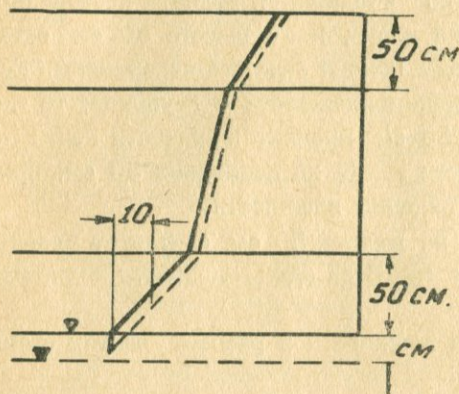


Рис. 19. Схема изменения влажности грунта при откачке

Таким образом, при откачке, когда импульс к понижению уровня грунтовых вод дается снизу, падению уровня воды на 1 см соответствует изъятие воды в среднем в 1 мм.

Когда импульс к понижению уровня воды дается сверху путем испарения, то понижению уровня грунтовой воды на 1 см соответствует изъятие вод в среднем в 2 мм.

ИСПАРЕНИЕ С ПОЧВЫ

Почвенное испарение в Араздаине определялось по почвенному испарителю Рыкачева. Наблюдения производились в течение неполных трех лет в 1929—31 г.г.

Показатели их приводим ниже.

Таблица 12

Почвенное испарение в Араздаине

Месяцы	Число дней наблюд.	Сумма месячн. испар.	Макс. испар. за сутки	Минимальное испар. за сутки	Среднее за месяц испарение	Средняя месячная температура	Максимум температуры	Минимум температуры	Осадки за месяц мм.
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
1929 г.									
6	16	65,3	6,5	1,4	—	—	—	—	—
7	27	58,1	4,7	0,1	66,5	—	—	—	—
8	24	46,7	6,9	0,3	60,5	27,0	34,4	11,5	—
9	14	10,3	1,9	0,1	—	20,7	34,0	4,9	—
10	27	10,4	1,7	0,1	12,0	13,2	27,2	-2,3	—
11	28	3,9	0,4	0,0	4,2	7,0	22,3	-6,6	—
1930 г.									
1	12	1,4	0,4	0,0	—	-1,7	10,1	-14,6	—
4	10	27,0	4,7	1,3	—	14,2	27,6	-13,1	27,0
5	30	57	3,8	0,6	59,0	19,4	30,7	7,1	8,3
6	30	77	5,6	0,2	77,0	22,5	35,0	9,2	6,1
7	31	82	5,4	0,2	82,0	27,9	37,3	15,1	2,2
8	31	55,7	4,5	0,7	55,7	27,6	38,6	13,1	0,0
9	30	31,8	3,1	0,4	31,8	21,0	34,5	7,4	0,0
10	27	21,0	1,8	0,0	24,0	12,2	26,5	-0,4	33,4
11	27	14,8	1,2	0,1	16,8	8,3	23,1	-5,8	14,7
12	9	2,2	0,4	0,1	—	0,7	13,6	-13,3	4,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1931 г.									
4	26	60,7	3,7	0,3	70,0	13,1	25,8	-1,3	13,5
5	31	106,5	20,5	0,5	106,5	16,9	28,0	3,6	44,4
6	26	57,3	5,6	0,2	66,0	22,1	36,6	9,0	11,9
7	30	59,1	4,4	0,8	61,0	26,4	36,2	13,0	10,8
8	30	48,1	9,0	0,4	49,0	25,6	39,6	11,5	10,0
10	30	21,6	2,7	0,1	22,0	12,3	28,5	-3,4	8,0
11	28	37,6	8,8	0,1	40,0	5,7	27,2	-7,2	37,2

Для получения полного цикла за весь год дополняем отсутствующие данные, основываясь на том, что почвенное испарение непосредственно зависит от дефицита влаги и что кривая почвенного испарения и кривая дефицита влаги конформны, (рис. 20).

Таблица 13

Наимен.	1	2	3	4	5	6
Температура	-4,9	-2,6	5,2	12,9	18,2	22,6
Относит. влаж.	68	59	48	43	40	37
Дефицит влаж.	1,02	1,55	3,45	6,36	9,40	12,95
Почвенное исп.	—	—	—	—	57	77

7	8	9	10	11	12
26,0	25,7	20,8	13,5	5,7	-1,1
40	40	38	47	57	—
15,13	14,86	11,42	6,15	2,95	2,53
82	55,7	31,8	21,0	14,8	—

В этой таблице показатели дефицита абсолютной влажности исчислены по формуле: $d = E \left(1 - \frac{r}{100}\right)$

где d — дефицит влажности,

E — упругость пара, насыщающего воздух при данной температуре,

Γ — относительная влажность по данным метстанции.

График

колебания дефицита влажности и почвенного испарения в Араздаине

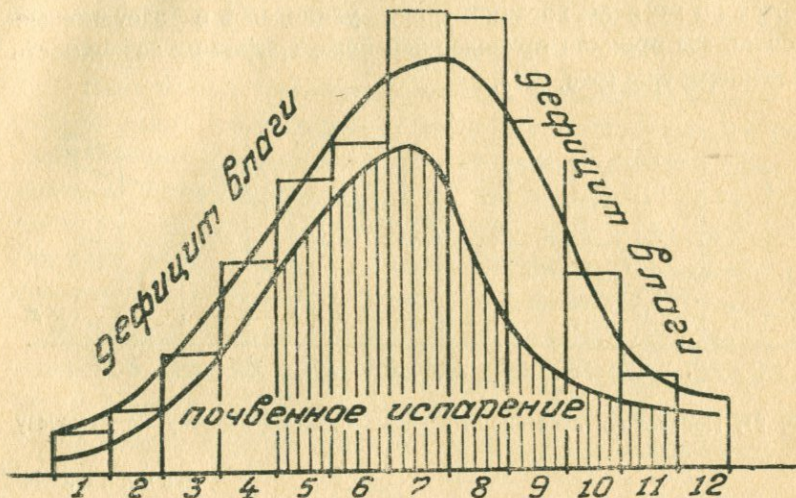


Рис. 20. График колебания влажности и почвенного испарения для Араздаинской степи

Как известно, при определении испарения по Рыкачеву, монолит грунта изолирован, не получает влаги со стороны окружающего грунта, и приближение к естественным условиям достигается частой сменой монолита.

Нам неизвестна частота смены монолита в Араздаине, но на полях Севджура эта смена производилась той же организацией (УГМС) в среднем через каждые 20 дней.

Если бы при определении почвенного испарения образец получал влагу с нижних горизонтов, монолит был бы более влажным, испарял бы больше, т. е. надо считать, что в условиях незначительных атмосферных осадков Араздаинской степи показания испарителя Рыкачева дают вообще преуменьшенные результаты.

Обработка данных наблюдений, проведенных на полях

Севджура, показала, что веса монолитов в среднем оказывались процентов на 10—15 больше сменяемых.

