

Проф. О. К. ЛАНГЕ

КРАТКИЙ КУРС ОБЩЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ ДОПОЛНЕННОЕ



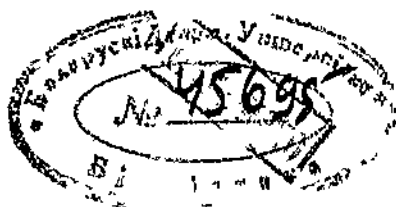
ОНТИ НКТП СССР 1933

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ЛЕНИНГРАД НОВОСИБИРСК

551
122

Депозитарий

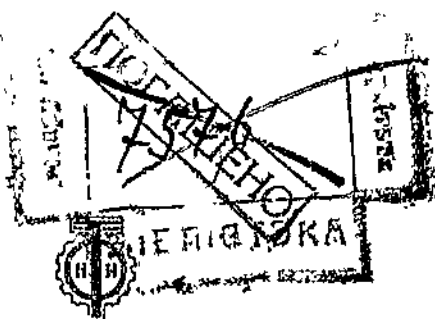
Проф. О. К. ЛАНГЕ



КРАТКИЙ КУРС ОБЩЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

С 59 РИСУНКАМИ И 5 КАРТАМИ В ТЕКСТЕ
ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ ДОПОЛНЕННОЕ

Допущена Комитетом по высшей школе при ЦИК СССР как учебник для вузов



ОНТИ НКТП СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ГОРНО-
ГЕОЛОГО-НЕФТЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

КВА

ЛЕНИНГРАД

· НОВОСИБИРСК

ПРОВЕРЕНО 3

1955

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

Р 55-5(4)-2 (Прог. ТКК 79).

Ответств. редактор И. И. Никитич

Техред Г. В. Гельмс

Сдано в производство 22/II 1933 г.

Подписано к печати 8/VIII 1933 г.

Колич. букв в п. л. 46.000.

Объем 14 л.-1 вкл.

Ст. формат 62×94.

Уполномоченный Главлита № В—80.517.

Тираж 5000.

Изд. № 91.

Заказ № 270.

Типография Профинздата, Москва, Крутицкий вал, 18.

Предисловие к первому изданию

Настоящий краткий курс гидрогеологии составился из лекций и практикума, которые я вел в течение ряда лет в Московском и Среднеазиатском государственных университетах, и представляет переработанный и расширенный «Конспект лекций по гидрогеологии», напечатанный МГРУК весной 1931 г. на стеклографе.

Для некоторых глав я воспользовался рукописными материалами Г. И. Архангельского, Г. Н. Каменского, М. М. Решеткина и Н. М. Победоносцева, любезно предоставленными мне авторами, за что я им очень благодарен. Н. М. Победоносцев просмотрел также материал, касающийся движения подземных вод.

Просмотр рукописи «Курса» в целом провела Н. В. Подоба, замечания которой частью редакционного характера, а частью по существу излагаемого мною с благодарностью приняты.

Москва, 1931 г.

О. К. Ланге.

Предисловие ко второму изданию

Второе издание «Краткого курса гидрогеологии», предназначенного для техникумов и вузов, в которых гидрогеология не является специальным предметом, сохраняет свою краткость и конспективность.

Используя указания некоторых товарищей, автор пополнил количество иллюстраций, которых в первом издании было всего 30, и частично дополнил некоторые главы, особенно увеличив главы, касающиеся гидрометеорологии и гидрохимии.

Летом текущего года вышли из печати переводы книг: Г. Принца «Гидрогеология» (Сельколхозгиз, 1932) и проф. В. К. Кене — «Учение о грунтовых водах» (Госстройиздат, 1932). Первая из них будет весьма полезным дополнением к настоящему курсу для гидрогеологов, работающих в области водоснабжения, а вторая — для работающих в области мелиорации и ирригации. (Особенно ценна работа В. К. Кене своими методическими указаниями в области работ по изучению режима подземных вод).

Декабрь, 1932 г.

О. К. Ланге.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие к первому изданию	3
Предисловие ко второму изданию	3
Введение	5
I Важнейшие для гидрогеологии данные гидрометеорологии	12
II Гидрохимические данные	28
III Минеральные воды	46
IV. Виды подземной воды в природе	52
V Гидрогеологические свойства горных пород	55
VI Способы определения пористости грунтов	63
VII Передвижение жидких подземных вод	70
VIII Происхождение подземных вод	79
IX Классификация подземных вод	90
X Почвенные воды	103
XI Грунтовые воды	109
XII Условия залегания грунтовых вод в природе	124
XIII Межпластовые воды	131
XIV Некоторые формулы для расчета расхода колодцев	143
XV Жильные воды	151
XVI Родники или источники	155
XVII Оползни и пьезуны	158
XVIII Поиски подземных вод	162
XIX Полевое определение скорости грунтовой воды индикато- рами	177
XX Определение расхода колодца путем откачки	191
XXI Примерные задания общих (обзорных) гидрогеологических исследований в масштабе 4 и 2 км в 1 см	197
XXII Примерные задания детальных гидрогеологических иссле- дований масштаба 800 м в 1 см	200
XXIII Примерные задания для гидрогеологических исследований при рекогносцировочных эксплуатационных исследо- ваниях ирригационных систем	204
XXIV Примерные задания для буровых работ при гидрогеологиче- ских исследованиях	206
XXV Примерные задания для гидрогеологических и геологиче- ских исследований грунтов под застройку сооружений	214
Контрольные вопросы	220
Краткий перечень дополнительных пособий	224

Введение

Подземные воды играют огромную роль в жизни людей. Особенное значение подземные воды приобретают в тех районах, где поверхностных вод очень мало или совсем нет. В этих случаях единственно подземные воды дают возможность существования людям, животным и культурным растениям.

Однако добыча подземной воды сопряжена иногда с большими затруднениями, так как для нее приходится сооружать колодцы, глубина которых достигает 1 000 и более метров. Понятно, что такие сооружения обходятся очень дорого и окупаются только в том случае, если при их помощи можно добыть столь большие запасы воды, которые в дальнейшем могут оправдать стоимость сооружения.

Сооружать глубокие колодцы люди научились давно. Есть сведения, что уже древние египтяне рыли очень глубокие колодцы. Естественно, что прежде чем предпринимать подобное сооружение и решать на большие затраты, необходимо было знать о том, что предприятие закончится успехом. Поэтому с давних времен существовали так называемые водоискатели, на обязанности которых лежало определять места, в которых вода может быть получена.

В те же древние времена люди научились различать подземные воды по их качеству и применять их в соответствии с этими качествами, для лечения и других целей.

В этом отношении чрезвычайно любопытный материал дали археологические исследования второй половины XIX в., открывшие несколько курортов, устроенных в очень отдаленные времена. Так например на Адриатическом побережье в Эпидаврии был реставрирован древний железистый источник, который заилился и давал слишком мало воды. При расчистке этого источника под слоем ила был обнаружен большой сруб из толстых бревен, внутри которого был вставлен ящик из толстых досок. Промежутки между срубом и стенками ящика были забиты глиной, а внутри ящика оказались две большие колоды — одна 115 см и другая 87 см в диаметре. В иле на глубине нескольких метров в этих колодах были открыты изделия бронзового века — украшения и оружие.

Другой древний курорт был открыт в Греции в предгорьях Эпидавра. Равнина, примыкающая теперь к этим предгорьям,

представляет безжизненную пустыню с развалинами небольшого древнего города. Когда археологи обратили внимание на эти развалины, то оказалось, что они принадлежали сооружениям, бывшим в свое время повидимому очень изящными. Среди них были обнаружены развалины роскошного храма, большого амфитеатра, жилых зданий, прекрасных статуй и одно очень своеобразное сооружение, назначение которого определить сразу было трудно. При дальнейшем изучении оказалось, что это остатки колодца с минеральной водой. Впоследствии выяснилось, что этот городок был курортом, основанным в V в. до нашей эры знаменитым Асклепием (Эскулапом), отцом современной медицины. Повидимому это была водолечебница, существовавшая довольно долго и пользовавшаяся успехом, на что указывает роскошь отделки всех зданий и особенно храма в честь обожествленного Асклепия.

Несомненно также, что изделия из бронзы, найденные на дне Энгединского колодца, представляют дары исцелившихся больных, которые по обычаю того времени в благодарность за свое исцеление приносили в дар богам ценные украшения, а воины — оружие.

Но не только добыча воды для водоснабжения или для лечебных целей заставляет людей искать подземную воду. Правда, водоснабжение городов с миллионным населением требует и большого количества воды. (Так например Москва расходует ежедневно несколько десятков миллионов ведер воды, причем значительная часть этой воды добывается из недр земли частью в пределах самого города, а частью в его окрестностях — близ Мытищ, откуда вода подается в город водопроводом). Но гораздо большее количество воды расходуется на орошение в пустынных и полупустынных областях, и конечно в этих областях получение большого количества воды имеет преимущественное значение, так как поверхностные воды здесь либо не пригодны для использования вследствие своей высокой минерализации, либо совершенно отсутствуют. Вопросы развития сельского хозяйства в этих областях в первую очередь сталкиваются с вопросом об изыскании и использовании подземных вод. Благодаря использованию подземных вод в пустынных областях целые районы превращены в плодородные оазисы.

Однако значение гидрогеолога не заканчивается с разрешением вопроса о доставке воды. Вопрос целесообразного использования воды для орошения представляет также один из весьма сложных и ответственных гидрогеологических вопросов.

Избыточное увлажнение почвы, ведущее иногда к образованию на незначительной глубине водоносного горизонта, или вызывающее поднятие уровня воды в водоносном горизонте (существующем в этой местности, но залегающем слишком глубоко и недоступном для корневых частей растений), является причиной энергичного перемещения солей на поверхность почвы и вызы-

вает ее осолонение. Примером такого непредвиденного последствия неизученности гидрогеологических условий является Голодная степь, которая после орошения в целом ряде мест из прежде безводной, но весьма плодородной области превратилась в засоленную пустыню.

В области избыточного естественного увлажнения поверхностные слои земли бывают настолько напитаны водой, что превращаются в заболоченные пространства; поэтому осушение почвы, удаление избыточных вод также являются задачей, поставленной сельским хозяйством перед гидрогеологией.

По мере развития техники подземные воды получают значение и в целом ряде других отраслей человеческой деятельности.

Так например при сооружении крупных зданий на зыбком или неустойчивом основании приходится учитывать значение подземных вод в грунте и предпринимать те или другие мероприятия, для того чтобы укрепить грунт.

При проведении шоссейных или железных дорог в местностях, где подземные воды растворяют грунт и вызывают осадки и провалы, или там, где существует слой вечной мерзлоты, которая при возведении сооружения оттаивает, также необходимо знакомство с подземными водами, чтобы уберечь сооружения от разрушения.

В горном деле при поисках руд или других полезных ископаемых и при проведении тоннелей также часто приходится вести борьбу с подземными водами. Подземные воды чрезвычайно затрудняют работы и иногда требуется много усилий, для того чтобы ликвидировать их разрушительную деятельность.

Оползания крсогоров и склонов больших речных долин опять-таки связаны с работой подземных вод. В некоторых случаях оползни захватывают пространство в сотни гектаров, причем на этих оползающих пространствах разрушаются все здания, сады и пр. Примером таких оползающих берегов могут служить берега Волги между Нижним-Новгородом и Саратовом, Крымское взморье, Черноморское побережье у Одессы. Убытки, причиняемые оползнями, достигают ежегодно значительных сумм, выражающихся иногда в сотнях тысяч рублей.

Опыт последней мировой войны показал, что и в военном деле подземные воды играют очень большую роль. Целесообразное сооружение окопов, выбор места для артиллерийских батарей, устройство благополучных в санитарном отношении лагерей, водоснабжение передовых позиций и тыла и их санитарное благоустройство теснейшим образом связаны с подземными водами.

Таким образом область практического применения знаний в области подземных вод чрезвычайно обширна, и нет почти такого ведомства, начиная от НКТП и кончая Наркомздравом, которое не имело бы в своем составе специальных организаций, занимающихся изучением и использованием подземных вод.

Мало того. Подземные воды имеют значение не только для человека, но и для жизни самой природы. Не только культурные

растения, насажденные человеком, но вообще всякая растительность нуждается в подземной воде, которую она могла бы использовать своими корневыми системами. Подземная вода также весьма активна в отношении минеральных масс земной коры.

Можно было бы рассматривать подземную воду как любое полезное ископаемое — руду, уголь, — однако у нее есть и большее отличие от других полезных ископаемых. Вода представляет минеральную массу высокой подвижности и циркулирует в земной коре. Кроме того она является почти универсальным и часто очень энергичным растворителем. Растворяя минеральные массы земной коры в одном месте, вода, передвигаясь, уносит их в другие области земной коры, где при благоприятных условиях может их отложить. Таким образом происходит перемещение, а в некоторых случаях и концентрация твердых минеральных масс.

Насыщенная газами и солями подземная вода действует как химический реактив на минеральные массы земной коры, обуславливая процессы выветривания, метасоматоза, гидатометаморфизма. Наконец насыщенные водой грунты часто резко меняют свои физические свойства (пески-плывуны).

Учение о подземных водах в настоящее время рассматривают как особую науку, называемую гидрогеологией. По своему содержанию гидрогеология является наукой промежуточной между геологией — наукой о земной коре, и гидрологией — наукой о водной оболочке земли, гидросфере. Гидрогеология есть наука о земле и о воде в их взаимоотношениях.

Основные вопросы, которыми занимается гидрогеология, следующие:

1. Прежде всего перед гидрогеологией встает вопрос о происхождении подземных вод. Воды, передвигающиеся в земной коре и изливающиеся из недр на поверхность земли в виде родников или источников, должны иметь области питания. Вопрос об источниках питания подземных вод и о равновесии (балансе) между питанием (приходом) и расходом подземных вод представляет вопрос, имеющий весьма большой теоретический интерес и весьма большое практическое значение. Ведь в конечном итоге, не зная баланса подземных вод в природе, невозможно строить расчеты о количественном расходе подземных вод для практических целей.

По способу происхождения подземные воды обычно делят на две группы: на грушпву в а д о з н ы х — подземных вод и на грушплу ю в е н и л ь н ы х — подземных вод.

Под в а д о з н ы м и водами подразумеваются такие воды, которые участвуют в обычном круговороте воды в природе. Эти воды, испаряясь с земной поверхности и с поверхности океанов и других водоемов, стучаются в облака и выпадают на поверхность земли в виде осадков. Осадки отчасти стекают по неров-

ностям земной поверхности в водные бассейны, отчасти непосредственно испаряются с поверхности земли в атмосферу и наконец отчасти проникают в недра земли и становятся подземными водами. Подземные воды либо испаряются в атмосферу, либо подземным путем стекают в водоемы, чтобы снова принять участие в круговороте вод.

Под ювенильными водами подразумевают такие воды, которые образуются из паров, а может быть даже из диссоциированных атомов Н и О на больших глубинах. Начало этим водам дают либо газовые магматические выделения, либо те воды, которые в качестве кристаллизационной или конституционной воды входят в состав так называемых гидратных (фреатических) минералов. Примером такого рода минералов может служить обыкновенный гипс, в состав молекул которого входят две частицы воды. Когда такие вещества попадают в большие глубины, где имеется очень высокая температура и высокие давления (зона анаморфизма), то происходит обезвоживание (дегидрация) этих минеральных масс. Выделенная вода в виде паров поднимается в более высокие и холодные сферы земной коры, где и сгущается в капельно-жидкую подземную воду.

Надо однако заметить, что в чистом виде на земную поверхность ювенильная вода выступает крайне редко. Чаще всего приходится иметь дело с водами смешанными, в которых мы имеем и вадозную и ювенильную воду одновременно. Ювенильная вода обычно отличается высокой газированностью и минерализацией.

2. Вторым вопросом, которым занимается гидрогеология, является вопрос о тех закономерностях, которым подчиняется вода в своих подземных передвижениях. В этом отношении пути подземных вод настолько сложны и неоднородны, что до сих пор не удалось еще установить безукоризненных формул, которыми можно было бы учитывать законы движения подземных вод. В общем различают два основных вида движения подземных вод: движение струйчатое, при котором наблюдается как бы параллельное передвижение отдельных частиц воды на ее пути, и движение вихревое (турбулентное); подобное тому, которое наблюдается в обычных речных потоках. Первое из этих движений — струйчатое — отличается своей медлительностью, причем скорость движения нарастает пропорционально увеличению уклона пути, по которому движется вода; при вихревом движении скорость нарастает не пропорционально уклону пути, а пропорционально квадратному корню из этого уклона. Таким образом как бы намечаются две закономерности, из которых первая получила название закономерности Дарси, а вторая — закономерности Шези (по именам исследователей, установивших эти закономерности).

3. Наконец третьим вопросом, которым занимается гидрогеология, является вопрос о режиме подземных вод. На-

блюдая воду в каком-нибудь одном месте, например в колодце, можно заметить, что с течением времени изменяется количество воды в колодце, т. е. уровень воды в колодце то поднимается, то падает, изменяется температура воды, изменяется вкус воды. Другими словами, мы имеем дело с какой-то массой переменной и в количественном и в качественном отношении. Установление этих изменений, с одной стороны, и выяснение причин, обуславливающих эти изменения — с другой, и являются элементами учения о режиме подземных вод. Если подходить к изучению подземных вод с практической точки зрения, знание режима подземных вод весьма существенно, потому что без этого знания можно легко впасть в большую ошибку при подсчетах тех количеств, которые можно получить при использовании подземных вод. Так например, если копаются колодезь в таком сезоне, когда уровень подземной воды стоит высоко и неизвестно, до какой глубины этот уровень упадет в дальнейшем, то можно соорудить колодезь, который будет удовлетворять потребности в данный момент, но через некоторое время он пересохнет, и сооружение окажется бесполезным.

Наоборот, производя разведку под основание для какого-нибудь крупного сооружения (например для доменной печи и т. д.) в момент низкого стояния грунтовых вод, мы можем дать для строителей благоприятное заключение. Однако при подъеме уровня грунтовых вод обстоятельства могут оказаться весьма неблагоприятными для сооружения.

Тесная связь между практическими запросами и теоретическим изучением подземных вод сказывается в истории гидрогеологии в гораздо большей степени, чем в какой-бы то ни было другой науке. По существу вся современная гидрогеология, развившаяся только за последние 70—80 лет, представляет случай постоянной и глубокой связи практических запросов с теоретическим обобщением получаемых при практических опытах данных.

Таким образом область применения гидрогеологии чрезвычайно обширна, и необходимость учета гидрогеологических условий является весьма существенным обстоятельством в целом ряде народнохозяйственных предприятий.

В связи с изложенным план нашего курса должен будет состоять из следующих частей:

1. Основные данные гидрометеорологии как один из важнейших источников питания подземной водоносной воды.
2. Физические и химические свойства жидкой воды как минеральной массы, активно действующей в земной коре и являющейся объектом практического использования.
3. Гидрогеологические свойства горных пород.

4. Учение о происхождении и движении подземных вод и их классификация.

5. Режим и баланс подземных вод.

6. Организация гидрогеологических исследований в связи с народнохозяйственными и научно-исследовательскими задачами.

ГЛАВА I

Важнейшие для гидрогеологии данные гидрометеорологии

Как указано было выше, в питании вадозных вод играет большую роль атмосферная влага. Еще недавно, до 1902 г., когда Эдуард Зюсс впервые указал на возможность ювенильного происхождения подземных вод, считали, что подземные воды образуются исключительно за счет атмосферной влаги.

Однако и в отношении способа образования подземных вод из атмосферной влаги существовали сильные разногласия. Одни утверждали, что подземные воды образуются исключительно за счет тех атмосферных осадков, которые попадают на поверхность земли в виде снега, града и дождя. Снег и град тают и, превратившись в жидкую воду, подобно воде дождевой просачиваются в недра земли. Это воззрение на происхождение подземной воды за счет атмосферных осадков получило название инфильтрационной теории, которая является одной из самых старых теорий о происхождении подземных вод.

Другие отрицали возможность происхождения подземных вод за счет атмосферных осадков и указывали на иной способ их происхождения, а именно на возможность сгущения (конденсации) капельно-жидкой воды из паров, которые содержатся в воздухе, проникающем при движении атмосферы во все пустоты земной коры. Это воззрение получило название конденционной теории.

В настоящее время принимаются с некоторыми поправками обе эти теории, как указывающие возможные источники происхождения подземных вод. И в том и в другом случае имеет значение та влага, которая находится в атмосфере, потому что именно атмосферная влага, сгущаясь, дает атмосферные осадки.

Каков же режим этой атмосферной влаги?

Количество парообразной влаги в воздухе не всегда одинаково. Влажная поверхность земли и поверхность водоемов испаряют воды, которые напитывают воздух. Ход испарений не всегда однороден. В одних случаях испарение совершается очень интенсивно, в других случаях оно совершенно незаметно. Метеорологи установили некоторые закономерности, которые наблю-

даются в режиме парообразной влаги воздуха. Оказывается количество парообразной влаги, которое максимально может находиться в единице объема воздуха (1 м^3), зависит от температуры воздуха. Если температура воздуха, насыщенного влагой, падает, то при этом мы имеем некоторый избыток влаги, который является в виде росы. В табл. 1 приведены максимальные количе-

Таблица 1

Температура воздуха	-10	-5	0	5	10	15	20	25	35
Максимальное давление пара в мм	2,0	3,1	4,8	6,6	9,1	12,7	17,4	23	42,2
Максимальный вес пара в г	2,3	3,4	4,9	6,8	9,3	12,7	17,1	22,8	40,3

ства влаги, которые могут содержаться в 1 м^3 воздуха в зависимости от его температуры. (Количество парообразной влаги, находящейся в воздухе, должно измеряться либо в граммах на 1 м^3 воздуха, либо в миллиметрах давления.)

Следует однако заметить, что в высоких слоях (около 10 км и выше) воздух атмосферы не содержит совершенно влаги. Приведенные цифры относятся к тем слоям атмосферы, которые близки к поверхности земли. При превышении при данных температурах указанного количества паров в воздухе наступает конденсация избыточного пара в жидкую воду. Так как температура воздуха атмосферы и воздуха, заполняющего подземные пустоты, шоры и т. д., неодинакова и так как атмосферный воздух и воздух почвы находятся в состоянии постоянного обмена, то в некоторых случаях может происходить в почве конденсация капельно-жидкой воды из паров воздуха (появление подземной росы), в других же случаях почвенная парообразная влага может увлекаться воздушными токами в атмосферу. Например воздух атмосферы, содержащий при 25°C 22,8 г паров воды, проникши в почву и охладившись до 5°C , выделит 16 г капельно-жидкой воды и столько же поглотит при нагревании от 5 до 25° .

Установить фактически имеющее в природе место испарение с водной поверхности и с поверхности почвы трудно. Существующие для этого приборы дают не то, что хотелось бы иметь. Так раопространенный испаритель, или эвапорометр Вильда, дает указания на то, сколько воды могло бы испариться при данных условиях опыта, но перенести эти указания на явления, совершающиеся в природе, трудно. Этот испаритель представляет наполненную водой чашку, покоящуюся на коротком плече неравноплечих весов, на другом плече которых лежит уравнивающий груз; по мере испарения воды чашка подни-

мается, и стрелка, приделанная к другому плечу, показывает в миллиметрах на шкале количество испарившейся воды (рис. 1).

Испарение с водной поверхности изучают прибором Лермантова-Любославского (рис. 2). Этот прибор представляет два соединенных трубкой С металлических сосуда А и В. Налив в нижний сосуд воды до верхнего края соединительной трубки, последнюю закрывают пробкой и через боковую трубочку D

нагнетают в нижний сосуд воздух, вследствие чего часть воды переливается в верхний открытый сосуд и оттуда испаряется. Через некоторое время (например через 24 часа) пробку открывают, и вода вливается обратно в нижний сосуд, но теперь уже не наполняет его до верхнего края соединительной трубки: приходится из мензурки долить столько воды, сколько ее испарилось; деля это количество на испаряющую

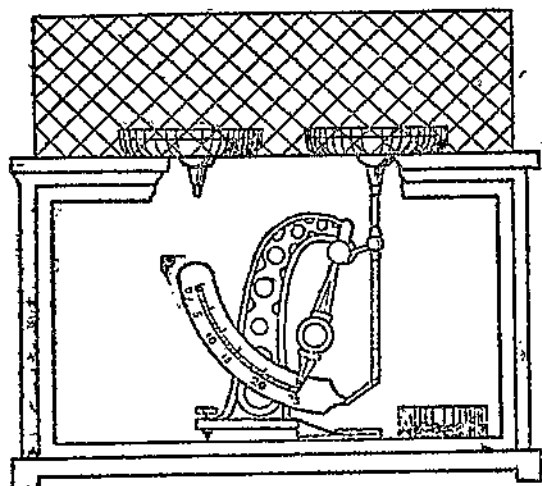


Рис. 1. Эвапорометр Вильда.

площадь сосуда, получают в миллиметрах толщину испарившегося слоя воды за истекшее время.

Испарение с поверхности почвы изучают испарителем Рыкачева. В этом приборе два цинковых ящика плотно входят друг в друга. Внешний ящик закапывается в землю, внутренний

Таблица 2

П у н к т ы н а б л ю д е н и й	Испарение	Осадки
	в мм	в мм
Ленинград (с III по X)	247	295
Москва	289	318
Киев	380	302
Самара	679	273
Малый Узень	777	130
Ростов-на-Дону	773	205
Нукус (за год)	1718	101
Туркестан (с III по X)	2035	112
Султанбент	2800	95

ящик, заполненный монолитом почвы с покрывающей его растительностью, вставляется после предварительного взвешивания в первый. Взвешивая время от времени внутренний ящик, устанавливают количество испарившейся воды.

Табл. 2 дает представление о соотношениях между испарением и осадками в различных климатических условиях.

Нормально в воздухе не бывает предельного количества пароводяной влаги. Недостающее до предела количество влаги называют недостатком насыщения, или же говорят об относительной влажности воздуха, под которой подразумевают процентное отношение наличного количества влаги к предельному при данной температуре.

Если при температуре, равной 15°C , наблюдается фактическая влажность $8,2\text{ г}$ в 1 м^3 вместо $12,7\text{ г}$ предельных, то $12,7 - 8,2 = 4,5$ будет недостаток насыщения, а относительная влажность будет $65,5\%$. Чем больше недостаток насыщения или чем меньше относительная влажность, тем сильнее испаряется вода. При недостатке насыщения, равном нулю, или относительной влажности 100% испарения воды не наблюдается.

Влажность воздуха изучается при помощи гигрометров или психрометров.

Основная часть гигрометра есть волос (обыкновенно человеческий волос, вполне обезжиренный), одним концом прикрепленный к раме, а другим концом к блоку со стрелкой (гигрометр Соссюра); деления на шкале дают цифру относительной влажности.

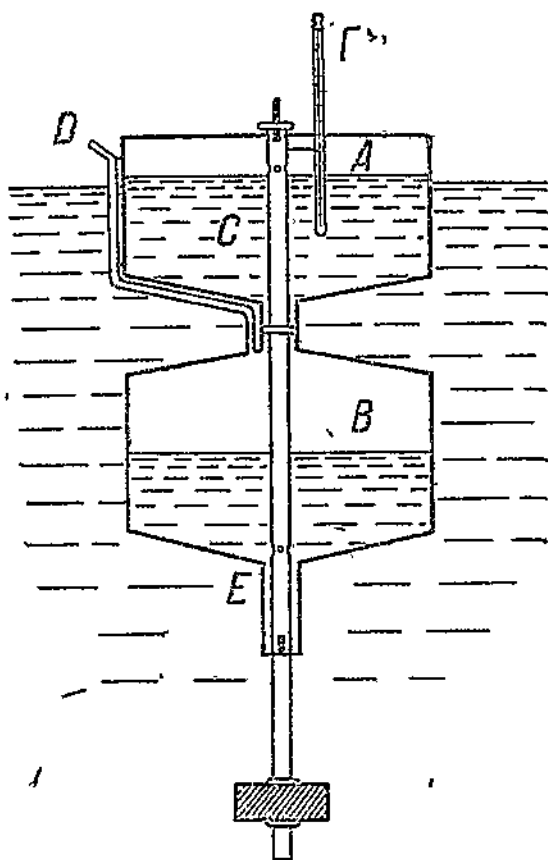


Рис. 2. Испаритель Лермантова-Любославского.

сти воздуха. В связи с своеобразностью сокращений волоса деления на шкале нанесены неравномерно. Этот прибор не особенно точен (рис. 3).

Психрометр представляет комбинацию двух термометров, у одного из которых шарик со ртутью сухой, а у другого покрыт батистовой смоченной в воде тряпочкой; конец тряпочки опущен

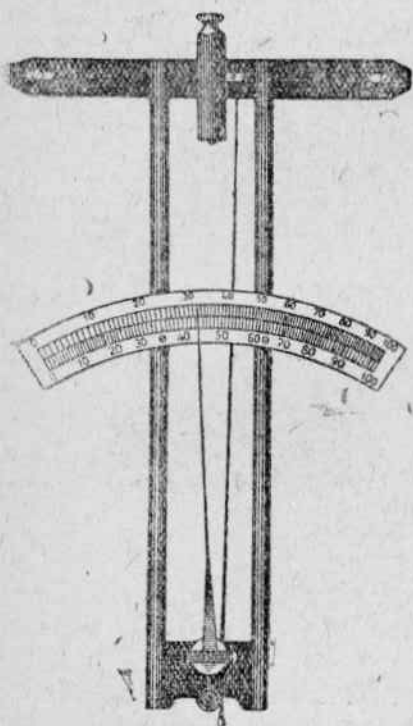


Рис. 3. Гигрометр Соссюра.

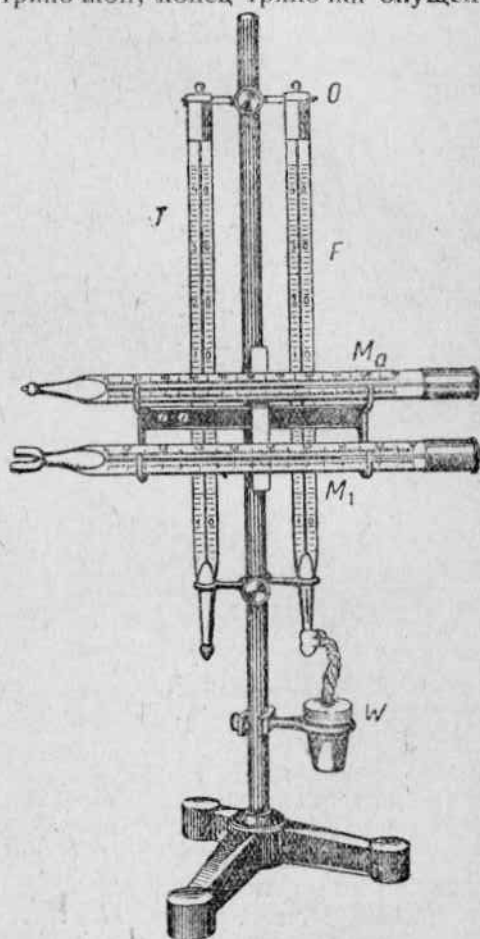


Рис. 4. Психрометр Августа. Вертикально поставлены сухой и смоченный термометры. Горизонтально-максимальный и минимальный.

в сосуд с водой, для того чтобы тряпочка всегда была влажна. На испарение воды с влажной тряпочки тратится теплота, почему термометр со смоченным шариком показывает более низкую температуру, нежели сухой термометр. По разности температур находят в специальных таблицах влажность воздуха.

На рис. 4 представлен психрометр Августа в комбинации с гигрометром Соссюра.

Для гидрогеологических стационаров весьма удобны самопишущие приборы, автоматически регистрирующие состояние влажности воздуха (рис. 5, 6, 7).

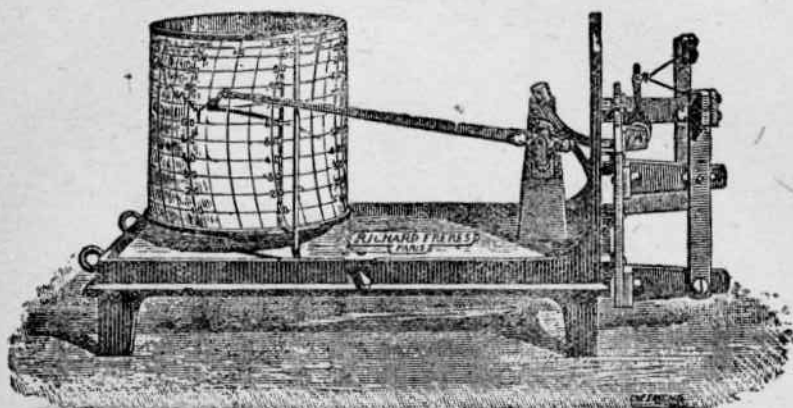


Рис. 5. Самопишущий гигрометр (без кошки и без предохранителя для волосяного пучка).

Самопишущий гигрометр (гигрограф) непосредственно отмечает относительную влажность воздуха, так как бумага, на которой ведется запись, градуирована от 0 до 100, почему не нуж-

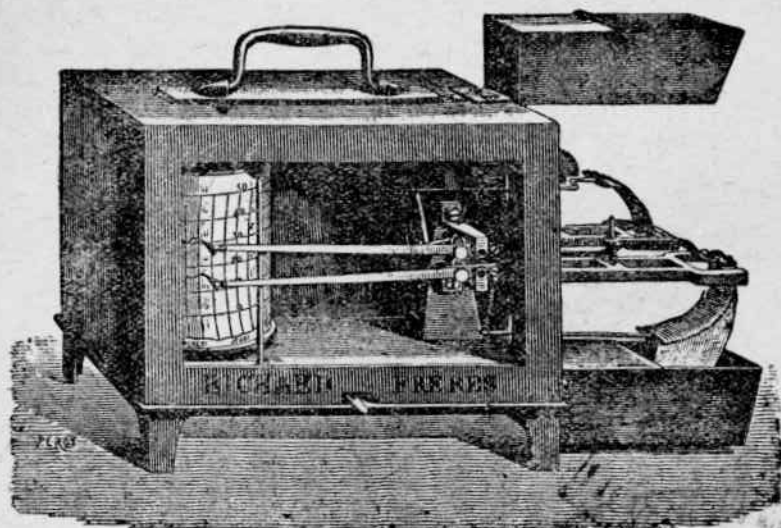


Рис. 6. Самопишущий психрометр.