Увеличение результатов почвенного испарения в том же процентном отношении, нужно полагать, осторожной поправкой.

Так как 10% поправки для испарителя Рыкачева распределяются по месяцам неравномерно, усиливаясь в засушливые месяцы, мы приняли приведенный ниже график их зависимости от температуры (рис. 21).

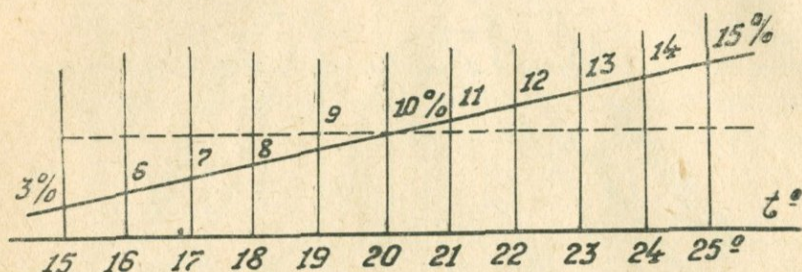


Рис. 21. Поправка к почвенному испарению, определенному по Рыкачеву

Т а б л и ц а 14

Исчисления поправки на испаритель Рыкачева

Месяц	t°	% поправ.	Испарение в мм	Поправ. в мм
4	12,9	3	33	1
5	18,2	8	57	4,6
6	22,6	12,3	77	9,6
7	26,0	16,0	82	13,1
8	25,7	15,7	55,7	8,4
9	20,8	11	31,8	3,5
10	13,5	4	21,0	0,8
Итого	—	—	—	41,0

Почвенное испарение находится в зависимости не только от метеорологических факторов, но зависит также от развития капиллярных свойств почвы.

Известно, что при содержании влажности в грунте, превышающей предел пластичности, скорость испарения—величина

постоянная; если уровень капиллярной воды понижается ниже поверхности земли, начинает падать и скорость испарения. Скорость испарения падает значительно сильнее, когда влажность ниже предела усадки.

Эти обстоятельства используем для внесения поправки в данные наблюдений почвенного испарения у ж.-д. ст. Араздаян при распространении их на всю степь.

Центральная часть степи засолена значительно больше периферической: в центральной части имеет место большое распространение участков с высоким стоянием грунтовых вод и участков значительного засоления. Это указывает на то, что здесь интенсивность испарения должна быть выше той интенсивности, которая была на участке метстанции Араздаян, где производились измерения почвенного испарения.

По исчислениям, проведенным для полей Севджура, повышение влажности почвы с 13,2% до 15,1% вызывает повышение испарительного процесса на 33%. Это повышение испарения должно быть учтено лишь за те месяцы, когда почва иссушена.

Считаем, что в течение зимних месяцев, когда земля обычно покрыта снегом, а также весной и осенью, когда выпадают дожди, условия испарения общие для всей степи, т. е. одинаковые с показателями испарения у метстанции Араздаян. Начиная с середины июня до конца сентября, когда почва становится сухой, вызывается необходимость применить исчисления для перехода с участка метстанции Араздаян на всю степь.

По Араздаянской степи не были произведены столь подробные изыскания, как это имело место на полях Севджура, но очевидно, что условия Араздаяна являются более суровыми, поэтому 33% поправки, исчисленные для Севджура, должны считаться недостаточными для Араздаяна.

Было бы неправильно принять один общий процент поправки увеличения для всех месяцев от середины июня до сентября включительно. И, действительно, июнь и июль являются первыми месяцами, когда только начинает превалировать нарастающее над осадками испарение. Зимние осадки всегда больше обычно незначительных зимних испарений, весна так-

же не благоприятствует большому испарению, поэтому в июне и июле начинается лишь первое испарение грунтовых вод после исчерпания испарением вод осадков, накопленных, примерно, с ноября месяца.

Считаем возможным принять в связи с вышеуказанным возрастающий процент поправки, начиная с середины июня до конца сентября с дальнейшим убыванием до нуля к ноябрю:

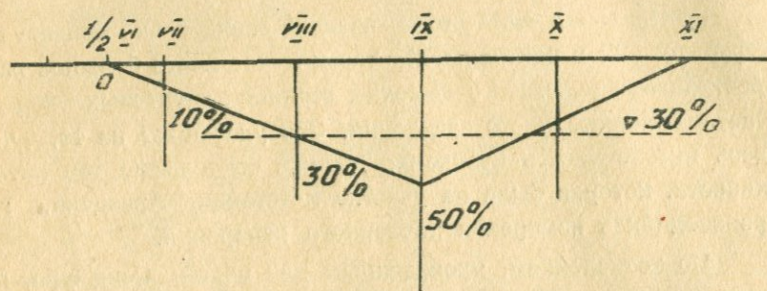


Рис. 22. Схема перехода от показателей почвенного испарения на метеостанции Араздаия к степи для летних месяцев

месяцу, когда вновь усиливаются осадки и сильно убывает почвенное испарение. Среднее возрастание испарения при этом будет равно около 30% (рис. 22).

При таком подходе почвенное испарение для Араздаийской степи исчисляется в следующем виде.

Таблица 15

Почвенное испарение для Араздаийской степи

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Наблюдаемое почв. испарен.	—	—	—	—	57	77	82	55,7	31,8	21,0	14,8	—	339,3
Исчисленное по дефект. влаж.	6	9	20	38	—	—	—	—	—	—	—	15	88,0
Поправка к Рыкачеву	0	0	0	1	4,6	9,6	13,1	8,4	3,5	0,8	0	0	41,0
Дополн. испар.	—	—	—	—	—	—	9,5	19,2	17,6	6,5	—	—	52,8
Итого . .	6	9	20	39	61,6	86,6	104,6	83,3	52,9	28,3	14,8	15	521,1

Если принять, что осадки, не испарившиеся в каждом данном месяце, будут испаряться в следующем, размер испарения грунтовых вод будет

$$521 - 180 = 341 \text{ мм}$$

Таблица 16

Среднегодовы́е суммы месячных осадков по данным метеостанции
Араздайн в мм

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
14,2	18,2	19,0	22,6	23,5	12,3	6,1	6,6	5,7	12,3	22,2	17,4	180,1

В связи с незначительностью осадков принято, что испарение может быть лишь почвенное, т. е. осадки непосредственно инфильтруются в почву и испаряются затем с почвы и не дают поверхностного стока, что фактически и имеет место.

СОВРЕМЕННЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ВОДНЫЙ БАЛАНС

В вертикальном водном балансе участвуют:

- а) в расходной части: положительное (или отрицательное) увеличение почвенной влажности и испарение с поверхности почвы и б) в приходной части: осадки и поступление грунтовых вод снизу вверх.

Согласно предыдущему, изменение почвенной влажности в размере 2 мм вызывает колебания уровня воды на 1 см.

Размер притока грунтовых вод снизу исчисляется из вертикального баланса, приведенного ниже.