ны вспомогательные таблицы. Самопишущий психрометр (психрограф) отмечает одновременно температуры сухого и мокрого термометров на одном и том же цилиндре, что дает уверенность в одновременности показаний. Самопишущий эвапорометр (испаритель, эвапорограф) регистрирует испарение воды из

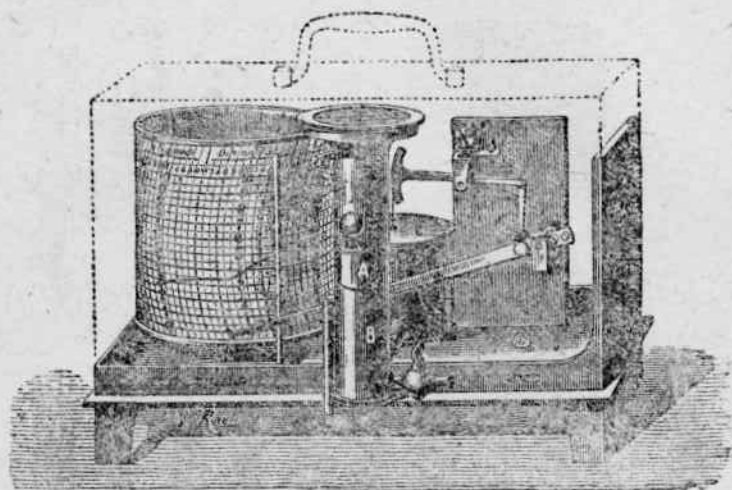


Рис. 7. Эвапорометр Гулай.

закрытого сосуда; поплавок передает уровень жидкости перу, чертящему кривую на градуированной бумаге, так что перемещения пера соответствуют количеству испарившейся воды.

Метеорологи обычно определяют фактическую или абсолютную влажность воздуха в миллиметрах давления ртутного столба. Количество паров q , выраженное в граммах на 1 м^3 воздуха, равно количеству паров e , выраженному в мм, умноженному на

коэффициент $\frac{1,06}{1+0,0037t}$, где t — температура воздуха в градусах Цельсия, т. е.:

$$q = \frac{1,06}{1+0,0037t} e; \quad e = \frac{1+0,0037t}{1,06} q.$$

Изучение распределения влажности показало, что с повышением температуры абсолютная влажность растет, а относительная падает. На пространстве СССР средняя годовая абсолютная влажность увеличивается с севера (2,5 мм — северо-восток Сибири) на юг (11 мм — юг Туркмении). Зимой она падает на севере до 0,1 мм, а на юге — до 5 мм, зато летом повышается до 5 мм на севере и до 18 мм на юге.

Средняя годовая относительная влажность на крайнем севере достигает 85%, что объясняется низкими температурами

этого края, при которых даже ничтожные количества влаги уже полно насыщают воздух (табл. 1); на юге — в Средней Азии — она доходит до 50%. Зимой и летом относительная влажность мало колеблется на севере, на юге же летом падает до 25% (Средняя Азия): здесь суточные колебания абсолютной влажности достигают 2 мм, а относительной — 45%, потому что минимум влаги в воздухе наблюдается в жаркое время дня около 14 час., а максимум влаги — утром около 6 часов.

Гигрометры, психрометры и термометры помещаются в особую сконструированную метеорологическую, так называемую английскую будку (рис. 8), высота пола которой над поверхностью земли равняется 2 м.

Атмосферные осадки выпадают на поверхность земли в виде дождя, снега, града, росы и инея. Они представляют сгустившиеся (сконденсированные) водяные пары, находящиеся в воздухе. Табл. 3 (по Зупану) дает представление о круговороте воды в атмосфере.

Количество атмосферных осадков в одной и той же местности колеблется из года в год довольно сильно. Если же мы сравним количество осадков,

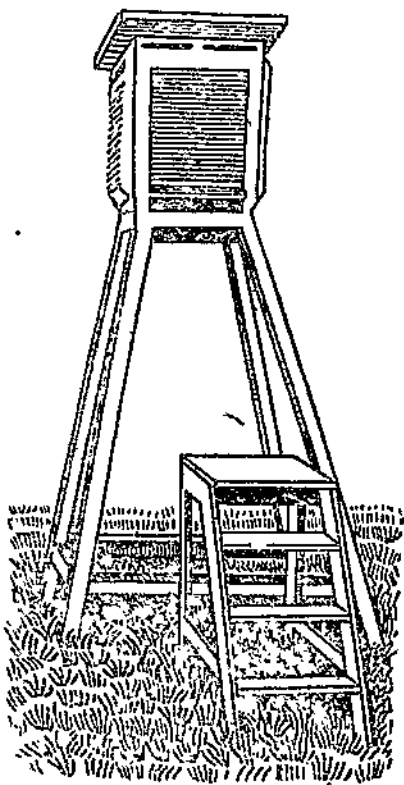


Рис. 8. Метеорологическая будка.

Таблица 3

Площадь в млн. км ²		Средняя часть в мм	
		испарения	осадков
Океан	361	1060	980
Суша со стоком	117	610	870
, без стока	32	330	330
Всей земли	510	910	910

выпадающих в различных областях земной коры, то различие между возможными максимумами осадков и минимумом их (ко-

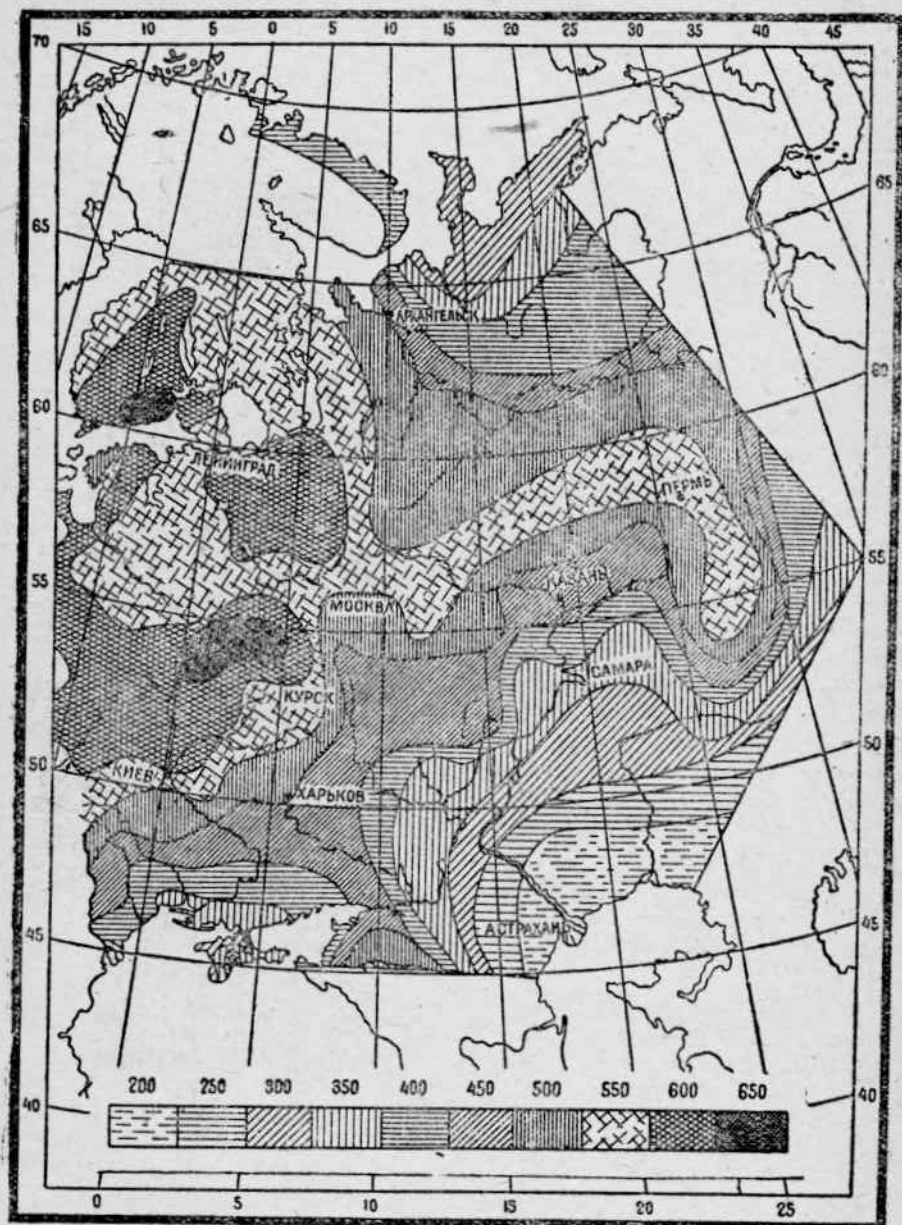


Рис. 9. Годовые суммы осадков в Европейской части СССР в миллиметрах (по Небольсину).

горый естественно равняется нулю) достигает огромной величины. Для примера можно привести следующие цифры: в пределах Европейской части СССР мы наблюдаем следующее максимальное количество для различных пунктов: в Москве — 716 мм, в Астрахани — 154 мм, в Батуме — 2370 мм. Среднее за многие годы в Москве количество осадков равняется 536 мм, а минимальное — 325 мм. В других странах максимум осадков бывает гораздо больше. Так например в Бразилии наблюдались годовые осадки в 7110 мм, а в Индии даже в 14200 мм (по Геферу). Рис. 9 дает средние годовые осадки в Европейской части СССР.

Для учета атмосферных осадков пользуются дождемерами, представляющими цилиндр в роде ведра, защищенный от ветра конусообразным щитом (ниферова защита) (рис. 10). Вода, собирающаяся в дождемере, периодически удаляется наблюдателем. В малодоступных странах (например в горных областях Средней Азии) пользуются так наз. суммарными дожде-

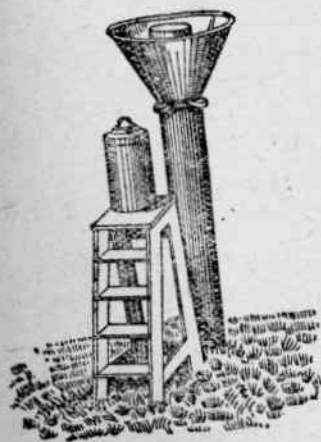


Рис. 10. Дождемер.

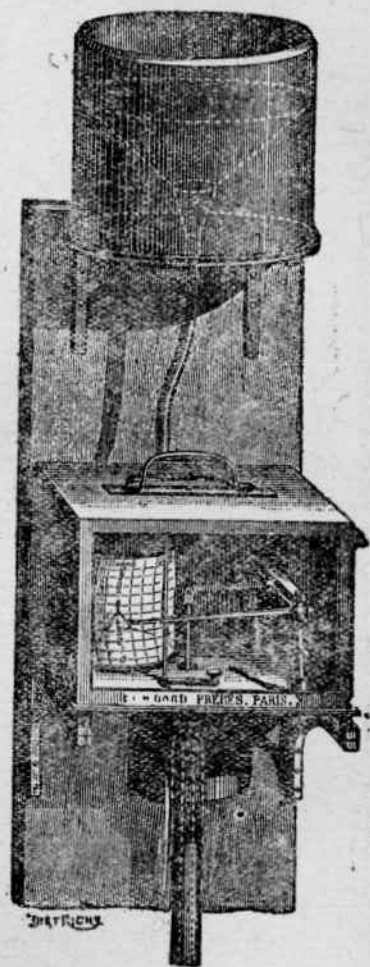


Рис. 11. Дождемер с поплавком.

мерами, которые контролируют один раз в несколько месяцев, а то и в полгода. Чтобы избежать потери попадающей в дождемер влаги вследствие испарения, в него наливают какое-нибудь масло, например маковое.

Для гидрогеологических исследований на стационарах удобны самопишущие дождемеры (омбрографы), один из типов которых представлен на рис. 11. Дождевая вода, собранная дождемером, попадает в металлический сосуд и поднимает поплавок, движения которого передаются перу. По накоплении 10 мм дождя со-

Таблица 4

Петровско-Разумовское

Количество осадков в мм

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
1891	7	5	64	23	32	33	27	94	63	15	25	18	441
1892	23	17	18	37	36	28	62	20	26	54	15	19	374
1893	16	20	57	11	18	60	78	94	84	28	84	15	525
1894	12	33	28	3	93	161	144	72	72	55	21	14	716
1895	45	34	67	17	2	79	85	36	59	76	47	11	554
1896	19	37	41	37	92	57	51	100	15	12	31	41	583
1897	4	28	27	31	45	12	65	6	45	49	46	12	407
1898	27	31	15	16	57	40	110	19	89	46	42	53	545
1899	46	32	27	54	28	58	28	107	87	77	32	17	593
1900	24	20	18	38	57	60	56	18	78	82	29	49	547

Таблица 5

Петровско-Разумовское

Средняя температура воздуха

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
1891	-17,6	-6,0	-0,9	4,6	11,7	15,7	20,3	15,5	9,2	3,3	-7,5	-4,2	3,0
1892	-12,9	-8,0	-5,1	2,9	13,5	17,6	17,9	15,9	11,6	3,0	-3,1	-12,9	3,4
1893	-21,5	-15,7	-4,1	-0,1	10,9	15,6	19,5	16,8	10,6	6,8	-1,9	-6,3	2,5
1894	-9,2	-5,8	-4,0	5,0	13,5	4,4	17,2	17,3	7,4	2,7	-1,1	-7,0	4,2
1895	-8,5	-13,4	-3,5	1,8	11,7	17,6	9,3	15,7	8,9	7,3	-2,6	-11,8	3,7
1896	-13,5	-11,3	-4,2	0,9	10,8	18,4	19,1	14,0	11,5	8,1	-4,6	-10,8	3,5
1897	-10,8	-10,5	-4,8	5,2	17,2	18,1	20,9	19,5	11,9	4,9	-3,4	-10,8	4,8
1898	-7,8	+10,4	-10,2	1,0	15,2	16,2	19,4	11,2	9,0	0,3	-0,8	-4,1	3,9
1899	-4,4	-1,0	-7,3	4,1	11,1	13,3	18,9	13,1	11,6	4,3	-0,2	-11,6	3,6
1900	-13,8	-11,0	-4,3	2,0	9,5	14,0	17,1	17,4	9,2	5,8	-3,7	-6,6	3,0

суд автоматически опорожняется при помощи сифона, после чего перо возвращается к нулю и начинает запись снова.

Весьма значительно разнятся также максимум и минимум температур за год, а тем более на протяжении многих лет. Так в Москве наблюдался (на поверхности почвы) максимум температуры в июле 1900 г. (+52,1°C), а минимум в феврале 1902 г. (-41,7°C).

Распределение осадков в течение года также неравномерно. Так например в Европейской части СССР в летние месяцы выпа-

дает большее количество осадков, нежели в зимнее, тогда как в Среднеазиатской части (равнина) в течение лета количество осадков очень незначительно и часто равняется нулю.

Для характеристики колебаний некоторых климатических факторов приводим данные за 10-летие, 1891—1900 гг., по записям Петровско-Разумовской метеорологической станции, касающиеся осадков (табл. 4), температуры (табл. 5) и относительной влажности (табл. 6). Постройте по ним графики, комбинируя на од-

Таблица 6

Петровско-Разумовское

Относительная влажность воздуха

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
1891	85	85	88	88	61	71	64	81	84	81	86	89	78
1892	88	84	80	76	65	67	78	75	76	80	92	86	79
1893	81	85	78	70	57	67	76	77	85	87	87	83	78
1894	65	82	78	66	70	81	77	81	87	85	87	87	80
1895	88	83	82	70	59	69	76	77	81	85	87	88	79
1896	81	83	81	61	72	68	71	81	82	80	83	91	78
1897	91	86	83	73	65	61	61	61	76	86	85	87	77
1898	86	81	77	77	65	67	74	69	83	85	83	86	78
1899	91	86	81	74	58	71	67	77	84	86	80	84	79
1900	63	82	79	75	69	72	70	18	79	85	86	85	78

ном графике либо ход осадков, температуры и влажности за один год, либо осадки (или температуру, или влажность) с годовыми максимальными, средними и минимальными.

Нижеприводимые табл. 7 и 8 дают представление о ходе осадков по сезонам в различных пунктах Европейской и Среднеазиатской частях Союза. Из этих таблиц видно, что в то время как вегетационный период в Европейской части Союза богат осадками, в Средней Азии он ими исключительно беден.

С точки зрения питания подземных вод атмосферными осадками имеет значение не только количество их, но и частота выпадения, и интенсивность их, и наконец другие климатические и физико-географические условия. Летние ливни не играют большой роли в питании подземных вод. Они бурно стекают в овраги и реки, очень мало промачивая почву. Наоборот осенние мелкие обложные дожди проникают в почву очень глубоко. Точно так же и снег, выпадающий на сильно промерзшую почву, проходит для питания подземных вод бесследно, потому что при весеннем снеготаянии талая вода не имеет возможности просочиться в глубь почвы и стекает, питая паводок. Если же снег выпадает на талую почву, то при весеннем снеготаянии происходит обильное просачивание воды в почву.

Таблица 7

Средние, наибольшие и наименьшие месячные количества осадков
в м.ч за период с марта по октябрь по данным за 30 лет

Пункты наблюдений	Среднее за год		Март		Апрель		Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Среднее, весна		Среднее, лето	
	Среднее	Наибольш.	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Среднее	Наибольш.	Среднее	Наибольш.
Вячка	654	86	84	1 27	70	0 49	157	7 63	153	1 62	149	6 71	145	10 59	128	14	5 ³	119	11 102	196		
Ленинград	652	24	58	3 33	83	2 40	112	2 55	148	8 58	136	7 84	174	6 58	180	2 49	104	7	97	197		
Москва	656	27	87	7 35	107	3 52	101	2 62	191	12 78	168	17 71	129	4 55	203	8 51	144	10 114	211			
Саратов	353	16	52	2 22	106	1 28	77	1 49	74	2 35	119	3 31	96	2 29	70	0 34	108	0	67	118		
Оренбург	242	17	122	0 21	85	1 31	05	4 43	165	4 32	112	1 28	110	2 24	118	0 28	9	0	88	103		
Астрахань	182	9	78	0 16	56	0 15	69	0 19	107	0 12	49	0 10	57	0 16	59	0 10	43	0	40	41		
Ставрополь	621	34	134	0 57	194	6 67	235	16 31	199	16 75	208	12 38	118	2 56	152	0 39	183	0 158	204			
Киев	584	44	67	4 47	117	3 49	119	20 76	155	20 76	195	9 64	120	8 47	108	3 50	140	1 140	206			
Харьков	567	28	85	3 40	84	5 48	118	8 69	148	8 05	167	10 51	132	0 42	83	1 43	159	2 116	185			

Таблица 8

Пункты наблюдений	Средняя и с. н. на темпер. т.		Головая амплитуда температ.	Сумма осадков за год в мм	Количество осадков по сезонам				Относительная влажность			
	июль	январь			зима	весна	лето	осень	средняя за год	январь	июль	август
Ашхабад	37,5	1 4	29,1	230,5	65,4	112,4	17,4	35,3	61	82	44	—
Карабугаз	25,4	2,3	23,1	110,6	27,7	34,9	25,7	22,3	70	77	—	62
Репешек	32,1	5,3	16,8	102,3	35,3	47,3	6,1	19,0	—	—	—	—
Каспиевск	29,1	3,0	26,1	113,8	38,4	44,8	11,9	18,9	61	73	—	46
Кушка	28,4	1 8	26,6	251,4	11,4	118,6	0,0	22,4	—	—	—	—
Мирзачуль (Голод- ная степь)	28,0	1,2	29,2	235,4	101,4	67,4	4,0	61,1	58	74	35	37
Бухара	30,2	0,3	37,5	106	—	—	—	—	58	83	34	34
Самарканд	24,7	3,0	17,7	332	92,6	149,6	35 2	55,4	60	69	47	48

Физико-географические условия местности отражаются прежде всего на стоке осадков. Как уже указывалось выше, часть атмосферных осадков испаряется, часть проникает в почву и питает подземные воды, а часть их стекает по неровностям местности в пониженные участки. Сток атмосферных осадков совершается особенно благоприятно в тех случаях, когда рельеф местности обладает значительными неровностями, когда поверхность земли сложена непроницаемыми для воды породами и когда она не покрыта растительностью. В этих случаях иногда осадки (особенно ливни) нацело стекают, не успев ни пропитаться в землю, ни испариться в воздух хотя бы отчасти. Сток осадков совершается особенно неравномерно, если осадки выпадают в виде снега. Уже в течение зимы часть снега испаряется, не переходя в жидкое состояние; весной же снеготаяние зависит от колебания температуры: если теплые дни сменяются морозными ночами, то сток талых вод затягивается на довольно продолжительное время, и паводок на реках бывает продолжительным; если же теплые дни сменяются безморозными ночами, то паводок на реках происходит бурно в короткий срок.

Равнинный ландшафт, сложенный из легко впитывающих воду горных пород, весьма затрудняет сток, содействуя просачиванию осадков в почву и их испарению.

Замеряя систематически сток реки и всех ее притоков, подсчитывают сток с бассейна реки в целом. Однако при этом не надо забывать, что кроме поверхностного стока существует и подземный сток, благодаря наличию которого бассейн данной реки либо может терять свои воды, отдавая их подземным путем в смежный бассейн, либо пополнять свои воды за счет притока

подземным путем из соседнего бассейна. На рис. 12 река Б теряет воды и в правый и в левый берег, а река А с левого берега получает дополнительное питание из реки Б, а правый берег теряет часть своих вод.

Испарению содействует прежде всего интенсивная инсоляция (нагревание солнцем). В южных странах, где летом поверхность

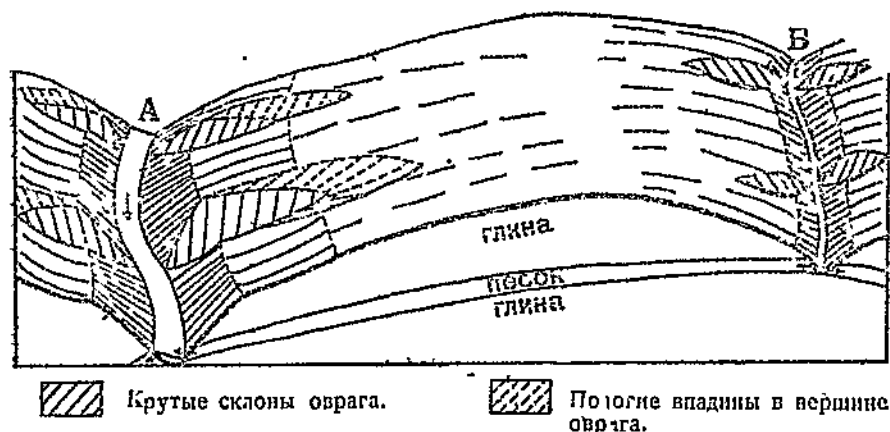


Рис. 12. Схема подземного стока.

земли нагревается до 70° и выше, выпавший летний дождик почти весь испаряется, не давая ни стока, ни просачивания. Точно так же при ветре испарение совершается значительно сильнее, нежели в безветренную погоду.

В конечном итоге на просачивание идет сравнительно очень небольшая доля осадков. Для Европейской части СССР в ее южной половине просачивание едва ли превышает 20% годового количества осадков.

Большое значение в смысле изоляции почвы от осадков имеет растительность и в особенности древесная. Некоторые наблюдения указывают, что в хвойных лесах на деревьях задерживается до 68% осадков, а на лиственных деревьях не менее 30%. Если же дожди слабые, то и все 100% остаются на листе и хвое.

По наблюдениям Секендорфа, произведенным во время трехдневного обложного дождя (52,6 мм осадков), получились следующие результаты (табл. 9).

Таким образом по лиственным деревьям до земли доходит вдвое больше влаги, нежели по хвойным.

Влияние лесов на выпадение осадков по существу еще не выяснено. Есть данные, которые указывают, что над лесами выпадает значительно больше осадков, нежели над полями. М. Фотра наблюдал во Франции в некоторых случаях превышение количества осадков над лесом по сравнению с полем на 43% и более.

Таблица 9

Порода деревьев	Выпало по рас- чету дождя над короной	Из них упало на землю по омбро- метрическим средним данным	По стволу было отведено	Всего попало на землю	Испарилось	Количество воды, попавшее на землю, в процентах ко все- му количеству выпавшего над кро- ной дождя	
	в литрах					без учета	с учетом
						воды, отведенной по стволу	
Бук	3416	1839	260	2090	1307	54,0	61,6
Дуб	3170	1983	200	2183	937	62,5	68,9
Клен	4810	3142	200	3342	1477	65,2	69,4
Сосна	1573	481	16	497	1076	30,6	31,6

Но если и существует подобное явление, то все же полагают, что если брать поверхность земли в общем, то количество осадков, выпадающих над большими лесными массивами, превышает не более чем на 5% количество осадков, выпадающих на открытых местах.

Г Л А В А II

Гидрохимические данные

Природные воды всегда представляют газовые или минеральные растворы. Почти никогда не удастся встретить такую природную воду, в которой не были бы растворены какие-либо органические или минеральные вещества или газы. Даже дождевая вода, которая представляет собой воду дистиллированную, на пути из облаков до поверхности земли поглощает взвешенную в воздухе пыль и газы воздуха и таким образом является и минерализованной и газированной.

И не только жидкая вода таким образом минерализуется. И снег также способен поглощать из воздуха пыль и газы. Насколько много веществ может поглотить снег, указывают следующие исследования, произведенные в Лондоне 29 декабря 1909 г. и 28 февраля 1910 г. В эти дни был собран снег, выпавший на крышу одного здания, и проанализирован, причем оказалось, что снег, собранный 29 декабря (будничный день) содержал в 1 л воды 422 мг взвешенных и растворенных веществ, а снег, собранный 28 февраля (воскресный день), содержал 93 мг/л. Такое различное содержание примесей в снеге объясняется тем, что в воскресный день не работали многочисленные фабрики и заводы, благодаря чему воздух был более очищен от копоти и дыма.

Результаты анализа воскресного дня были пересчитаны на площади всего Лондона, причем оказалось, что снег увлек с собой около 75 т растворенных веществ и 142 т взвешенных веществ, в том числе 25 т поваренной соли, 1 т аммония и 100 т каменного угля.

Анализы снега, собиравшегося во дворах различных промышленных предприятий, давали различные соединения, в зависимости от характера учреждения. В одних случаях были обнаружены значительные количества хлористого аммония, в других — серной кислоты и т. д.

Таким образом даже только что выпавший дождь или снег не представляет идеально чистой воды. Но естественно, что количество взвешенных и растворенных в дождевой и снеговой воде веществ будет не всюду одинаково, и если мы проделаем анализ снега, выпадающего зимой в какой-нибудь безлюдной местности,

например в Приуралье, то там мы конечно получим более чистую воду, нежели из снега лондонского или из другого какого-нибудь крупного промышленного центра.

Чистая вода лишена вкуса и запаха, прозрачна и в толстом слое обладает голубоватым оттенком. Ее наибольшая плотность наблюдается при 4°C , причем 1 см^3 воды весит 1 г. Выше и ниже этой температуры объем воды увеличивается. При нуле градусов жидкая вода замерзает, или, как говорят, переходит в твердую фазу — лед. Но если вода минерализована, то переход жидкой воды в твердую фазу совершается при более низкой температуре. При 100°C и 760 мм давления вода переходит полностью в парообразное состояние. Вода минерализованная кипит при более высокой температуре. Точка кипения при 100° наблюдается только в том случае, если мы имеем так называемое барометрическое давление, равное 760 мм. При пониженном давлении, например в горах, температура кипения сильно падает.

Как уже указывалось выше, вода может переходить в парообразное состояние при любой температуре, даже ниже нуля, т. е. испаряться может не только жидкая вода, но и снег и лед. Различие заключается в том, что при температуре ниже 100° вода испаряется только в том случае, если окружающий воду воздух не насыщен парами, т. е. если относительная влажность воздуха меньше 100%. При температуре в 100° (или выше при большем чем нормальное давлении) вода переходит в парообразное состояние независимо от степени влажности воздуха.

Способность воды растворять минеральные и органические вещества имеет чрезвычайно важное геоботаническое и гидрогеологическое значение.

Растворимость различных соединений в воде весьма разнообразна. Наиболее растворимы некоторые хлористые, азотнокислые и углекислые соли калия и натрия. Максимальная насыщенность воды этими солями может достигнуть 40% по весу. Менее растворимы (средняя растворимость) углекислые и сернокислые соли кальция и магния. Их растворимость колеблется в пределах 1 : 1000 до 1 : 10 000. Наконец силикаты и некоторые другие минеральные соединения растворимы в столь малом количестве, что практически их растворимость может быть принята равной нулю. Растворимость солей нарастает с повышением температуры: растворимость газов при этих условиях падает.

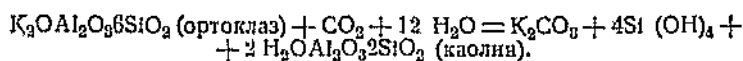
Следует отметить, что нахождение в растворе некоторых веществ может либо способствовать, либо препятствовать растворению других. Так например, если в воде уже имеется в растворе углекислота, то растворимость в такой воде углекислой извести (известняка, мела) повышается почти втрое, а растворимость сернокислого кальция не изменяется.

Углекислота всегда имеется в подземной воде и повышает растворимость углекислых солей. Хлористый натрий повышает

растворимость гипса в воде почти вчетверо, а сернокислый магний понижает растворимость гипса до нуля.

Табл. 10 и 11 дают представление о количестве солей и газов, которые могут растворяться в одной части воды при различных ее температурах. Количества показаны максимальные. В природной воде редко встречаются предельные насыщения солями и газами (табл. 12).

Растворенные в воде CO_2 или соли типа R_2CO_3 способствуют разложению алюмосиликатов:



Растворенный в воде воздух богаче кислородом, чем воздух атмосферы; его состав: 33,7% кислорода и 66% азота.

Конечно не всегда дождевая и снеговая вода будет иметь именно такой состав растворенных в ней солей и газов. Обычно первые порции дождевой воды, особенно когда дождь выпадает после длительной засухи, довольно богаты растворенными в них веществами. В конце длительных обложных дождей дождевая вода гораздо чище.

Если в минерализованной воде количество растворимых в ней веществ превышает 1 г/л, то такая вода носит название минеральной воды в отличие от пресной воды, которая содержит в растворе менее 1 г солей (для железистых солей нормой минерализации считается 0,1 г/л).

Пресные воды, которые в растворе содержат много углекислых и сернокислых солей кальция магния, носят название вод жестких. Под именем мягких вод подразумеваются такие воды, содержание указанных солей в которых не превышает 0,25 г/л воды.

Жесткая вода при испарении оставляет растворенные в ней вещества. Так получают в природе разнообразные туфы, представляющие минеральные отложения из вод, насыщенных различными солями.

Многие рудные жилы также представляют выделение из водных минеральных растворов. Вещества, выделяемые на стенках сосудов (паровые котлы, самовары, чайники) при кипячении, носят название накипи. В зависимости от состава минерализующих воду солей накипь имеет различные свойства: то она бывает плотной (при гипсированных водах), то более пористой и рыхлой (при известковых водах).

Жесткость воды измеряется градусами жесткости. Существуют три системы градусов жесткости: немецкая, английская и французская. В СССР чаще всего применяется немецкая система. Одному немецкому градусу жесткости соответствует содержание 10 мг окиси кальция или 14 мг окиси магния на 1 л воды. Одному французскому градусу соответствует 10 мг карбоната кальция или 17,5 мг карбоната магния на 1 л воды, а одному английскому

Таблица 10

Растворимость солей в воде

Соли	0°	100°	Соли	0°	100°
KCl . . .	0,29	0,60	CaSO ₄ .	0,0019	0,0017(40°—0,0023)
NaCl . . .	0,35	0,40	FeSO ₄ .	0,6	3,30
K ₂ SO ₄ .	0,10	0,28	Mg(OH) ₂ .	0,0002	Нераств.
Na ₂ SO ₄ .	0,05	0,42(50°—0,50)	MgSO ₄ .	0,27	0,74
KN O ₃ .	0,14	2,36	Mg O ₃ .	0,0001	0,001
CaCO ₃ .	0,00018	—	Ba O ₃ .	0,00007	0,00,06
FeCO ₃ .	0,0007	—	BaSO ₄ .	0,000002	—
MnCO ₃ .	0,0003	—			

Таблица 11

Растворимость газов в воде

Температ. в граду- сах С	N	H	O	Воздух	H ₂ CO ₃	CO ₂	H ₂ S	NH ₃
0	0,20	0,019	0,041	25	1,20	32	4,37	1,049
10	0,16	0,019	0,032	20	1,18	26	3,59	0,812
20	0,14	0,019	0,028	17	0,90	23	2,90	0,654

Таблица 12

Химический состав воды осадков

Соединения	Данные анализа	
	дождевой воды	снеговой воды
O	7,75—8,52 см ³	
N	10,40—10,80 "	
CO ₂	0,42—0,80 "	
NH ₃	0,004—0,016 "	0,00017 "
HNO ₃	0,0003—0,001 "	0,00017 "
(NH ₄) ₂ CO ₃	0,00174 "	0,00129 "
NH ₄ NO ₃	0,00180 "	0,00145 "
NaCl	0,00189 "	0,0174 "
Na ₂ SO ₄	0,0107 "	0,01563 "
CaSO ₄	0,00087 "	0,00088 "
Органические вещества	0,02488 "	0,02385 "

градусу жесткости соответствует содержание 1 грана (64 мг) карбоната кальция на 1 галлон (4,5 л воды) или 14 мг/л¹.

Так как растворимость в воде углекислых солей зависит от присутствия в воде углекислоты, а углекислота в ней почти всегда имеется, так как растворяется в ней вместе с другими газами воздуха, то при кипячении, когда углекислота из воды испаряется, часть растворимых в воде углекислых солей выпадает в виде осадка, следовательно жесткость воды при этом изменяется.

Та жесткость, которая соответствует свежей сырой воде и которая обусловлена присутствием в воде не только сернокислых солей, но и углекислых солей, растворенных при наличии углекислоты, носит название общей жесткости; та жесткость, которая устанавливается в воде после удаления углекислоты из воды (кипячением) и после выпадения некоторого количества карбоната в виде осадка или накипи, носит название жесткости постоянной. Под именем временной жесткости подразумевают ту жесткость, которая представляет собой разность между общей и постоянной жесткостью.

Считается, что питьевая вода должна иметь жесткость примерно до 20° (немецких). Слишком жесткая вода вызывает в организме накопление солей (артериосклерозы), однако и совершенно лишенная жесткости вода (дистиллированная) по мнению некоторых врачей также непригодна для питья, потому что она выщелачивает из организма соли и газы, и вызывает заболевания. У детей, пьющих слишком мягкую воду, чрезвычайно плохо идут процессы окостенения и наблюдается рахитичность. С другой стороны, наблюдения над экипажем кораблей в течение долгих месяцев при дальних плаваниях, пьющим только перегнанную воду, не подтверждают таких опасений. Многие судовые врачи протестуют против утверждения о вредности для здоровья дистиллированной воды (Гертнер).

Жесткая вода неудобна в хозяйстве, так как в жесткой воде расходуется много мыла, овощи и мясо плохо развариваются, накапливается накипь в сосудах, и ее приходится время от времени удалять.