Таблица 17
Вертикальный водный баланс степи по месяцам

Наименование	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Расходная часть													
Изменение почвенн. влаги в мм	+8 (4)	+16	+80	+112	+40	-16	-68	-68	-47 (64)	-16 (56)	+7 (0)	+20	0
Испарение с поверхности почвы мм	6	9	20	39	62	86	105	83	53	28	15	15	521
Приходная часть													
Осадки в мм	14	18	19	23	24	12	6	7	6	12	22	17	180
Приток снизу вверх грунто-вых вод мм	0	7	81	128	78	58	31	8	0	0	0	18	409

Примечание: Баланс составлен условно в предположении, что испарение осадков происходит без перехода в следующий месяц.

Вертикальный баланс может считаться удовлетворительно составленным при условии, если почвенное испарение, наблюдаемое в 1930 г., не слишком отклоняется от среднемноголетнего.

Таблица баланса показывает, что весной приток снизу грунтовых вод резко увеличится, а осенью падает до нуля.

Для Севджурской степи имели обратную картину — значительное усиление притока снизу осенью и падение его весной.

Подобную разницу надлежит объяснить следующим образом: Араздаянская степь имеет сравнительно небольшой бассейн питания грунтовых вод. Нагорье, орошающее степь с северо-востока, сложено осадочными водопроницаемыми породами, делювиальный покров которых маломощный. В этих условиях имеет место довольно заметное колебание уровня грунтовых вод в степи не только от усиления и ослабления испарения с почвы, но одновременно и от уменьшения количества грунтовых вод, поступающих со стороны склонов гор к степи.

Для Севджурской степи геологическая обстановка иная: здесь долина в основном окружена трещиноватыми лавами, которые на значительную глубину насыщены грунтовыми водами. Лавы не только непосредственно примыкают к Севджурской степи, но погружаясь, уходят под наносы долины, обеспечивая равномерное и постоянное ее питание грунтовыми водами. Этой равномерности грунтового потока способствует и наличие мощных родников в истоках р. Севджур. Родники эти, поддерживая одну и ту же отметку выхода воды, являются как бы регулятором напора, сохраняя его практически на одной и той же высоте. Следовательно, изменение уровня грунтовых вод на полях Севджура находится в зависимости лишь от сезона, от интенсивности испарения. Чем интенсивнее испарение, тем сильнее под неизменным напором будет подаваться вода снизу вверх. По нашим исчислениям для Севджурской степи понижение на 1 м уровня грунтовых вод испарением вызывает выпор грунтовых вод снизу вверх в размере 60 мм слоя за месяц.

В Араздаянской степи такого положения нет — здесь условия проще, масштабы меньше. Надозерные аллювиальные слои мощностью около 60 м подпитываются определенным количеством грунтовых вод, поступающих в степь. В летние месяцы

количество поступающих грунтовых вод становится меньше и понижается их уровень. Это понижение уровня вод отражается на величине испарения, так как капиллярное поднятие воды с понижением уровня вод естественно уменьшается.

Весною же, в условиях Араздаяна имеет место как увеличение грунтового потока, так и небольшое усиление атмосферных осадков, что дает общий подъем грунтовых вод.

Проведенный анализ и сравнение условий Араздаяна с Севджуром открывают нам глубокую гидрогеологическую сущность этих степей и их коренное различие.

Нам представляется что лишь применением метода вертикального водного баланса, впервые предложенного нами в 1934 г., можно было раскрыть гидрогеологическую картину Севджурской и Араздаянской степей и условия движения их грунтовых вод.

КОЛИЧЕСТВО ВОД, ПОДЛЕЖАЩИХ ОТКАЧКЕ

В будущем, при осушении и орошении степи, водный баланс будет сильно отличаться от баланса настоящего времени.

Прибавится оросительная вода, поверхность земли будет вспахана, на ней появится растительность, это коренным образом изменит условия испарения, а, следовательно, и водный режим степи.

Взрыхление поля и полив существенно меняют условия испарения грунтовой влаги, нарушают капилляры; поливная вода, занимая верхний горизонт, сама частью испаряется.

Движение капиллярной воды, как известно, происходит от зоны более влажной в зону менее влажную, и появление поливной воды вызывает движение капиллярной воды вниз, навстречу капиллярному движению грунтовой воды; этот процесс будет происходить до выравнивания влажности в соответствующих горизонтах.

Без большой погрешности мы можем принять, что испарение грунтовой воды в вегетационный период почти отсутствует. Испарение происходит за счет поливной воды. Но и во вневегетационный период испарение грунтовых вод будет резко снижено. С марта начинается на части площади арат, с другой стороны, взрыхленная земля вообще резко уменьшает испарение. Но из этого не следует, что вовсе не будет испарения грунтовой воды, не исключена возможность испарения ее зимою и даже в летний период между поливами.

На основании данных практики (6) примем, что испарение грунтовой воды в будущем сохранится в размере 15% от ис-

парения настоящего времени, все остальное испарение будет за счет поливной воды.

Водный баланс грунтовых вод степи в условиях орошения представится в следующем виде:

Откачиваемая насосами вода = восходящему потоку грунтовых вод + доля осадков + доля поливных вод — испарение грунтовых вод.

Выясним элементы этого баланса.

Осадки, выпадающие на поливное поле, лишь частью могут соединиться с грунтовыми водами. Можно считать, что в будущем осадки в количестве 70% будут испаряться и лишь 30% осадков соединяется с грунтовыми водами. Эта доля атмосферных осадков на площади поля кругло 8000 га брутто будет равна:

$$\frac{180 \cdot 0,30 \cdot 8000 \cdot 10^4}{10^3 \cdot 10^6} = 4,32 \text{ млн. м}^3$$

Что же касается оросительных вод, то проф. С. А. Захаров полагал возможным считать, что их испаряется 30%, просачивается в грунт 20% и осваивается растением 50%.

Проф. Л. Н. Розов в статье своей «Засоление почв в условиях орошения и организация борьбы с ним» определяет количество оросительных вод, просачивающихся до грунтовых вод, в размере от 0 до 40%.

Консультант Заководхоза инженер Ч. Олберг считал, что в условиях Араздаяна (6) может просочиться в грунт 40% оросительной воды.

Оросительные воды насыщают верхний слой почвы и затем постепенно насыщение передается нижним слоям до исчерпания свободной гравитационной воды. После исчерпания продвижение вод вниз происходит уже на основе капиллярного перемещения.

Капиллярное продвижение происходит от горизонтов с большой влажностью к горизонтам, имеющим меньшую влажность, и в сторону горизонтов с большой температурой.

Таким образом, вначале капиллярное продвижение будет вниз, пока не установится такое состояние, когда влажность

уравнится или будет близка к влажности горизонтов, близких к грунтовым водам. При этом капиллярное продвижение вниз будет постепенно уменьшаться, а затем будет преобладать в условиях жаркой Араздайнской долины температурный фактор, что вызовет капиллярное движение уже вверх до следующего полива.

При этом уместно будет указать, что уровень грунтовых вод представляет реальную поверхность лишь в шурфе, а в пределах грунта, и в особенности глинистого, таковой нет. Имеется постепенный, хотя и в небольших пределах, переход влажности от полного насыщения к меньшим размерам насыщения.

Распределение влажности в Севджурской долине показывает, что на поливных полях влажность выше уровня грунтовых вод колеблется в пределах 40—45%, если не считаться с верхним 40—50 см слоем, и такое положение характерно вне зависимости от того, сколько дней прошло после полива.

Влажность же ниже уровня грунтовых вод больше, поэтому можно принять, что условия 1 — 2 поливов не дают оснований предполагать, что поливная вода практически доходит до уровня грунтовых вод; здесь мы видим лишь повышение влажности нижних горизонтов, как показали графики, на 5—7% против влажности смежных целинных участков. Наблюдения показали также, что в условиях Севджурской долины, на следующий день после полива, когда только сходит вода с поверхности земли, почва оказывается пропитанной на глубину около 50 см.

Если будем считать поливную норму в 1000 м³, что соответствует слою воды в 100 мм, и среднюю влажность верхнего 50 см слоя перед поливом, согласно имеющимся графикам в 31%, то оросительная вода в пределах 50 см слоя повысит влажность до величины в среднем

$$31 + \frac{100}{500} \cdot 100 = 51 \%$$

Графики показывают, что дальнейшее просачивание этой влаги увеличивает влажность почвы в глубинах ниже 50 см в среднем на 5—7% и доводит среднюю влажность до 42%, т. е.

до той величины влажности, которая была определена А. Ф. Лебедевым, как средняя предельная для лессовых колонн соответствующей глубины.

Надо полагать, что первые два полива практически не подпитывают грунтовые воды, лишь воды последующих поливов способны частично соединиться с грунтовой водой через толщу почвы, насыщенную влагой от первых поливов.

Полагая, что при трех последующих поливах теряется влага в размере, указанном Ч. Олбергом (6), среднее количество потерянной за сезон влаги будет

$$\frac{3 \cdot 40}{5} = 24 \% \text{ (С. А. Захаров)}$$

Представленная картина насыщения грунта при первых поливах и отдача влаги в грунтовые воды при последующих поливах приводит к мысли, что в среднем для всего поливного сезона отдача воды будет 20—25% (А. С. Захаров), но максимальную интенсивность поступления поливной воды в грунт нужно принять в размере 40% (Л. Н. Розов, Ч. Олберг).

Очевидно, что всякое увеличение поливной нормы, а тем более переполивы, сильно повысят именно ту часть воды, которая уходит в нижние горизонты, в грунтовые воды.

В условиях Араздайнской степи будут применены поливы при норме 1200 м³/га и, кроме того, вначале будут даны промывы почвы при норме 1300—1500 м³/га (7), поэтому считаем правильным принимать как расчетную, именно 40% откачку оросительной воды.

При исчислении количества подаваемой на поля оросительной воды, нужно брать в расчет лишь те площади, которые ныне не орошаются, так как влияние орошения настоящего времени уже учитывается при рассмотрении уровня стояния грунтовых вод и испарения.

Согласно проекту осушения и орошения Араздайнской степи, количество оросительной воды в пределах степи исчисляется следующим образом:

Таблица 18

Потребное количество оросительной воды для Араздайнской степи
площадью 7150 га нетто

Месяц	Расход оросит. воды м³/с	Колич. вод в млн. м³	Месяц	Расход оросит. воды м³/с	Колич. вод в млн. м³
3	0,129	0,335	9	1,201	3,123
4	0,915	2,379	10	0,751	1,953
5	1,709	4,443	11	1,358	3,532
6	2,438	6,345	12	0,501	2,343
7	3,389	8,811	Итого		42,000
8	3,360	8,736			

Считая, что предельно 40 % оросительных вод за полив-
ной сезон передается на насосы, получим

$$42,9 \cdot 0,4 = 16,8 \text{ млн. м}^3$$

Согласно данным проекта (7) часть Араздайнской степи площадью до 400 га орошается в настоящее время. Но учитывая, что проектные нормы для Араздайнской степи выше существующих и что на участках выше Араздайнской степи развивается, согласно проекту, водокаческое орошение, считаем целесообразным не учитывать существующего здесь орошения соответственным уменьшением новой орошаемой площади.

Нужно считать неопровержимым, что фильтрующиеся воды из каналов целиком присоединяются к грунтовым водам, испарение здесь происходит за счет вод каналов, а в грунт безостановочно продвигается фильтрационная вода.

Необходимо различать потери каналов на фильтрацию от потерь на утечку. Фильтрация дает подъем грунтовых вод, вторая же — сбрасывается в отводящую сеть и отсюда лишь частью инфильтруется в грунт.

Согласно проекту, оросительная и распределительная сети (ветви) подлежат бетонировке, в связи с чем установлен высокий коэффициент полезного действия системы — 0,75. Потери в 25 % можно распределить на фильтрацию и на утечку следующим образом: на фильтрацию 10% и на утечку — 15 %, из коих одна четверть инфильтруется. Таким образом, можно считать инфильтрующуюся часть в 14—15 %.

Количество последних, передающихся на насосы, будет
 $42,9 \times 0,15 = 6,3 \text{ млн. м}^3$.

В будущем при орошении Араздзянской степи испарение грунтовых вод будет в основном парализовано орошением и пахотой, следовательно, для поддержания современного стояния грунтовых вод надлежит принять на насосы всю ту воду, которая в настоящих условиях испаряется.

Но в современных условиях уровень грунтовых вод стоит достаточно высоко и не удовлетворяет нормам осушения. Для разводимых культур необходимо поддержание 2-метровой глубины, и лишь ранней весной, когда однолетние культуры имеют еще неразвитую корневую систему, возможно допустить некоторое повышение уровня грунтовых вод.

Примем норму понижения от начала мая до октября — в 2 м, а в остальные месяцы — в 1,5 м.

При рассмотрении вертикального водного баланса, мы выяснили, что испарение с поверхности почвы происходит за счет осадков, и в большей степени за счет грунтовых вод.

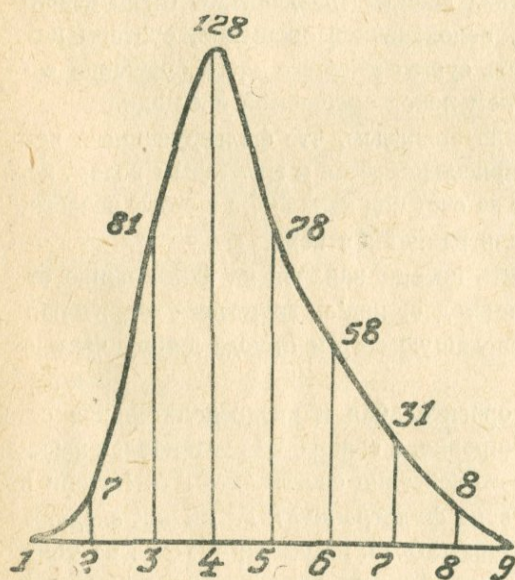


Рис. 23. График восходящего потока грунтовых вод для Араздзяна

Участие грунтовых вод в вертикальном водном балансе представлено последней строкой таблицы водного баланса и графически представлено здесь. График и таблица показывают, что с февраля по сентябрь происходит подпитывание почво-грунтового слоя снизу вверх, а остальное время года грунтовые воды располагаются на глубине в среднем 2,0—2,2 м и не участвуют в вертикальном балансе (рис. 23).