Выяснено, что для нейтрализации жесткой воды требуется около 108,5 г мыла на 1° нем. жесткости в 1 м³ (1 000 л) воды; следовательно для нейтрализации 20° жесткости мыла потребуются 2,17 кг.

Эти 2,17 кг мыла представляют непроизводительный расход, которым оплачивается излишняя жесткость воды в 1 000 л (80 ведрах) воды. Сколько же мыла затрачивается ежедневно населением на мытье и стирку в миллионах кубических метров воды?

¹ 1 немецкий градус жесткости = 1,79 фр. = 1,25 англ.
1 французский " " = 0,58 нем. = 1,7 англ.
1 английский " " = 0,8 нем. = 1,43 франц.

Природная подземная вода минерализуется, приходя в соприкосновение с горными породами. Естественно, что от характера горных пород зависит и характер минерализации подземной воды.

Если подземные воды протекают по горным породам, которые богаты легко растворимыми солями, например каменной солью, гипсом, то и подземные воды представляют собой в этих случаях рассолы, или гипсированные воды. Как на пример таких вод можно указать на многочисленные источники и колодцы в северной и северо-восточной частях РСФСР, из которых используются с промышленной целью рассолы. Некоторые названия городов обязаны своим происхождением тому, что близ них добывались эти соленые воды, например Солигалич, Сольвычегодск, Соликамск и др.

Воды, протекающие по известнякам или богатым известью породам, содержат в растворе много углекислой извести, например, воды из артезианских колодцев Москвы, Ташкента.

В других случаях в подземных водах обнаруживается присутствие разнообразных соединений вроде солей калия, иодистых, бромистых и т. д.

Растворив на своем пути вещества или, как говорят, выщелочив их из горных пород, вода уносит их с собой и если изменяются условия минерализации воды, то эти соли могут быть выделены водой. Так например, если вода на своем пути проникает на большие глубины, в которых существуют сравнительно высокие температуры, то здесь эта теплая или даже горячая вода является более энергичным растворителем, чем когда она была холодной. Растворив здесь максимально возможное при данной температуре количество веществ, эта вода на своем пути может снова попасть в слой более холодный или даже выйти на поверхность земли. При этом температура ее падает, газы из нее выделяются, и она должна часть принесенных с собой солей выделить, потому что с понижением температуры падает растворяющая способность воды.

Если выделение солей происходит в пустотах самой горной породы, то такой процесс, представляющий как бы противоположность выщелачиванию, носит название цементации. Благодаря явлениям цементации в трещинах горных пород образуются минеральные жилы, пески цементируются до состояния песчаников и т. д.

Из почвы вода выщелачивает органические (гумусовые) соединения и выносит их в более глубокие слои, где они, соединяясь с полуторными окислами Fe, Mn, образуют ортзанды и ортштейны (горизонт В почвы).

Для определения пригодности воды для тех или иных практических целей приходится делать химический анализ этих вод. При этом, если анализ приходится делать в полевой обстановке, он естественно не может быть полным. При таком полевом ана-

Испытание на	Реактивы	Ход испытания
1. Прозрачность		1. Наполнив пробирку водой доверху, смотреть сверху вниз над белой бумагой.
2. Цветность		2. Наполнив пробирку водой доверху, смотреть сверху вниз над белой бумагой.
3. Запах		3. Полпробирки воды подогреть над свечой или спичкой до 40—50°C и определить характер запаха.
4. Вкус		4. Полпробирки воды подогреть над свечой или спичкой до 25—30°C и определить характер вкуса.
5. Реакцию воды	Лакмусовая бумага синяя и красная	5. Положив на край блюдца или чашки рядом листочки синей и красной бумаги, смочить водой и наблюдать изменение окраски бумаги.
6. Сероводород H_2S	Свинцовая бумага (см. также № 3)	6. Наполнив до половины пробирку водой, опустить в горлышко пробирки смоченную в дистиллированной воде свинцовую бумажку так, чтобы она не касалась воды, и подогреть пробирку над свечой или спичкой. Побурение бумаги укажет наличие сероводорода.
7. Аммиак NH_3	а) Реактив Несслера б) Сегнетова соль	7. В полпробирки воды прибавить 3—5 капель реактива Несслера; если появляется осадок, прибавить еще 8—10 капель сегнетовой соли. Желтая окраска или желто-красный осадок указывают наличие аммиака.
8. Азотистую кислоту N_2O_3	а) Крахмальный клейстер с подкисленным уксусом или б) реактив Грисса	8а. В полпробирки воды прибавить 2—3 см ³ поднощичкового клейстера. Посинение через несколько минут воды указывает наличие азотистой кислоты. 8б. В полпробирки воды прибавить на кончике перочинного ножа реактива Грисса. Порозовение через несколько минут воды указывает наличие азотистой кислоты.
9. Азотную кислоту N_2O_5	а) Крепкая серная кислота б) Бруцина или в) дифениламин	9. На дно белого блюдца или чашечки налить несколько капель воды, прибавить несколько крупинок дифениламина или бруцина и несколько капель крепкой серной кислоты. При наличии азотной кислоты появится с дифениламином синяя окраска, а с бруцином — красная.
10. Углекислоту CO_2 (свободная)	Розоловая кислота	10. К объему около 100 см ³ воды прибавить несколько капель розоловой кислоты. Переход красно-фиолетового цвета в желтый указывает наличие CO_2 (свободного).

Испытания на	Реактивы	Ход испытания
11а. Железо $\text{Fe}(\text{OH})_2$	10% раствор сернистого натрия	11а. Налить полную пробирку воды, прибавить 1—2 см ³ раствора сернистого натрия, рассматривать сверху вниз над белой бумагой. Желовато-зеленое окрашивание указывает наличие закиси железа
11б. Железо $\text{Fe}(\text{OH})_3$	а) Роданистый калий б) Бертолетова соль в) Соляная кисл.	11б. В полнотрубную пробирку воды прибавить несколько кристаллов бертолетовой соли и несколько капель соляной кислоты, а затем раствора роданистого калия. Красное окрашивание указывает наличие железа
12. Хлор Cl	а) Хромовокислый калий 10% б) Азот. окисное серебро. Титров. раствор (1 см ³ раствора равняется 10 мг хлора)	12. В эрленмейеровскую колбочку (или в стакан) налить 100 см ³ воды, прибавить 3 капли раствора хромовокислого калия и в желтую жидкость прибавить титрованный раствор AgNO_3 из бюретки до появления коричневого цвета, число куб. сантиметров азотнокислого серебра, умноженное на 10, укажет число миллиграммов хлора в 1 л воды
13. Сернистую кислоту H_2SO_3	а) Соляная кислота слабая б) Хлористый барий	13. В полную пробирку воды прибавить несколько капель соляной кислоты и затем несколько куб. сантиметров хлористого бария. Появление белой мути или выпадение белого осадка указывает на наличие сернистой кислоты
14. Жесткость общую	а) Мыльный раствор по Клерку или б) Мыльный раствор по Бутрон-Буде.	14а. В склянку емкостью 200 см ³ налить воды и приливать из бюретки мыльного раствора понемногу, пока после взбалтывания не появится мелкая мягкая пена, не исчезающая минут 5. Число израсходованных см ³ мыльного раствора дает число градусов (немецких) жесткости воды. Если при 45 см ³ мыльного раствора нет устойчивой пены, то берут 25 или 50 см ³ и испытывают воду и доводят до 100 см ³ дистиллированной водой. Число градусов жесткости получают, умножая в этом случае число израсходованных см ³ мыльного раствора соответственно на 4 или на 2 14б. В склянку емкостью 80 см ³ наливают 40 см ³ испытуемой воды, а если вода жесткая, то 10 или 20 см ³ , доливая до 40 см ³ дистиллированной водой. Мыльный раствор, титрованный по Бутрон-Буде, приливают из особой бюретки-гидротиметра. Получение после взбалтывания, как в п. а, устойчивой пены указывает конец реакции. Число делений использованного из гидротиметра раствора мыла дает число градусов жесткости (французских). Если добавлялась дистиллированная вода, результат соответственно умножают на 4 или на 2.

лизе (или полевом испытании) воды обычно довольствуются качественными определениями.

В зависимости от назначения воды испытания производятся в разных направлениях. Так например, если предполагается воду использовать для питьевых целей, то определяется наличие аммиака, сероводорода, азотной и азотистой кислот, хлора и жесткости. Если же эта вода должна быть использована для орошения, то присутствие азотистых, азотных соединений, аммиака и сероводорода не имеет значения, — здесь важно знать количество хлористых, сернокислых и углекислых солей. Для промышленных целей нужно опять-таки особое испытание. Некоторые вещества, содержащиеся в природных водах, способствуют раз'еданию стенок паровых котлов и труб (свободная и полусвязанная углекислота, сероводород, гумусовые вещества, хлористый магний, образующий соляную кислоту, и др.) или ведут к образованию в них накипи. Сернокислый кальций раз'едает также и цемент.

При достаточном опыте, можно эти качественные реакции сопровождать определениями — «следы», «мало», «много» и т. д., имеющими большую практическую ценность.

Предельные нормы для питьевых вод: жесткость до 20°, сухой остаток до 500 мг, Cl до 40 мг, SO₃ до 100 мг, N₂O₃ до 20 мг, N₂O₅ и NH₃ следы.

Таблица 14

Анализ воды из артезианского колодца в Мэкомб (Иллинойс)
по Ф. В. Кларку

И о н ы		Предполагаемые количества солей (г/л)				
SiO ₂	0,0105	KCl	—	0,0452	0,0181	0,0211
Al ₂ O ₃	0,0013	NaCl	0,8968	0,8384	0,7164	0,8172
F . IO ₃	0,0023	CaCl ₂	—	—	0,0877	0,0292
SO ₄	0,8991	MgCl ₂	—	0,0154	0,1571	0,0242
CO ₃	0,3953	K ₂ SO ₄	0,0528	—	0,0211	0,0246
Cl	0,5418	Na ₂ SO ₄	0,4649	1,4781	1,2495	1,0642
Na	0,8466	CaSO ₄	0,5450	—	0,1218	0,2223
K	0,0337	MgSO ₄	0,3360	—	0,0711	0,1357
Ca	0,1581	K ₂ CO ₃	—	—	0,0084	0,008
Mg	0,0672	Na ₂ CO ₃	0,6983	—	0,2793	0,3259
		CaCO ₃	—	0,3952	0,2278	0,2076
		MgO ₃	—	0,2215	0,1355	0,1190
		Al ₂ O ₂	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
		Fe ₂ O ₂	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
		SiO ₂	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105
Итого .			3,0076	3,0076	3,0076	3,0076

Продолжение табл. 15

Составные части представлены в ионах

(Предполагая полную диссоциацию солей) в 1 л минеральной воды содержится:

К а т и о н ы:

Иона натрия (Na)	0,4444
" калия (K.)	0,00332
" магния (Mg.)	0,1383
" кальция (Ca.)	0,2167
" железа (Fe.)	0,00020

А н и о н ы:

Иона хлора (Cl)	0,1283
Сульфатного иона (SO_4)	1,4200
Гидро-карбонатного иона (HCO_3)	0,5071
Кремневой кислоты (мета) (H_2SiO_3)	0,0103
Свободной CO_2	0,3234

Комбинация составных частей

Минеральная вода источника № 20 по своему составу соответствует примерно раствору, содержащему в 1 л:

А. При вычислении солей в виде простых углекислых соединений

Хлористого калия (KCl)	0,0063
" натрия (NaCl)	0,2068
Сернокислого натрия (Na_2SO_4)	1,1188
" магния (MgSO_4)	0,6897
" кальция (CaSO_4)	0,1685
Углекислого кальция (CaCO_3)	0,4153
" железа (закиси) (FeCO_3)	0,00042
Кремневой кислоты, ангидрида (SiO_2)	0,0149
Сумма твердых составных частей	2,62072
Свободной CO_2	0,3234
Полусвободной CO_2	0,1820
Сумма всех составных частей	3,12702

В. При вычислении соответствующих солей в виде двууглекислых:

Хлористого калия (KCl)	0,0063
" натрия (NaCl)	0,2068
Сернокислого натрия (Na_2SO_4)	1,1183
" магния (MgSO_4)	0,6897
" кальция (CaSO_4)	0,1685
Двууглекислого кальция [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$]	0,6728
" железа (закиси) [$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$]	0,00064
Кремневой кислоты (мета) (H_2SiO_3)	0,0193
Сумма твердых составных частей	2,89774
Свободной CO_2	0,3234
Сумма всех составных частей	3,22114

Полные анализы производятся в лаборатории. Как минимум полный анализ должен дать определенные количества: Cl , SO_4 , $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, Ca , Mg , $\text{Na} + \text{K}$, плотный остаток (при определенной всегда указываемой температуре выпаривания). Обычно указываются температуры 105, 110, 180. От сокращенного лабораторного анализа надо требовать минимум количественные определения: Cl , SO_4 , $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, плотный остаток.

Часто химические анализы воды выражают в солях, но этот способ многими не принимается как допускающий произвольное комбинирование полученного из анализа фактического материала. Как пример этого приведем 4 варианта пересчета анализа из книги Лейтона «Полевые испытания воды» (табл. 14).

Для удобства сравнения обыкновенно перечисляют, по предложению немецкого химика Тана, данные химического анализа в эквивалентную форму. Для этого выписывают весь анализ в ионной форме. Далее делением весовых количеств всех ионов, выраженных в миллиграммах, на их ионный вес, переводим данные анализа в молекулярный или ион-молекулярный вид (миллимоль). И наконец значения (цифры) ион-молекулярного вида, умножая на валентность соответственного иона, переводим в миллиграмм-эквивалентный вид (милливаль).

Обычно дают анализ в следующем виде (IV том «Естественных производительных сил России», вып. 40, стр. 52—53):

Т а б л и ц а 15

Анализ Ессентукского источника № 20
(в окислах и ангидридах)

Время набора воды для анализа: 4 июня 1907 г. Аналитик Э. Э. Карстенс.
Температура воды 11,9°C.

Определенные анализом составные части (в г)
В 1 л минеральной воды содержится:

Окиси натрия (Na_2O)	0,5985
„ калия (K_2O)	0,6040
„ магния (MgO)	0,2299
„ кальция (CaO)	0,3020
Закиси железа (FeO)	0,00026
Хлора (Cl)	0,1288
Серной кислоты, ангидрида (SO_3)	1,1890
„ { всея	0,6890
„ { связанной	0,1829
„ { свободной	0,3234
Кремневой кислоты, ангидрида (SiO_2)	0,0149
Сухого остатка (высуш. при 180°C)	2,8140

Для упрощения пересчета умножают ионные значения на особый коэффициент, представляющий частное от деления валентности иона на ионный вес. В табл. 16 приводятся атомные и эквивалентные веса, пересчетные коэффициенты и логарифмы послед-

Таблица 18

	Вес частицы	Валентность	Эквивалентный вес	Пересчетный коэффициент	Логарифм
K ⁺	39,10	1	39,1	1:39,1=0,0256	$\overline{2},40824$
Na ⁺	23,0	1	23,0	1:23=0,0435	$\overline{2},63848$
Ca ⁺⁺	40,07	2	40,07:2=20,04	1:20,04=0,0499	$\overline{2},69310$
Mg ⁺⁺	24,32	2	24,32:2=12,16	1:12,16=0,0822	$\overline{2},91487$
Al ⁺⁺⁺	27,1	3	27,1:3=9,03	1:9,03=0,1107	$\overline{1},04414$
Fe ⁺⁺	55,84	2	55,84:2=27,92	1:27,92=0,0358	$\overline{2},55388$
Fe ⁺⁺⁺	—	3	55,84:3=18,61	1:18,61=0,0538	$\overline{2},73078$
O ⁺⁺	16,0	2	16:2=8	1:8=0,1250	$\overline{1},09691$
H ⁺	1,008	1	1,008	1:1,008=0,9921	$\overline{1},99656$
Cl ⁻	35,46	1	35,46	1:35,46=0,0281	$\overline{2},44871$
SO ₄ ⁼⁼	96,07	2	96,07:2=48,04	1:48,04=0,0208	$\overline{2},31803$
CO ₃ ⁼⁼	60,0	2	60:2=30	1:30=0,0333	$\overline{2},52244$
HCO ₃ [']	61,0	1	61,0 =	1:61=0,0164	$\overline{2},21484$
SiO ₂ ^{''}	76,03	2	76,03:2=38,02	1:38,02=0,0263	$\overline{2},41993$
CaO	56,07	2	56,07:2=28,04	1:28,04=0,0357	$\overline{2},55267$
MgO	40,32	2	40,32:2=20,16	1:20,16=0,0496	$\overline{2},69543$
Na ₂ O	62,0	2	62:2=31	1:31=0,0323	$\overline{2},50920$
K ₂ O	94,2	2	94,2:2=47,1	1:47,1=0,0212	$\overline{2},32634$
CO ₂	44,0	2	44:2=22	1:22=0,0454	$\overline{2},65706$
SiO ₂	60,3	2	60,3:2=30,2	1:30,2=0,0331	$\overline{2},51983$
Fe ₂ O ₃	159,68	6	159,68:6=26,61	1:26,61=0,0376	$\overline{2},57510$
Al ₂ O ₃	102,2	6	102,2:6=17	1:17=0,0588	$\overline{2},76938$

них для главнейших радикалов, с которыми чаще всего приходится встречаться при упрощенных анализах вод.