Для правильного понимания представленного графика укажем, что если мы представим себе на глубине 2,20 м воображаемую плоскость (рис. 24), то по данным нашего графика сквозь эту плоскость будут проходить в вертикальном направ-

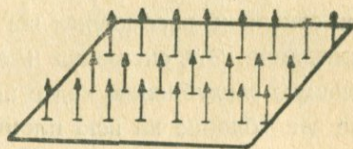


Рис. 24. Схематическое изображение восходящего потока грунтовых вод

лении грунтовые воды в количестве, указанном для каждого месяца на графике. Именно эти воды поднимают уровень грунтовых вод, повышают влажность выше этого уровня.

Так как эти воды в значительной части своей при поливе не будут иметь возможности испаряться, нужно производить откачку их насосами в размере, исчисленном выше, и тем предупредить под'ем уровня грунтовых вод.

Глубина 2,0—2,2 м является одновременно для Араздаия и нормой осушения, поэтому нам надлежит не допускать повышения уровня грунтовых вод сверх указанного.

Поэтому надлежит передать на насосы, согласно вертикальному балансу, следующее количество вод.

Таблица 19

Количество грунтовых вод, подлежащих откачке для поддержания уровня грунтовых вод на глубине 2,0—2,2 м на площади 8000 га.

Мес.	Глубина грунтов. вод м	Интенс. восход. вод мм	Колич. вод от- кач. млн. м ³	Мес.	Глубина грунтов. вод м	Интенс. восход. вод мм	Колич. вод от- кач. млн. м ³
I	2,08	0	0	VI	0,92	58	4,64
II	2,00	7	0,58	VII	1,26	31	2,48
III	1,60	81	6,48	VIII	1,60	8	0,62
IV	1,04	128	10,24	IX	1,92	0	—
V	0,84	78	6,24	X	2,20	0	—
Итого							31,28

Здесь необходимо упомянуть, что при откачках вокруг каждого колодца образуются воронки депрессии, которые на участках, прилегающих к колодцу, будут давать излишние заглубления уровня воды.

Для примерного учета этого дополнительного заглубления при откачках рассмотрим воронку депрессии скважины № 5 в Араздаине. Эта скважина имела воронку депрессии, соответствующую заглублению вод в колодце до 5 м. Примем, что среднее заглубление на всю площадь депрессии не увеличится при расчетном понижении вод в колодце в 10 м, так как соответственно увеличится и площадь депрессионного участка.

Исчисление дополнительного среднего заглубления по скв. № 5 показано ниже в таблице.

Таблица 20

И с ч и с л е н и е
среднего дополнительного заглубления от воронок вокруг каждого колодца на примере скв. № 5 в Араздаине

Радиус депрессии R	Понижение уровня h м	$\frac{R^2}{100^2}$	$\frac{R^2 - r^2}{100^2}$	$\frac{h(R^2 - r^2)}{100^2}$
800	0,05	64	15	0,75
700	0,10	49	13	1,30
600	0,25	36	11	2,75
500	0,30	25	9	2,70
400	0,75	16	7	5,25
300	1,00	9	5	5,00
200	1,75	4	3	5,25
100	3,00	1	1	3,00
				26,00

Средняя глубина

$$\frac{26,0}{64,0} = 0,40 \text{ м.}$$

На основании этой таблицы можно было бы заключить, что воронкообразование вокруг каждого колодца обязывает нас принять при расчете количества откачиваемой воды еще 0,40 м дополнительного заглубления.

Но депрессия одиночного колодца сильно отличается от депрессии колодца, когда последние покрывают всю степь, — сопряжение смежных депрессий заглубляет периферические участки.

Можно полагать, что из полученных нами 0,40 м дополнительного заглубления будем иметь, в связи с сопряжением воронок депрессий, всего половину полученной нами величи-

ны, т. е. около 20 см. Поэтому, имея необходимую норму осушения в 2 м., мы при откачках насосами должны учитывать расчетное заглубление в 2,20 м.

Последним элементом водного баланса является 15% испарение грунтовых вод.

$$\frac{0,521 \cdot 0,15 \cdot 8000 \cdot 10^4}{10^6} = 6,25 \text{ млн. м}^3.$$

Итак, количество вод, подлежащих откачке для Араздаян-ской степи, исчисляется следующим образом:

Т а б л и ц а 2 1

Наименование	Колич. вод в млн. м ³
1. Грунтовая вода	31,28
2. 30 % осадков	4,32
3. Оросительные воды	16,80
4. Фильтрационные воды	6,30
И т о г о	58,70
5. 15 % испарения	6,25
Подлежит откачке	52,45 млн. м ³

Считая откачку на площади 8000 га в 52,45 млн. м³, средний модуль осушения будет

$$\frac{52,45 \cdot 10^6 \cdot 1000}{31,5 \cdot 10^6 \cdot 8000} = 0,21 \text{ л/с}$$

Для сравнения приводим данные модулей осушения по другим проектам насосных осушений.

Так, по проекту осушения Араздаянской степи, составленному консультантом Ч. Олбергом, модуль осушения исчислен в размере

$$\frac{72 \cdot 10^6 \cdot 1000}{31,5 \cdot 10^6 \cdot 8500} = 0,27 \text{ л/с на га.}$$

Фактический модуль на участке (Д) реки Соленой в Калифорнии площадью в 4000 га исчисляется в размере (8)

$$\frac{15,58 \cdot 10^6 \cdot 1000}{4000 \cdot 31,5 \cdot 10^6} = 0,12 \text{ л/с.}$$

При этом отмечена слабая работа насосов.

Там же на участке (Е)

$$\frac{69,44 \cdot 10^6 \cdot 1000}{7000 \cdot 31,5 \cdot 10^6} = 0,31 \text{ л/с.}$$

В округе Фресно был принят при 8,5 месячной откачке дренажный модуль в 0,36 л/с, что при пересчете на год даст величину — 0, 25 л/с.

Таким образом, исчисленный нами дренажный модуль 0,21 л/с не находится в противоречии с таковыми данными ирригационной практики.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЧЕК, ЧИСЛО НАСОСОВ

Продолжительность работы насосов необходимо поставить в зависимость от продолжительности вегетационного периода, от почвенных условий, от засоления, от гидрогеологических и климатических условий.