Вычисленные таким образом миллиграмм-эквиваленты дают возможность сравнения данных разнообразных химических анализов воды, так как точно определяют значение каждого ради-

жала в растворе. Обыкновенно для того чтобы отметить, что анализ представлен в миллиграмм-эквивалентной форме, к символу иона приставляют букву г, например гК, гНСО₃.

Дальнейшее преобразование данных химического анализа заключается, по предложению американского химика Пальмера, в том, что данные анализа представляют в процентах от суммы эквивалентов. Для примера ниже представлен анализ морской воды в солях, окислах, ионах, молекулярной и эквивалентной формах (по Славянову) (табл. 17).

Таблица 17

Анализ морской воды

В окислах и ангидридах		В солях		В ионах		Милли-моль	Милли-валь	% милливаль
Na ₂ O	14,435	NaCl	27,215	Na ⁺	10,710	465,90	465,90	38,59
K ₂ O	0,470	MgCl ₂	3,807	K ⁺	0,390	9,98	9,98	0,83
CaO	0,588	MgSO ₄	1,658	Ca ⁺⁺	0,420	10,48	20,96	1,76
MgO	2,155	CaSO ₄	1,260	Mg ⁺⁺	1,300	53,43	106,86	8,84
SO ₃	2,250	K ₂ SO ₄	0,863	SO ₄ ⁻	2,700	28,08	59,16	4,85
Cl	9,350	MgBr ₂	0,076	Cl ⁻	19,350	545,68	545,68	45,10
Br	10,060	CaCO ₃	0,121	Br ⁻	0,060	0,75	0,75	0,06
CO ₂	0,051			CO ₃ ⁼⁼	0,070	1,16	2,33	0,19
	39,353		35,000		35,000	1 115,46	1 208,62	100

Выражение анализа в окислах и ангидридах дает в сумме величину большую, нежели та, которую мы получаем при выражении анализа в солях или ионах, так как мы в первом случае произвольно присоединяем кислород к калию, натрию, кальцию и магнию — в данном примере разница достигает 4,353 г или, округляя, ошибка достигает 12,3%. Пересчет в проценты миллиграмм-эквивалентов даст возможность проверки анализа, так как суммы катионов и анионов должны быть равны.

Выражая анализ в процентах от суммы эквивалентов, мы исключаем элемент концентрации и следовательно имеем возможность судить лишь о пропорциональности или соотношении составных частей. В этом случае всегда необходимо иметь и величину сухого остатка.

Природные воды, взятые в различных условиях своего нахождения в данной коре, обладают различным составом. Поэтому возникает необходимость в разделении их на группы или классы в зависимости от относительной величины различных групп составных частей. Наиболее общим является разделение вод на кислые, в которых особенное значение имеет ион водорода

(Н'), и на щелочные, в которых такую же роль играет гидроксильная группа (ОН'). Когда эти две группы уравновешены ($H=OH'$), тогда получаются воды нейтральные. Качественно кислотность или что тоже соленость и щелочность вод устанавливается реакцией на лакмусовую бумагу.

Более дробное деление было предложено в Америке Пальмером, у нас оно проводится А. С. Уклонским, Н. Н. Славяновым, К. Л. Маляровым и др. По этому делению (классификация) различают 5 классов.

1. Эквивалент анионов сильных кислот (С) —серный, соляной — меньше эквивалентов катионов щелочных металлов (Щ) : $C < Щ$.

2. Эквивалент анионов сильных кислот равен эквивалентам катионов щелочных металлов: $C = Щ$.

3. Эквивалент анионов сильных кислот больше эквивалентов катионов щелочей, но меньше суммы щелочей (Щ) и щелочно-земельных металлов (З): $C > Щ, C < Щ + З$.

4. Эквивалент анионов сильных кислот равен сумме щелочей (Щ) и щелочно-земельных металлов (З): $C = Щ + З$.

5. Эквивалент анионов сильных кислот больше суммы щелочей и щелочно-земельных металлов (З): $C > Щ + З$.

Соленость (кислотность) и щелочность могут придавать воде различные радикалы.

При оценке подземных вод для целей водоснабжения необходимо учитывать также и их бактериальный состав. Среди бактерий различают бактерии безвредные и патогенные болезнетворные. Бактериальные анализы проводятся специалистами в особых условиях.

Замечено, что количество бактерий убывает по мере углубления от поверхности земли. Почвенный слой играет роль фильтра для бактерий, и на глубине 5—10 м обычно бактерий уже совершенно не бывает. Таким образом, если просачивается в землю даже весьма зараженная вода, то в процессе просачивания происходит как бы самоочищение воды от заразных начал.

Бактериологическое исследование вод по проф. Г. В. Хлопину состоит в определении числа колоний (количественный анализ), находящихся в воде и способных вырастать на принятых питательных средах при установленных условиях их роста (при 22°) и времени счета выросших колоний через 48 час.) и в качественном анализе, т. е. в нахождении некоторых микроорганизмов, указывающих на опасные загрязнения (кишечные палочки и др.). Количественный анализ относится к единице объема исследуемой воды (1 см³).

Для установления санитарной оценки вод в количественном отношении разными исследованиями были предложены числовые нормы содержания колоний в 1 см³, и как пример можно указать схему Майжеля.

При содержании:

От	0 до	10 колоний в 1 см ³ —вода	чрезвычайно чистая
"	10 "	100 "	» » 1 " " весьма чистая
"	100 "	1 000 "	» » 1 " " чистая
"	1 000 "	10 000 "	» » 1 " " посредственная
"	10 000 "	1 0 000 "	» » 1 " " нечистая
Более		100 000 "	» » 1 " " весьма нечистая

Для вредных микроорганизмов (как чаще других встречающаяся кишечная палочка) норма содержания числа колоний, или титр, значительно строже. Так Уиппл дает такой титр:

Здоровой считать, если 1 кишечная палочка найдена только в 100 см ³ и более							
Достаточно здоровой	" 1	"	"	"	"	" 10	"
Сомнительной	" 1	"	"	"	"	" 1	"
Нездоровой	" 1	"	"	"	"	" 0,1	"
Совершенно нездоровой, если 1 "	"	"	"	"	"	" 0,01	"

По мнению Г. В. Хлопина, как схема Майкеля, так и титр Уиппла являются лишь условиями, не установленными в общевропейском масштабе, но все же руководящими в практическом отношении при бактериальных определениях.

И у нас и за границей существуют так называемые «походные лаборатории для полевого анализа воды». Эти лаборатории представляют небольшие удобные к переноске ящики, содержащие необходимые для химических, обычно качественных, определений реактивы и посуду. Но запас реактивов в них очень невелик, и его приходится часто пополнять, что невозможно при работе в глухих пустынных углах нашей страны. Приходится иметь второй ящик с запасами реактивов. Очень удобны для этой цели реактивы в запаянных стеклянных ампулах (заграничные) небольшой емкости, продававшиеся в Гослаборзабвении. Их преимущество в том, что не приходится выливать реактивы из большой бутылки, в результате чего многие реактивы меняют титр или портятся.

Некоторые исследователи рекомендуют сухие титрованные таблетки доктора Каменского (изготавливаются на фармзаводах Ленздравотдела). При пользовании ими нужна лишь бутылка с дистиллированной водой. Результаты определений помощью таблеток очень приблизительны, скорее грубо качественные.

Несколько точнее капельный метод. Он вошел в обиход показательной станции по очистке воды при Наркомздраве. Гидрогеолог проф. Г. Н. Каменский рекомендует следующие определения капельным методом.

«Пользование капельницами для приближенного количественного определения растворенных в воде веществ основано на том, что объем одной капли для данного раствора и данной капельницы является постоянным при одинаковых условиях пользования. Например для 1 см³ воды в среднем соответствуют 15 капель, падающих с носика капельницы. Так что капельница с некоторым приближением может заменить бюретку для применения титрованных растворов.

Для того чтобы быть более уверенным в надежности результатов анализа, следует каждую капельницу с тем или иным реактивом проверить. Для этой цели надобно отсчитать в мензурку 100 или более капель и измерить таким образом объем этого числа капель, при этом необходимо строго следить, чтобы капли падали только с носика, для чего необходимо приноровиться к капельнице. Из количественных определений наиболее важными для полевого анализа и возможными с помощью капельниц являются определения хлора и жесткости.

1. Определение хлористых солей

Количественное определение хлористых солей производится путем осаждения хлора титрованным раствором азотнокислого серебра по реакции:



Получается осадок хлористого серебра.

В качестве индикатора, дающего возможность определить момент полного осаждения хлора, применяется хромокалиевая соль K_2CrO_4 . Несколько капель K_2CrO_4 окрашивают воду в желтый цвет, избыток K_2CrO_4 , приливаемый в воду, после осаждения всего хлора вступает в реакцию с AgNO_3 и дает в результате Ag_2CrO_4 , окрашивающую воду в оранжево-красный цвет. Раствор AgNO_3 применяется такой крепости, что 1 см его осаждает 1,5 мг хлора, а одна капля следовательно — 0,1 мг.

Определение капельницей производится следующим образом. В стаканчик или пробирку¹ отмеривается 10 см³ испытуемой воды. Прибавляют в эту воду несколько капель раствора K_2CrO_4 , отчего вода окрасится в желтый цвет.

В окрашенную воду из капельницы (оранжевой) прибавляют, перемешивая или взбалтывая воду, титрованный раствор азотнокислого серебра сначала по 10 капель, а затем, когда реакция приближается к концу, по одной капле. Изменение желтого цвета в оранжевый указывает окончание реакции азотнокислого серебра с хлористыми солями. Чтобы получить содержание хлора в мг/л, надо помножить полученное число капель на 10.

При малом содержании хлористых солей следует брать больший объем испытуемой воды: 20, 25, 50 см³. При большой солености наоборот меньший объем — 5, 2, 1 см³.

Для контроля определений и для проверки титра азотнокислого серебра желательно иметь титрованный раствор хлористого натрия, 1 см³ которого содержит 1 мг Cl. 1 см³ этого раствора разбавляют дистиллированной водой² до 10 см³. Вода эта будет

¹ Титрование можно с удобством вести и в мензурке.

² В поле дистиллированная вода может быть заменена чистой дождевой водой.

содержать 1 мг Cl . Проведя с ней описанное выше определение, можно точно установить, сколько капель AgNO_3 идет на осаждение 1 мг Cl .

2. Определение жесткости

Для определения жесткости применяется спиртовой раствор калийного мыла.

Для полевого анализа с капельницами удобнее брать мыльный раствор, приготовленный по Винклеру, 1 см^3 такого раствора связывает 1 мг окиси кальция, или в 100 см^3 воды один немецкий градус жесткости.

Для приготовления такого раствора Хлопин рекомендует следующий способ: «15 см^3 чистой олеиновой кислоты растворяют в 600 см^3 90—95° спирта и добавляют сюда 400 см^3 дистиллированной воды. К помутневшей жидкости прибавляют 4 г чистого продажного едкого кали и оставляют стоять 3—4 дня. Просветлевший раствор мыла затем фильтруют и проверяют пробным титрованием раствора известной жесткости. Если он получится нежного крепче, чем требуется, его разводит 56—58° спиртом»¹.

Для обыкновенной капельницы в среднем 33 капли мыльного раствора составляют 1 см^3 .

Определение ведется следующим образом. Берут 10 см^3 воды в пробирке или лучше в склянке с пробкой, приливают 0,5 см^3 (8 капель) раствора смеси $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$ и в эту воду прибавляют по 10 капель мыльного раствора, каждый раз энергично взбалтывая. Приливание раствора продолжают до тех пор, пока не появится над водой мелкопузырчатая, долго не исчезающая (3—5 мин.) пена. Появление устойчивой пены показывает, что все вещества, обуславливающие жесткость CaO и MgO , осаждены (в виде хлопьевидного остатка): количество потраченного раствора, перечисленное на см^3 , по умножении на 10 дает число градусов жесткости.

Сильно жесткие воды после прибавления первых порций мыльного раствора дают грубую крупнопузырчатую, долго не пропадающую, так называемую «ложную» пену, а также большой осадок кальция и магния. Это обстоятельство мешает точному определению момента появления настоящей мыльной мелкопузырчатой пены. Поэтому для определения жесткости сильно жесткие (более 10°) воды предварительно разбавляют дистиллированной водой в 2—3 раза и полученные результаты после соответственно увеличивают в 2 или 3 раза.

Для контроля и проверки титра мыльного раствора применяется раствор азотнокислого бария (4,663 Ba (NO_3)₂ на 1 л). 1 см^3 такого раствора, разбавленный до 10 см^3 дистиллированной водой, соответствует 10° жесткости.

¹ Хлопин. Химические методы исследования питьевых и сточных вод.

По количеству мыльного раствора (капель или см³), потраченного на эти 10 см³ раствора азотнокислого бария до появления стойкой пены, можно будет установить титр и число капель, соответствующее 1° жесткости.

Для большей точности каждое определение необходимо повторить (по рукописи автора).

Упомянутая показательная станция при Наркомздраве сконструировала специальную походную лабораторию с капельницами. Характер определений виден из следующей инструкции (таб. 18).

В примечаниях к этой инструкции-таблице¹ имеются следующие методические указания:

(1) По прибавлении хамелеона дают стоять пробирке с водой минут 15, затем наблюдают окраску. Испытание с дистиллированной водой дает неизменяющееся малиновое окрашивание.

(2) Крахмальный клейстер готовят так: в пробирку всыпают немного крахмала (на самом кончике перочинного ножа), доливают дистиллированной водой и кипятят на свечке, спиртовке и т. п. Клейстер употребляют свежий, не старше 2—3 дней.

(3) Рекомендуются, если возможно, предварительно бросить в пробирку кристаллик бертолетовой соли и нагреть воду до кипения, а далее поступать, как указано выше.

(4) Если жесткость воды выше 15—18°, то пробирку наливают до нижней черты испытуемой водой, а до верхней черты дополняют дистиллированной. В этом случае число градусов жесткости равно не числу капель, как указано выше, а удвоенному их числу. Например, если при прибавлении дистиллированной воды нужная пена получилась после 15 капель, то жесткость воды равна 30, а не 15° (как было бы, если бы испытуемая вода не разбавлялась).

(5) В случае присутствия в воде железа, которое дает такое же окрашивание, открытие азотистой кислоты не является достоверным (из листовки показательной станции).

Институтом подземных вод ГГРУ выработаны для химических полевых исследований два типа походных лабораторий — малая, для качественных определений и большая, для количественных определений (см. рукопись Палей «Походные химические лаборатории для анализа воды»).

При помощи малой лаборатории (представляющей небольшой ящик, который можно носить на себе вроде футляра для фотоаппарата на ремне) определяют качественно хлор, сероводород, азотистая и азотная кислоты, железо, сульфаты, жесткость, аммоний и реакция воды.

При помощи большой лаборатории с запасом реактивов на 100 анализов (400 определений) можно определить количественно хлор, связанную углекислоту, жесткость (по Блахеру) и сульфаты (по Блахеру). При лабораториях имеются инструкции для пользования ими.

¹ В таблице цифры в скобках.

Испытание на:	Количество испытуемой воды	Название реактивов	Колич. прибавляемая капля	Внешние признаки присутствия искомого вещества	
				1—удовлетворит.	II—подозрит.
Прозрачность	Полная пробирка	—	—	Совершенно прозрачная	Мутная
Цветность	Полная пробирка	—	—	Без окраски	Слабая желтоватая
Органические вещества	Половина пробирки	0,1% раствор хамелеона (1)	3	Малиновое окрашивание	Желто-буроватое окрашивание
Аммиак	Половина пробирки	Реактив Нessler Если при пробе на аммиак выпадает осадок, мешающий определению, следует прибавить перед определением 10—15 капель раствора септеновой соли (капельн. № 1)	3	Окрашивания нет	Бледно-соломенное-желтое
Азотистую кислоту	Половина пробирки	Серная кислота Иодист. калий 10% (Крахм. клейстер (2))	3 3 3	Окрашивания нет	Синее окрашивание (5)
Азотную кислоту	1 капля на стекло	Раствор дифениламина в серной к. с. лоте	2—3	Нет окрашивания или еле заметно синее окрашивание	Быстро появляющееся резкое окрашивание
Железо	Половина пробирки	Серная кислота Роданнштейн аммоний 10% (3)	3 3	Отсутствие или еле заметное окрашивание	Оранжево-красное окрашивание
Общая жесткость в нещелочных градусах	До верхней черты специальной пробирки (5, 5 см ³)	Мыльный раствор (4)	Смотря по ж. ст. к. п.	Прибавляют в пробирку столько капель № 9, чтобы при сильном взбалтывании образовалась устойчивая пена высотой около 1 см и более, не исчезающая минут 3. Число градусов жесткости равно числу капель № 9.	
Хлор	20 см ³ (в большой пробирке до черт)	Хромово-калиевая соль (10% раствор) Раствор лаписа	10 11	Капнув в пробирку 2—3 капли № 10, прибавляют затем по каплям № 11 при постоянном помешивании, пока окраска не начнет меняться с желтой на красно-бурую. Помешиваем на 2 число пошедших капель № 11, получим количество мг хлора на 1 л испытуемой воды. В удельно-тепловой воде содержание хлора до 20 мг, в подожерительной—20—50 и выше 50 мг—внегодной.	

ГЛАВА III

Минеральные воды

Ни одна из существующих до сих пор классификаций не исчерпывает всех признаков и характерных оттенков минеральных вод, несмотря на то, что классификации получаются достаточно сложными.

Таких классификаций предложено очень много по разным признакам: например французский геолог Добре делит минеральные воды по преобладанию составных частей на 7 групп, подразделяя последние на классы. Группы:

1. Источники с хлористыми металлами: а) с хлористым натрием, б) хлористым калием, в) с хлористым магнием.