Иностранная практика в этом отношении уже выработала определенный подход к разрешению этого вопроса. Там приняты следующие продолжительности откачек в течение года (8)

1. В долине р. Соленой — 300 дней
2. В Мерседе — 270 »
3. Во Фресно — 225 »

По данным Нельсон-Скорнякова Ф. Б. продолжительность вегетационного периода в долине р. Соленой колеблется от 260 до 340 дней, в среднем можно считать 300 дней.

Таким образом, работа насосов продолжается обычно 9—10 месяцев; во всяком случае работа насосов должна быть начата с началом вегетационного периода или даже раньше, а конец откачки должен соответствовать концу вегетационного периода и продолжаться до окончания поливов.

Для долины р. Соленой считается, что залегание уровня грунтовых вод на глубине 10 футов (3 м) уже является опасным. Это объясняется тем, что здесь почвы отличаются высокой капиллярностью. В соответствии с этим в долине р. Соленой график работы насосов принят такой, чтобы к началу вегетационного периода грунтовые воды, питаемые, в основном поливными водами, были не выше 10 футов.

В Араздаине условия иные: здесь мощный глинистый покровный слой, засоленные, заболоченные участки, поэтому про-

должительные перерывы откачек были бы нецелесообразны; повышение грунтовых вод во время перерывов могло бы вызвать вторичное засоление.

Консультант Заводхоза инженер Олберг для Араздаяна принял схему работы насосов в течение всего года без перерыва.

По нашему мнению, в условиях Араздаяна, действительно, необходима откачка в течение всего года, — зима здесь не суровая, отвод дренажных вод не вызывает эксплуатационных затруднений.

Правда, гидрогеологические условия диктуют иное решение, именно, прекращение откачек осенью и зимою на части площади с глубоким стоянием грунтовых вод и усиление откачек весной, начиная с марта месяца; но такой подход вынуждает к увеличению числа колодцев, что, полагаем, нецелесообразно. Применяя откачку в течение круглого года, тем самым несколько уменьшаем число колодцев.

Выше мы исчислили общее годовое количество откачиваемой воды в размере 52,45 млн. м³. Число электронасосных агрегатов должно быть достаточно не только для откачки всего указанного количества, оно должно быть достаточно и для покрытия месячной интенсивности откачек.

На этом основании исчисленную выше годовую откачку распределяем по месяцам.

Таблица 22

Количество вод, подлежащих откачке на Араздаянской степи площадью

8000 га **брутто** в млн. м³

Месяцы	30 % осадков	Грунт. воды	Оросит. воды	Фильтр. грунтов воды	Испарен. вод 15 %	Всего
1	0,34	0	—	—	0,07	0,27
2	0,43	0,56	—	—	0,11	0,88
3	0,46	6,48	0,14	0,05	0,24	6,89
4	0,54	10,24	0,95	0,36	0,47	11,62
5	0,56	6,24	1,77	0,67	0,74	8,50
6	0,30	4,64	2,54	0,95	1,03	7,40
7	0,15	2,48	3,52	1,32	1,26	6,21
8	0,16	0,64	3,50	1,31	0,99	4,62
9	0,14	—	1,25	0,47	0,64	1,22
10	0,29	—	0,78	0,29	0,34	1,02
11	0,53	—	1,41	0,53	0,18	2,29
12	0,42	—	0,94	0,25	0,18	1,53
Итого	4,32	31,28	16,80	6,30	6,25	52,45

Примечание. Предпоследняя графа «Испарение грунтовых вод» при выводе итогов вычитывается. Условно принято равномерное (150/а) распределение испарения грунтовых вод по месяцам.

В ирригационной практике эксплуатация глубоких колодцев, преследуя цель поддерживать расчетный горизонт грунтовых вод, ведется по схеме, по которой насосы работают не по графику потребной откачки, а по графику, срезающему пики и выравненному на протяжении ряда месяцев или даже всего года.

Работая ровным графиком в течение всего года, необходима бы месячная интенсивность в размере:

$$\frac{52,45}{12} = 4,37 \text{ млн. м}^3.$$

В те месяцы, когда имеет место переоткачка, т. е. когда качается больше потребного графика, должно произойти понижение уровня грунтовых вод против расчетного, при недооткачке же, наоборот, получается повышение уровня грунтовых вод.

Выше было исчислено, что гравитационная порозность Араздаянских почво-грунтов может быть принята в размере 10%, т. е. повышение и понижение уровня грунтовых вод на 1 см даст слой чистой воды в 1 мм или, распространяя на степь площадью в 8000 га,

$$\frac{8000 \cdot 10^4 \cdot 1}{10^3 \cdot 10^6} = 0,08 \text{ млн. м}^3.$$

Поэтому недооткачка каждых 0,08 млн. м³ воды может повлечь за собой повышение уровня грунтовых вод на 1 см, а переоткачка — понижение на ту же величину. При этом считаем, что влажность грунта регулируется не грунтовыми водами, как то имеет место в условиях настоящего времени, а исключительно поливными водами.

Представленная ниже таблица дает картину колебания уровня грунтовых вод в условиях круглогодичной откачки ровным графиком.

Таблица 23

График откачек насосами и среднего понижения уровня грунтовых вод при работе насосов ровным средним графиком в млн. м³ 1-й вариант

Мес.	Потребн. откачка млн. м ³	График откачки	Переоткачка	Недооткачка	Пониж. уровня	Повыш. уровня	Средняя глубина стояния грунтовых вод
1	0,27	4,37	4,10	—	0,50	—	3,74
2	0,88	4,37	3,49	—	0,44	—	4,18
3	6,89	4,37	—	2,52	—	0,30	3,88
4	11,62	4,37	—	7,25	—	0,90	2,98
5	8,50	4,37	—	4,13	—	0,52	2,46
6	7,40	4,37	—	3,03	—	0,38	2,07
7	6,21	4,37	—	1,84	—	0,22	1,85
8	4,62	4,37	—	0,25	—	0,04	1,81
9	1,22	4,37	3,15	—	0,40	—	2,07
10	1,02	4,37	3,35	—	0,42	—	2,62
11	2,29	4,37	2,08	—	0,26	—	2,88
12	1,53	4,37	2,84	—	0,36	—	3,24
Итого	52,45	52,44	19,01	19,02	2,38	2,36	—

В приведенной выше таблице исчисления уровня грунтовых вод начаты с октября с горизонта его в 2,20 м.

Таблица показывает, что в течение вегетационного сезона мы неизменно имеем недооткачку и, в связи с этим, повышение уровня грунтовых вод. Это обстоятельство вынуждает нас в зимний период откачкой настолько понизить уровень вод, чтобы, несмотря на подъем уровня воды в сезон вегетации, все же иметь необходимую нам глубину грунтовых вод. Хотя принципиально и не может быть возражений к такому решению, все же нельзя не признать того невыгодного обстоятельства, что наибольший эффект понижения приходится на зиму, т. е. тогда, когда это понижение не может быть непосредственно использовано, оно является лишь фондом для предстоящего летнего глубокого стояния грунтовых вод.

В стремлении ослабить это обстоятельство т. е. по возможности больше приблизить эффективное понижение к вегетационному сезону, мы представляем два следующих варианта, где потребная годовая откачка неравномерно распределяется по месяцам и где откачки усиливаются в летние месяцы и тем эффективней используется понижение грунтовых вод. Так, во вто-

ром варианте разница между летней и зимней интенсивностью равна 1 млн. м³ в месяц, а в 3-м варианте 1,6 млн. м³ в месяц.

Таблица 24

График откачек насосами и среднего понижения уровня грунтовых вод при неравномерной работе насосов в течение года в млн. м³ 2-й вариант

Мес.	Потребн. откачки в млн. м ³	График откачки	Переоткачка	Недооткачка	Пониж. уровня	Повыш. уровня	Средний гориз. грунтов. вод
1	0,27	4,0	3,73	—	0,47	—	3,56
2	0,88	4,0	3,12	—	0,39	—	3,95
3	6,89	5,0	—	1,89	—	0,23	3,72
4	11,62	5,0	—	6,62	—	0,83	2,89
5	8,50	5,0	—	3,50	—	0,44	2,45
6	7,40	5,0	—	2,40	—	0,30	2,15
7	6,21	5,0	—	1,21	—	0,15	2,00
8	4,62	5,0	0,38	—	0,04	—	2,04
9	1,22	4,0	2,78	—	0,35	—	2,39
10	1,02	4,0	2,98	—	0,37	—	2,57
11	2,29	4,0	1,71	—	0,21	—	2,78
12	1,53	4,0	2,47	—	0,31	—	3,09
Итого	52,45	54,0	17,17	15,62			

Таблица 25

График откачек насосами и среднего понижения уровня грунтовых вод при неравномерной работе насосов в течение года в млн. м³ 3-й вариант

Мес.	Потребн. откачка	График откачки	Переоткачка	Недооткачка	Понижен. уровня м	Повыш. уровня м	Средн. горизонт. грунтов. вод
1	0,27	3,6	3,33	—	0,42	—	3,36
2	0,88	3,6	2,72	—	0,34	—	3,70
3	6,89	5,2	—	1,69	—	0,21	3,49
4	11,62	5,2	—	6,42	—	0,80	2,69
5	8,50	5,2	—	3,30	—	0,41	2,28
6	7,40	5,2	—	2,20	—	0,28	2,00
7	6,21	5,2	—	1,01	—	0,13	1,87
8	4,62	5,2	0,58	—	0,07	—	1,94
9	1,22	3,6	2,38	—	0,30	—	2,24
10	1,02	3,6	2,58	—	0,32	—	2,52
11	2,29	3,6	1,31	—	0,16	—	2,68
12	1,53	3,6	2,07	—	0,26	—	2,94
Итого	52,45	52,80	14,97	14,62	—	—	—

В разделе, где исчислялись дебиты колодцев, было указано, что ходовыми насосами для Араздаяна должны считаться насосы с дебитами в 100 л/с и 50 л/с, хотя здесь могут быть и насосы в 120 л/с и 60 л/с. При равном числе тех и других насосов имеем среднюю расчетную производительность их в 80 л/с.

Поэтому число насосов должно быть
по 1-му варианту

$$\frac{4,37}{2,6 \cdot 0,08} = 21 \text{ насос,}$$

по 2-му варианту

$$\frac{5,0}{2,6 \cdot 0,08} = 24 \text{ насоса,}$$

по 3-му варианту

$$\frac{5,20}{2,6 \cdot 0,08} = 25 \text{ насосов.}$$

Все приведенные выше исчисления были даны в условиях манипулирования средними числами: средним стоянием грунтовых вод, средними дебитами колодцев, средним заглублением уровня воды в колодцах при откачках и т. д.

При индивидуальном подходе, когда одни участки окажутся с глубоким залеганием грунтовых вод, а другие с высоким, не исключена возможность, что придется производить откачку дополнительную на втором участке, хотя в «среднем» эти два участка показывали и благоприятную картину. Подобное обстоятельство необходимо всегда иметь в виду при применении «средних» значений, какой бы области это ни касалось. Поэтому и в данном случае, когда по 2-му варианту при максимальной интенсивности откачек в 5 млн. м³ требуется откачка в среднем 2 м³/с, не исключена возможность, что в реальных условиях потребуются откачивать не 2,0 м³/с, а несколько больше.

Резерв нужен и по той причине, что при понижении уровня грунтовых вод, может иметь место напор с нижних горизон-

тов, что повысит количество необходимой откачки. Он нужен также в связи с усилением орошения в соседнем Арташатском районе.

Экспертно мы полагаем, что строительству надо иметь на этом основании по крайней мере около 20% резервных колодцев, каковое число не охватывает резерва оперативного, необходимого для ремонта или смены пришедших в негодность агрегатов.

Как показало проектирование насосного осушения Севджурской степи, расположение насосных колодцев по степи не всегда благоприятствует стопроцентному использованию их вод на орошение в течение вегетационного периода.

Лишь тогда, когда колодцы располагаются близ крупной сети, возможно полное использование откачиваемых вод.

В проекте Севджурской степи использование откачиваемых вод по условиям слабого командования было не более 25%.

С другой стороны, в условиях небольших расходов будущего Аракса, разбираемого на орошение, в условиях затруднительности загона речной воды в канал, весьма целесообразно иметь несколько дополнительных колодцев, запущенных в напорные подозерные горизонты, для добычи оросительной воды, что нередко применяется и в иностранной практике.

Так, в долине р. Соленой откачиваемая вода широко используется для орошения.

Нет сомнения, закладка насосных колодцев для получения оросительной воды придаст одновременно значительную маневренность и в деле осушения.

О ПРОЕКТИРОВАНИИ НАСОСНОГО ОСУШЕНИЯ

Для осуществления дренажа насосными колодцами необходимы специальные изыскания и исследования, необходимо предельно правильное представление о геологических условиях глубин до подстилающих озерных или морских отложений, а в случае их глубокого залегания до глубин 50—100 метров.

Эти изыскания должны выявить, нет ли значительного простиранья глинистых отложений, дающих пространственную изоляцию нижних слоев от верхних, водами которых заболачивается степь. Очевидно, что при наличии подобных отложений бесполезно откачивать грунтовую воду из нижнего подстилающего слоя. Если же изолирующие слои и не подстилают всей площади степи, но все же имеют значительное простиранье, то откачка из-под них может дать низкий эффект.

Закладка разведочных буровых скважин должна раскрыть правильную картину распределения грунтов, их мехсостав, определяющий водоотдачу. С этой точки зрения особо должны быть изучены сцементированные грунты. Последние могут существенно снизить предполагаемую производительность колодца.