2. Источники с содержанием сульфатов: а) с сернокислым натрием, б) с сернокислым кальцием, в) с сернокислым магнием, г) с сернокислым алюминием, д) с сернокислым железом, е) со смешанными сернокислыми соединениями.

3. Сернистые.

4. Со свободной серной кислотой.

5. Источники со свободной соляной кислотой.

6. С содержанием карбоната: а) с двууглекислым натрием, б) с двууглекислым кальцием, в) с двууглекислым железом, г) со смешанными углекислыми соединениями.

7. С содержанием силикатов.

Тан делит минеральные воды на 9 групп: 1) щелочно-углекислые; 2) землисто-углекислые; 3) железно-углекислые; 4) содержащие поваренную соль, — соляно-углекислые; 5) сернисто-углекислые; 6) щелочно-двууглекислые; 7) горькие; 8) галоидные; 9) термальные с температурой выше 24° С.

Карно делит воды на:

1. Чистые: а) сернистые (содовые и известковые), б) щелочные (кислые, двууглекислые содовые, двууглекислые известковые, двууглекислые смешанные), в) известковые (двууглекислые сульфатные), г) сульфатно-содовые и магнезиальные, д) хлористые.

2. Воды смешанные: а) хлористо-сульфатные, б) хлористо-двууглекислые, в) хлористо-сульфатные, г) хлористо-двууглекисло-сульфатные.

3. Воды специальные: а) железные, б) медные, в) литиевые, г) мышьяковые, д) иодо-бромистые.

4. Воды неопределенные.

Делоне в своей классификации различает следующие группы минеральных вод: 1) железистые источники (без свободной углекислоты), поверхностные и холодные, 2) соленые источники, 3) карбонатные источники, 4) сернистые источники и 5) альпийские источники.

А. П. Герасимов считает рациональной классификацию минеральных вод по геологическим признакам:

1) обыкновенные питьевые воды вадозного происхождения; 2) вадозные источники с температурой средней годовой данного места и минерализацией, зависящей от местного геологического состава; 3) вадозные теплые и горячие источники, обыкновенно химически индифферентные; 4) ювенильные источники; 5) кипящие источники, гейзеры и 6) смешанные источники.

Геффер делит минеральные воды на следующие группы: а) термальные, б) кислые, в) галоидные, г) сульфатные, д) серные, е) радиоактивные, ж) борные, з) кремнекислые, и) солянокислые, к) мышьяковые.

По распространенной среди врачей и гидротехников в СССР классификации лечебных источников, в основе которой лежит оценка фармакологического действия главных составных частей, различают следующие группы минеральных источников: 1) щелочные, 2) воды поваренной соли, 3) железистые, 4) мышьяковые, 5) горькие, 6) сернистые, 7) известковистые или землистые и 8) химически-безразличные.

Каждая из этих групп характеризуется какой-либо преобладающей составной частью, а в деталях каждая группа разделяется еще на классы.

1. Щелочные воды, характеризуясь преобладанием углекислого натра, углекислого кальция, хлористого натра и углекислоты, в зависимости от других солей, подразделяются на:

а) Углекислые, в которых углекислота как составная часть содержится в большом количестве (не менее 500 см³/л); например источники: Нарзан (1900 см³), Чвежилсе (1152 см³) и др.

б) Щелочно-углекислые с преобладанием углекислого натра и углекислоты; воды эти бывают теплые и холодные. Боржом с температурой 30° С при сухом остатке 6,1739 г, двууглекислого натра 4,7746 г.

в) Щелочно-соляные, в которых кроме указанных раньше солей содержится и поваренная соль; источники эти тоже теплые и холодные, например Ессентуки № 17, 18 и 4.

г) Щелочно-глауберовые, в которых преобладают глауберова соль и углекислый натр, хотя многие из этих вод содержат и поваренную соль: слепцовские (Михайловский).

2. Воды поваренной соли с главной составной частью, хлористым натрием, хотя хлор в воде может быть соединен и с

другими элементами, как кальций, магний, литий, бром, иод и др.; из газов углекислота и сероводород. Содержание поваренной соли в водах колеблется в довольно широких размерах. Воды этого типа бывают чаще холодные, но имеются и теплые и даже горячие: тменикаусские в Осетии 55°C .

По большему или меньшему содержанию хлористого натра различают:

а) Слабые воды поваренной соли с содержанием хлористого натра не более 15 г/л, например Старая Русса (13,1949 г), Славянские (10,944 г), Тменикаусский (5,3854 г) и Миргородский источники, Полтавского района, с сухим остатком 3,094 г.

б) Крепкие воды поваренной соли или рассольные — более 15 г хлористого натра на 1 л, например одесские лиманы; Куяльник (50,0028 г), Баскунчак (200,58 г), Илецкое озеро.

Слабые воды поваренной соли применяются для лечения и как питьевые, остальные только для ванн.

3. Железистые воды, в которых железо находится чаще всего в виде двууглекислой закиси (Fe HCO_3)₂ с содержанием свободной угольной кислоты и сравнительно редко в виде сернокислой закиси.

а) Железистыми водами принято называть лишь такие, в которых железа в виде двууглекислой соли закиси содержится не менее 0,03 г и до 0,1 г/л. Город Липецк, курские (сухой остаток 0,8454 г, двууглекислого железа 0,0747 г).

б) Железо-щелочные, с содержанием кроме железа щелочи, например мзымтинские (в сухом остатке 2,5920 г, закиси железа 0,0112 г, окиси натра 0,8998 г).

в) Железо-соляные, например столыпинские (в сухом остатке 3,6744 г, закиси железа 0,0726 г, хлористого натра 2,2069 г), Руая (сухой остаток 4,6860 г, закиси железа 0,0738 г, хлористого натра 1,6180 г).

г) Железо-известковые, например згильский в Осетии (сухой остаток 1,9857 г, двууглекислого закисла железа 0,0342 г и углекислоты 1,4108 г), ямаровские (табл. 5), Железноводск (табл. 3), Пирмонт (в сухом остатке 2,7132 г, закиси железа 0,0771 г и углекислоты 1,1370 г).

е) Железистые воды с сернокислой закисью железа, например купоросный источник—Змеевский (в сухом остатке 7,0940 г, сернокислого окисла железа 1,397 г и сернокислой закиси железа 0,428 г).

4. Горькие воды, главная составная часть которых сернокислый магний, а затем сернокислый натрий; во многих водах имеется и поваренная соль, как например в баталинской воде на Кавказе до 1,98 части на 1 000 частей. В этих водах угольная кислота содержится или в небольшом количестве или совсем отсутствует.

5. Сернистые воды носят такое название по содержанию в них сероводорода и сернистых металлов (натрия, кальция, магния, калия). Содержание сероводорода, связанного или свободного, в водах различно в зависимости от атмосферного давления, например связанного H_2S на 1 л воды: Мацестинские источники — 0,08 г, Александро-Ермоловский — 0,004 г, Кумогорский — 0,05 г, Серноводск - Терского района — 0,092 г и Галгинский — 1,23 г, свободного по весу от следов до 0,017 г, (Пятигорские), сергиевские — 0,079 г, мацестинские — 0,1817 г. Сернистых металлов тоже содержится в водах немного: от следов на 1 000 частей (Горячеводск) до 0,1352 г, сернокислого натра в источниках Акки при сухом остатке 3,1372 г.

Другие содержат так много извести, что при оценке их химического действия нельзя не иметь в виду и этот элемент (Пятигорские).

Сернистые воды делятся на горячие, теплые и холодные. Горячие источники имеют иногда довольно высокую температуру, например паратунские ($70^{\circ}C$) и нагатиинские ($80^{\circ}C$), на Камчатке; пришибинские ($55-90^{\circ}C$), горячеводские ($81-90^{\circ}C$).

Теплые источники: псекупские ($49^{\circ}C$), пятигорские ($46^{\circ}C$), Бареж ($44^{\circ}C$), мацестинские ($21-23^{\circ}C$).

Холодные источники: сергиевские ($8^{\circ}C$), бусские ($10-12^{\circ}C$), кеммерские ($6-7^{\circ}C$).

6. Известковые и землистые воды с преобладанием в составе углекислой или сернокислой извести. Наряду с этими солями имеются и магниевые соли. Во многих из этих групп вод содержится также угольная кислота и даже иногда в большом количестве.

Примером вод этой группы могут служить Бирштаны (в сухом остатке 7,6529 г, углекислой извести 2,0745 г, сернокислой извести 1,5490 г), Железноводск.

7. Мышьяковистые воды. Мышьяк содержится во многих минеральных источниках, но названия «мышьяковистых вод» заслуживают лишь те, которые содержат мышьяк в количестве, достаточном для лечебного действия, и не менее 0,003 г/л. Лучшими мышьяковистыми водами следует считать те, в которых мышьяк в этом виде легче усваивается больными.

Представителями таких вод можно указать с содержанием мышьяковистого натра: Нарский Западный (Северная Осетия) с содержанием 0,00516 г мышьяковокислого натра на 1 л. Источник находится на высоте 1 700 м над уровнем моря с притоком в несколько тысяч ведер в сутки.

8. Химически безразличные воды, или акратотермы, часто имеют составных плотных и газовых частей так мало, что едва ли можно их считать за минеральные по установленной номенклатуре. У большинства безразличных источников

на 1 л воды содержится менее 1 г солей. Таким образом вода акратотерм характеризуется с лечебной стороны не минерализацией в количественном отношении солей, а наличием какого-либо отдельного элемента — газового или солевого — в качественном отношении: углекислого натра, углекислоты, кислорода, азота, сероводорода, эманации радия и др., которые производят на больных очень благоприятный лечебный эффект.

Вода акратотерм большей частью необыкновенно чиста, очень прозрачна, нередко с легким синевато-зеленым оттенком, не имеет запаха, если отсутствует сероводород, мягка.

К этой группе источников принадлежат: бананинские горячие с температурой 100°C и твердых частей 0,8162 г, имеется и фосфорная кислота 0,0007 г; туркинские горячие с сухим остатком 0,4885 г, абастуманские с сухим остатком 0,5241 г, киргизские и казакские арасаны.

Радиоактивность — понятие, вошедшее в обиход сравнительно недавно. «Под этим термином понимают содержание в воде тех радиоактивных веществ, которые испускают различного рода лучи, обладающие некоторыми свойствами, резко отличающими их от других тел. Лучи эти, представляющие в главной своей части поток материальных частиц, а не световые колебания, ионизируют воздух, не отклоняются преломляющими средствами от своего первоначального направления, вызывают флюоресценцию некоторых химических соединений и пр. Не входя в большие подробности, не характеризуя всех типов, в число которых входят и атомы газа гелия, отметим, что важнейшим свойством этих своеобразных лучей является их способность ионизировать воздух, так как на этом именно свойстве основана возможность количественного определения радиоактивных веществ в воде источников. Дело в том, что лучи радиоактивных веществ, проходя через воздух (или другую газовую среду), расщепляют его молекулы, отделяя от них свободные ионы, которые сообщают воздуху известную электропроводность и притом тем большую, чем больше имеется таких свободных ионов. Таким образом весь вопрос сводится к определению электропроводности воздуха, ионизированного под влиянием радиоактивных веществ. Ясно, что степень ионизации воздуха пропорциональна степени радиоактивности исследуемого тела, и вместе с тем очевидно, что скорость разряджения электрического заряда пропорциональна степени ионизации воздуха.

Исследование ведется в особых приборах, принцип которых заключается в следующем. В металлическом сосуде, наполненном воздухом, помещается так называемый рассеиватель, т. е. изолированное тело, заряженное электричеством и соединенное с электроскопом, для наблюдения за первоначальной силой заряда и скоростью ее уменьшения. В этот же сосуд вводится исследуемое вещество, например вода, содержащая радиоактивные тела,

под влиянием которых происходит ионизация воздуха и возникает электропроводность последнего. Данный рассеивателью заряд, величина которого определена электроскопом, начинает более или менее быстро спадать, и скорость эта может быть учтена как в отношении ее величины (по электроскопу), так и в отношении времени (по часам). Кроме этих двух величин необходимо еще знать емкость каждого прибора, определяемую для него раз навсегда.

Для изображения степени радиоактивности какого-нибудь тела в СССР пользуются методом австрийского ученого Махе, который измеряет ее силой тока, проходящего от рассеивателя через ионизированный воздух. Сила эта, пропорциональная произведению из емкости и величины падения заряда в вольтах и обратно пропорциональная времени наблюдения, выражается в электростатических единицах (i). Ввиду того что таким путем для минеральных вод обыкновенно получаются очень малые цифры, Махе предложил умножать конечный цифровой результат на 1 000. Такая единица Махе обозначается $i \times 10^3$ и относится к 1 л жидкости или газа.

Во Франции радиоактивность выражают обыкновенно в миллиграмм-минутах, понимая под этим то количество эманации, которое развивается 1 мг бромистого радия в 1 мин.

На международном съезде по радиологии в 1910 г. в Брюсселе за единицу радиоактивности принято то количество эманации, какое находится в равновесии с 1 г металлического радия. Такая единица получила название «кюри»; одна тысячная доля такой единицы называется милликюри, а одна миллионная — микрокюри. Для выражения обычно очень малой радиоактивности минеральных вод пользуются в качестве единицы миллимикрокюри, т. е. одной миллиардной долей кюри.

Даем соотношения между вышеприведенными единицами:

1 кюри = 13 600 000 миллиграмм-минут = 2 150 — 2 670 миллионов единиц Махе ($i \times 10^3$).

1 миллимикрокюри = 0,0137 миллиграмм-минут = 2,15 — 2,67 $i \times 10^3$,
1 миллиграмм-минута = 73,4 миллимикрокюри = 141 — 182,5 $i \times 10^3$,
1 $i \times 10^3$ (одна единица Махе) = 0,00548 — 0,00632 миллиграмм-минут = 0,370 — 0,465 миллимикрокюри.

Из этой таблички видно, что отношение единицы Махе ($i \times 10^3$) к другим единицам далеко неточно (А. П. Герасимов).

Г Л А В А IV

Виды подземной воды в природе

В природе подземная вода встречается в парообразном, жидком и твердом состоянии.

Парообразная вода представляет либо пары, адсорбированные частицами породы, и тогда она называется гигроскопической водой, либо свободно передвигающейся в пустотах горной породы пары воды. Гигроскопическая вода окружает частицы породы в виде изолированных молекул воды, которые иногда сливаются между собой, образуя сплошную пленку воды толщиной в 1 молекулу (Родевальд, Лебедев). В этом случае влажность породы носит название максимальной гигроскопичности. Переход водяных паров в гигроскопическую воду сопровождается выделением тепла, причем гигроскопическая вода передвигается из одних слоев в другие, переходя в свободные водные пары. Митчерлих рекомендует определения гигроскопичности почв делить на две отдельные операции:

1) всю воду, капиллярную вместе с гигроскопической, извлекать в вакуумэксикаторе, над раствором фосфорного ангидрида, доводя разрежение несколько раз до 2—3 см ртутного столба;

2) для определения гигроскопической воды вполне высушенную почву подвергать увлажнению при помощи подобной же манипуляции, но над 10% раствором серной кислоты, заменяя несколько раз раствор свежим 10%; этот второй опыт продолжать несколько дней для возможно точного достижения того количества гигроскопической воды, которое соответствовало относительной влажности, устанавливаемой 10% раствором.

Митчерлих сознательно не доводил атмосферу пара до насыщения, потому что по его опытам вблизи точки насыщения небольшие случайные местные охлаждения вызывают осаждение росы, каковая конечно не может считаться гигроскопической водой. Искомые количества влаги определялись каждый раз из взвешиваний, произведенных до и после осушения или увлажнения.

Митчерлих между прочим дает следующие величины гигроскопичности исследованных им 10 прусских почв в процентах:

1. Торфяная почва	12,74	8. Глинистая супесь	0,78
2. Саловая	1,88	7. Песчаный суглинок	1,95
3. Гумусовый песок	1,07	8. Суглинок	1,34
4. Песок (подпочва № 3)	0,35	9. Глинистая почва	1,25
5. Песчаная почва	0,57	10. Тяжелая глина	11,91

Некоторые данные относительно гигроскопичности различных русских черноземов находим у Адамова; вот средние из его исследований:

Глинистые черноземы	8,73%
Суглинистые	7,16%
Супесчаные	7,07%
Песчаные	7,33%

Лоске приводит следующие общие выводы относительно гигроскопической особенности почв.

1. Поглощение водяных паров из воздуха почвой сопровождается выделением кроме скрытой теплоты испарения так называемой теплоты смачивания, уменьшающейся по мере поглощения паров и наконец прекращающейся, когда почва вполне насыщена гигроскопической влагой.

2. Гигроскопическая способность почвы находится в тесной зависимости от общей поверхности всех почвенных частиц (Митчерлих), но повидимому не есть величина исключительно пропорциональная этой последней и несомненно обуславливается и другими физико-химическими свойствами почвы.

3. Хотя почвы с высоким содержанием глины и ила в общем и обнаруживают значительную гигроскопичность, однако попадают и такие, которые, несмотря на высокое содержание глины, все-таки сравнительно слабо поглощают водяные пары из воздуха.