Неменьшее внимание должно быть уделено глинистым грунтам. В пределах Араздаанской степи имеют большое развитие делювиальные глины, которые отложились на слегка покатых склонах долины. В пределах Севджурской степи получили большое развитие аллювиальные глинистые отложения от разливов реки Аракс, что обеспечивало осаждение глинистых наносов в водных условиях. В первом случае получают водопроницаемые глины, во втором — водонепроницаемые.

Гидрогеологические изыскания должны включать: наблюдения за уровнем грунтовых вод, составление гидроизогипс степи и, самое главное, опытные откачки из скважин, чтобы иметь ре-

альные показатели для степи. Число и распределение по степи разведочных скважин должны обеспечить нам правильные параметры водоотдачи. Увязав полученные дебиты с мехсоставом грунтов, можно путем обработки, указанной в настоящей работе, определить с достаточной точностью кривую зависимости дебитов от мехсостава грунтов. Эта кривая может служить ключом для определения дебитов тех скважин, которые не подверглись откачкам. В результате получаем возможность построить изодебиты степи.

Надо обратить внимание на то, что изодебиты должны быть закономерными и в согласии с естественно историческими условиями, при которых складывалась долина в прошлом.

Отметим, что изодебиты, представленные в работе, вполне удовлетворительно раскрывают историческое нарастание Севджурской долины на базе отложений 3-х рек, а Араздайнской — на отложениях одной реки.

Такой анализ может служить контрольным мерилom правильности изодебитов. Другой контрольной проверкой, как показано в работе, может служить сопоставление изодебитов и гидроизогипс с пятнами засоления.

Имея проверенную карту изодебитов степи, можно дать правильное распределение колодцев по степи и определить число и производительность насосов в полном соответствии с их местными геологическими и гидрогеологическими условиями, а также с учетом экономических соображений.

Для проектировщика вторым важным вопросом является вопрос о необходимом размере откачки для обеспечения требуемой нормы осушения.

Норма осушения должна быть принята в соответствии с теми культурами, которые должны быть выращены на осушаемом поле. В работе дается методика определения потребной откачки по заданной норме осушения.

Для выполнения этой второй части проекта необходимы некоторые изыскания и исследования, как-то: определение почвенного испарения в нескольких характерных пунктах степи, влажности почвы, порозности грунтов покровного слоя и пр.

Наконец, третьим обстоятельством, на котором должен сосредоточить свое внимание проектировщик — это график ин-

тенсивности откачки воды из колодцев, продолжительности откачек, даты начала и конца последних.

В работе нашей даны некоторые соображения и по этому вопросу. Нет сомнения, что график откачек легко может быть скорректирован в последующем при эксплуатации.

Представляется, что методика проектирования осушения, изложенная в нашей работе, может служить для проектировщика лишь общим подходом в вопросе осушения насосными колодцами.

При этом необходимо помнить, что одно лишь насосное осушение не может явиться исчерпывающим мероприятием при осушении заболоченных и засоленных земель, необходим комплекс агротехнических мероприятий. Только совместное применение насосного осушения и агротехнического комплекса может обеспечить успех освоения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов Л. Г. — Почвенные, гидрогеологические и геоботанические исследования Араздаанской степи 1915 г.
 2. Лебедев А. Ф. — Почвенные и грунтовые воды. 1932 г.
 3. Макридин Н. В. — Пояснительная записка к проекту дренажа насосными колодцами в Араздаанской степи. 1930 г. (Рукопись).
 4. Оганезов Г. Г. — Осушение насосными колодцами Северной степи 1956 г.
 5. Нерсисян А. Г. — Краткий климатический очерк района Карасу-Зангибасара. 1930 г. (Рукопись).
 6. Олберг Ч. — Осушение и орошение Араздаанской степи. 1931 г. (Рукопись).
 7. Осипов Г. А. и Захарян П. К. — Пояснительная записка к водохозяйственным расчетам по орошению Араздаанской степи 1945 г.
 8. Знаменский И. И. — Иностранная практика по дренажу в орошаемых районах.
 9. Болгарский В. А. — Орошение Араздаанской степи. Техническая беседа — 1875 г. 16/V. Архив МВХ Арм. ССР—50/264.
 10. Закводхоз.—Совещание водно-технического Совета по рассмотрению проекта орошения Араздаанской степи. Архив МВХ Арм. ССР 50/264.
 11. Угинчус А. А. — Общая пояснительная записка к проекту орошения Араздаанской степи—1930 г. (Рукопись).
 12. Walter W. Weir Lahd drainage in California. Agricultural Engineering VII—1954.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Геологическая и гидрогеологическая характеристика Араздаянской степи	8
Дебиты и диаметры колодцев	18
Колебания уровня грунтовых вод	38
Изменение влажности почвы при откачках	45
Испарение с почвы	49
Современный вертикальный водный баланс	56
Количество вод, подлежащих откачке	59
Продолжительность и интенсивность откачек, число насосов	69
О проектировании насосного осушения	76

Гурген Гаврилович Оганезов

Подземные воды Араратской котловины,
т. IV

Насосное осушение Араздаянской степи.

Редактор А. Азатян
Техн. редактор В. Давтян
Контр. корректоры Э. Мартиросян,
А. Манвелян

ВФ 01928

Заказ 995

Тираж 500

Сдано в производство 18/XII 1956 г.

Подписано к печати 16/III 1957 г.

Бумага 60x92¹/₁₆. Объем 5 п. л., авт. 3,35 листа.

Вторая типография Главиздата Министерства культуры Арм. ССР.
Ереван, ул. Кнунянца, № 8.

О П Е Ч А Т К И

Стр.	Стро- ка	Напечатано	Должно быт
36	4 снизу	$1,0 \cdot 10 \cdot 5 = 50 \text{ л/с.}$ а на изодебите 1,0 л/с получим	а на изодебите 1,0 л/с получим $1,0 \cdot 10 \cdot 5 = 50 \text{ л/с.}$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Геологическая и гидрогеологическая характеристика Араздаанской степи	8
Дебиты и диаметры колодцев	18
Колебания уровня грунтовых вод	38
Изменение влажности почвы при откачках	45
Испарение с почвы	49
Современный вертикальный водный баланс	56
Количество вод, подлежащих откачке	59
Продолжительность и интенсивность откачек, число насосов	69
О проектировании насосного осушения	76

Гурген Гаврилович Оганезов
Подземные воды Араратской котловины,
т. IV
Насосное осушение Араздаанской степи.

Редактор А. Азатян
Техн. редактор В. Давтян
Контр. корректуры Э. Мартиросян,
А. Манвелян

ВФ 01928

Заказ 995

Тираж 500

Сдано в производство 18/XII 1956 г.
Подписано к печати 16/III 1957 г.
Бумага 60x92¹/₁₆. Объем 5 п. л., авт. 3,35 листа.

Вторая типография Главиздата Министерства культуры Арм. ССР.
Ереван, ул. Кнунянца, № 8.