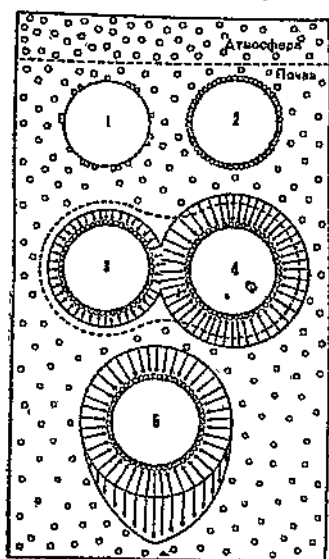
4. Кроме глины почвы обыкновенно содержат (конечно в различных количествах) некоторые химические составные части с весьма сильно выраженной гигроскопичностью, как-то: цеолиты, гидраты, кремнезем, железо, алюминий, гумусовые вещества, гигроскопические минеральные соли и пр. По мнению Лоуриджа, эти составные части играют весьма важную, быть может даже решающую роль в гигроскопической способности почвы.

5. Гигроскопическая влага почвы не может принести прямой пользы растениям в смысле непосредственного снабжения их необходимой водой. Однако высокий коэффициент гигроскопичности почвы все-таки может иметь нередко довольно существенное косвенное значение для растений, предотвращая поглощением значительных количеств влаги из воздуха возможность слишком быстрого высыхания и сильного накаливания почвы в засушливых местностях, подверженных действию сухих и жарких ветров.

Понимая под гигроскопической влагой ту, которая поглощается из паров воздуха при относительной влажности ниже 100%, мы никоим образом не должны смешивать с ней влаги, осаждающейся из воздуха при достижении насыщения на поверхности почв и всяких тел, охлажденной ниже «точки росы». Этот вид осадения может сообщить почвам гораздо большие количества жидкой влаги.

Жидкая вода бывает в виде пленочной, капиллярной и гравитационной.

Пленочная (ламинарная) вода образует пленки вокруг от-



дельных частиц породы в том случае, если воздух в породе насыщен водяными парами. Пленочная вода передвигается из слоев, имеющих более толстые пленки, в слои с более тонкой пленкой. Влажность слоя, которая соответствует максимальной толщине пленок, Лебедев называет максимальной молекулярной влагоемкостью. Пленочная вода не подвержена гидростатическому давлению.

Капиллярная вода заполняет капиллярные пустоты в породе. Эта вода распространяется в породе, независимо от влияния силы тяжести, во всех направлениях от капельно-жидкой воды, образующей оформленный водоносный горизонт.

Гравитационная вода передвигается под влиянием силы тяжести, воспринимая гидростатическое давление. Можно различить следующие виды гравитационной воды: а) подвешенную воду, которая удерживается в породе в силу ее влагоемкости; это бывают обычно почвенные воды; б) нисходящую воду, подверженную воздействию силы тяжести и стекающую в породе сверху вниз или по поверхности водоупорного пласта. Как частный случай гравитационных вод можно указать еще и воды восходящие, движение которых как бы совершается вопреки действию силы тяжести. Эти воды поднимаются под

действием гидростатического, газового или парового давления в замкнутых водоносных пластах.

Вода в твердом состоянии встречается в породах в виде мерзлоты и льда (пещерного, каменного ископаемого).

Кроме того в природе существуют еще воды, связанные либо химически с различными минеральными соединениями, либо кристаллизационно. Таковы мусковит ($H_2K_2AlSiO_4$), каолин ($HK_2Al_2Si_2O_5$), гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и многие другие.

Эти воды могут быть либо магматического происхождения (мусковит), либо входят в состав минералов при процессах выветривания, гидрации и т. п.

ГЛАВА V

Гидрогеологические свойства горных пород

Горные породы в отношении вод можно разделить на две основные группы: на породы, для воды проницаемые, и породы, не пропускающие воды, или водоупорные.

Под именем водопроницаемых пород подразумеваются такие породы, которые позволяют воде свободно продвигаться в пустотах этой породы. Водопроницаемость обусловлена либо тем, что порода зерниста (пески), и таким образом вода может просачиваться (фильтроваться) по промежуткам между отдельными зернами; либо порода массивна (мрамор, гранит), и тогда вода продвигается по имеющимся в породе трещинам или иным пустотам, каково бы их происхождение ни было.

Водоупорными называются породы, практически не пропускающие через себя воду. Водоупорность может быть обусловлена массивностью, сплошностью, монолитностью породы (мрамор, гранит) или ее мелкозернистостью (глина), хотя надо заметить, что водоупорность — понятие относительное. Почти все горные породы в той или иной степени водопроницаемы.

Между породами водоупорными и водопроницаемыми существуют различные переходы, так что можно выделить переходную группу пород полупроницаемых. Так например песок для воды проницаем, но глинистый песок — полунепроницаем; гранит для воды непроницаем, но выветрелый гранит полупроницаем.

От водопроницаемости надо отличать влагоемкость пород, причем различают два вида влагоемкости: влагоемкость полную и абсолютную.

Под полной влагоемкостью подразумевается способность породы вместить в себя путем заполнения всех пустот определенное количество воды. Так например если мы заполним стакан сухим песком, то мы можем в песок влить еще некоторое количество воды, довольно значительное, в общем до 35—40% объема имеющегося в стакане песка. Если бы мы снабдили стакан краном и дали бы влитой нами воде свободно стекать из песка, то не вся та вода, которая влита в песок, из него вытечет: часть воды остается в песке, несмотря на наличие свободного стока.

Вот эта способность песка (а также и других горных пород) удерживать капиллярную и ламинарную воду в себе при наличии свободного стока и носит название абсолютной влагоемкости.

То количество воды, которое представляет разницу между полной и абсолютной влагоемкостью, носит название *удельной водоотдачи*.

Таким образом, если мы имеем в природе 1 м³ песка, насыщенного до полной влагоемкости, которая составит примерно 40%¹ м³ или 400 л, а абсолютная влагоемкость этого песка будет 15%, то мы из этого 1 м³ песка в порядке удельной водоотдачи можем получить только 250 л воды из имеющихся в нем 400 л. Остальные 150 л мы не сумеем извлечь из породы, и они в ней останутся.

Наиболее влагоемкими являются очень мелкозернистые или мелкоземистые породы, например глина. Их полная влагоемкость достигает 50—60%, удельная водоотдача их крайне ничтожна — близка к нулю, следовательно их полная и абсолютная влагоемкости почти равны.

Пески менее влагоемки, причем чем грубее песок, тем меньше его абсолютная влагоемкость и тем больше его удельная водоотдача.

От влагоемкости пород надо отличать *влажность пород*. Под именем влажности подразумевается состояние породы в данный момент, независимо от количества насыщающей ее влаги. Влажность определяют обычно в процентах к весу породы.

Говоря о гидрогеологических свойствах зернистых горных пород, приходится следовательно прежде всего иметь в виду их *скважность* или *пористость*, так как от количества пор и от их размеров зависят и абсолютная влагоемкость и удельная водоотдача этих пород.

Пористость пород должна выражаться в процентном отношении количества пустот к общему объему породы. Для того чтобы яснее представить себе пористость пород, производили различные опыты, так например, заполняя мерный сосуд песком, приливали в него воду; по количеству влитой в породу воды можно было сделать заключение о проценте пустот в этой породе. Однако, повторяя с одним и тем же песком опыт несколько раз, постоянно получали различные цифры пористости, хотя бы и не особенно отличавшиеся друг от друга.

Определение пористости производится обычно следующими приемами. Пористость сыпучих тел проще всего установить так: в цилиндрическую мензурку емкостью в 200 см³ наливают 100 см³ воды, в другую мензурку емкостью 100 см³ насыпают² исследуемое вещество до отметки 100 и затем пересыпают его осторожно и постепенно в мензурку с водой (а ни в коем случае не обратно во избежание того, чтобы в породе не остались пузырьки воздуха)¹. Вода в мензурке поднимается, но не на 100 см³, а меньше, предположим до высоты 160. Разность 200—160=40 дает в процентах пористость. Если на мензурке

¹ Уплотняя по-разному в мензурке вещество (постукиванием, трамбовкой), получите разные данные.

нанести обозначения в верхней ее части, поместив 0 против 200, тогда можно просто по стоянию уровня воды в мензурке отсчитывать пористость в процентах. Если количества воды и сыпучего тела берутся другие, тогда надо для получения процента пористости сделать соответствующие перечисления.

Пористость твердых тел устанавливается по формуле:

$$p = 100 \left(1 - \frac{\delta_1}{\delta}\right),$$

где p — пористость, δ_1 — объемный (кажущийся удельный) вес породы, а δ — удельный вес породы.

(Определение пористости глинистых пород см. в главе VI).

Были сделаны попытки изучить пористость искусственной породы, в которой зерна были представлены правильными геометрическими шарами. Заполняя объем такими шарами, заметили, что количество этих шаров, вмещающееся в данном объеме, может быть различным в зависимости от того, какое придать расположение этим шарам, причем колебание в пористости создаваемой таким образом искусственной породы достигает от 26 до 47,6%.

Если укладывать шары таким способом, что центры их будут представлять вершины куба, или, другими словами, каждый шар будет ограничен от другого системой плоскостей, пересекающихся в форме шестигранника, то мы получим наиболее рыхлое (47,6%) расположение шаров (рис. 14).

Если же мы будем укладывать шары таким образом, что центры их представят вершины тетраэдра и каждый шар будет ограничен касательными плоскостями, дающими в пересечении фигуру ромбического додекаэдра, то мы получим наиболее плотное сложение шаров с пористостью в 26%.

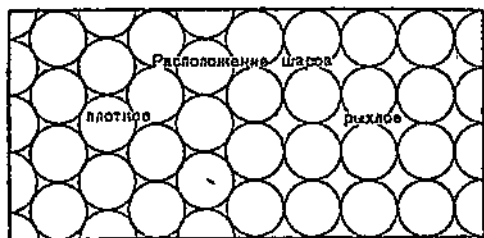


Рис. 14.—Схема рыхлого и плотного расположения геометрически правильных шаров.

Возможны промежуточные положения, в которых пористость будет укладываться между этими предельными цифрами.

Каких бы размеров шары мы ни брали, но если шары все одного и того же диаметра, то результат их укладки останется один и тот же. Другими словами, пористость породы не зависит от размеров зерен, а исключительно зависит от способа их кладки. Если мы будем производить опыт, смешивая различные шары, большие и маленькие, тогда мы конечно можем получить весьма малую пористость, так как отдельные поры между крупными шарами будут закупорены мелкими шарами. Более или менее однородные пески дают пористость около 30—35%, но галечники с песком обладают общей пористостью около 15—20%.

Природные пески конечно не представляют таких идеальных условий, как геометрически правильные шары, поэтому сложение их в большей или меньшей степени случайно. Замечено, что чем мельче пески, тем зерна их более шарообразны, и чем они грубее, тем эти зерна больше по своей форме отличаются от шара, переходя в различные многогранники и плитки. В этом случае возможны всякие совершенно случайные расположения песчинок в отношении друг друга, и надо думать, что в отдельных частях одной и той же породы пористость может быть довольно различной.

Тем не менее необходимо иметь представление не только о пористости зернистой породы, но и о крупности ее зерен. Если пористость породы не зависит от величины зерен, то размеры или просветы пор стоят в связи с размерами зерен, а свобода движений воды в порах породы зависит от размеров пор. Чем поры мельче, тем больше трения испытывает вода в своем движении в породе, и следовательно тем медленнее она продвигается в породе. И наоборот, чем поры крупнее, тем трение меньше и тем свободнее может продвигаться вода.

Для того чтобы иметь ясное представление, из какого размера зерен сложен данный песок, производят так называемый механический анализ песка.

Этот анализ заключается в том, что пески просеивают через систему сит различного диаметра в пределах от 10 до 0,25 мм. Каждую порцию песка, задержавшуюся на том или ином сите, взвешивают и, перечисляя на проценты к общему весу пробы, получают представление об относительном количестве зерен разного диаметра в данном песке.

Если оказывается, что через сито диаметром 0,25 мм прошло более 10% песчинок, то ведут дальнейшее разделение и этих песчинок на более мелкие порции или фракции, причем эти мелкие фракции разделяют при посредстве воды.

Существует несколько способов водного механического анализа.

Одни из этих способов основаны на отстаивании взмученных частиц в воде. Так как зерна разной величины будут падать на дно сосуда, в котором взмучен исследуемый материал, неодинаково быстро, то, взмутивши воду и давши ей отстояться несколько секунд, мы можем слить часть этой воды со взвешенными в ней зернами. Прибавив затем чистой воды в наш сосуд до первоначального объема и повторяя взмучивание и повторное сливание части взвешенных зерен через различные промежутки времени, например сперва через 90 сек., затем через 60, 30, 10 сек., мы разобьем наши пробы на ряд фракций определенного размера зерен. При помощи мерной линейки под микроскопом мы можем установить размер зерен каждой из наших фракций и таким образом установить дальнейшее разделение той части взятой нами пробы, где размер частиц менее 0,25 мм в диаметре.

Другой принцип водного механического анализа заключается в том, что пробу исследуемой породы помещают в проточную воду, скорость течения которой может быть регулирована в самом точном отношении. Пропуская воду со все возрастающей скоростью, мы постепенно будем вымывать из нее одни частицы за другими. Если мы соберем частицы, отмытые потоками различной скорости, взвесим их и перечислим на проценты к общему весу, то мы таким образом можем получить представление о том, из каких размеров зерен сложена наша порода. Есть еще и другие способы водного механического анализа.

Американец Аллан Газен делал опыты над скоростью просачивания воды через различные пески. Свои опыты он производил отчасти с песками природными, представляющими естественные смеси разнородных зерен, отчасти с фракциями определенного диаметра, полученного отсеиванием и отмучиванием из естественных смесей. Аллан Газен пришел к заключению, что всякую естественную песчаную породу, состоящую из разнообразных зерен, можно заменить породой искусственной, состоящей из зерен одного определенного диаметра, причем скорость просачивания в этой последней будет точно такая же, как и в естественной породе. Если мы естественную породу разобьем на фракции при помощи сит и выберем диаметр того сита, которое задержало на себе 90% песчинок и пропустило 10%, то зерна такого диаметра будут действовать на просачивание воды так, как вся эта природная смесь. Этот диаметр сит, пропускающий только 10% породы, Газен назвал действующим диаметром, причем оказалось, что для расчетов знание действующего диаметра имеет огромное значение. Если пропускать воду через 2 сорта песка, из которых у одного действующий диаметр равен 0,1 мм, а у другого 0,2 мм, то скорость движения воды во втором случае будет в 4 раза большей, чем в первом; другими словами скорости просачивания относятся между собой как квадраты действующих величин.

Так как поры между песчинками очень мелкие, то в них всегда наблюдается явление капиллярного подъема воды. Капиллярный подъем воды тем выше, чем мелкозернистее песок. В крупнозернистых песках капиллярный подъем достигает всего немногих сантиметров, а в глинистых породах 160—180 см и в некоторых лёссовидных породах 250—300 см и более¹.

Многочисленные наблюдения показывают, что скорость и высота капиллярного поднятия находятся в зависимости от состава почвы, структуры почвы, ее петрографического состава, содержания солей и наконец влажности и температуры, причем выяснены в общем следующие закономерные соотношения:

¹ Для грубых общих соображений о предполагаемой высоте капиллярного подъема можно пользоваться формулой: $h = \frac{30}{d}$ мм, где d — диаметр капилляра в мм.

1) скорость капиллярного поднятия воды в грубозернистых почвах больше, чем в мелкозернистых, но высота поднятия тем значительнее, чем тоньше частица почвы, причем поднятие воды идет тем медленнее, чем выше она поднялась, и такое замедление в поднятии идет тем скорее, чем грубее зерно почвы;

2) при величине зерен около 2—2,5 мм диаметром капиллярное поднятие воды почти незаметно и даже совершенно прекращается;

3) при комковатой структуре почвы, в особенности рыхлой, скорость поднятия и высота понижаются сравнительно с порошковой почвой и тем сильнее, чем крупнее комки; при плотном же залегании комочков существенной разницы в окончательной высоте поднятия воды не будет;

4) высота подъема воды увеличивается по мере уплотнения почвы; поры определенной величины (вероятно 0,05—0,1 мм) проводят воду скорее всего; между тем как при более узких капиллярных порах вследствие усиления трения и прилипания, а также при более широких порах вследствие возрастания силы тяжести капиллярное поднятие воды замедляется;

5) из составных частей почвы скорее всего поднимают воду кварц, затем гумус и наконец глина; но зато присутствие тонких глинистых частиц и гумуса в почве значительно повышает высоту капиллярного поднятия, причем первые даже больше последнего;

6) присутствие растворимых солей в почве замедляет поднятие воды и сильнее в том случае, если соли не поглощаются почвой (например поваренная соль), чем в том, когда они поглощаются;

7) камни, находясь в почве, замедляют капиллярное поднятие;

8) при чередовании различных по механическому составу почвенных горизонтов капиллярное поднятие идет гораздо легче из слоя крупнозернистого в мелкозернистый, чем обратно. При расположении крупнозернистых слоев на мелкозернистых вода будет подниматься только в том случае, если слои с более крупными капиллярами будут находиться на той высоте, на которую они сами по себе способны поднимать воду; если же эти слои будут находиться выше этой высоты, то вода в них совершенно не пойдет;

9) на капиллярное поднятие воды в почве влияют также влажность и температура последней;

Так поднятие воды по капиллярам из влажной почвы в сухую может иметь место лишь в том случае, если влажность первой почвы выше 50% ее полного насыщения. По мере увеличения степени влажности почвы вода поднимается в ней быстрее. По Кингу, даже небольшие дожди, смачивая сухую почву, повышают в ней быстроту поднятия воды, способствуя таким образом усиленному притоку ее снизу вверх. Верно ли последнее предположение, пока еще не решено, но действительно нередко при-

ходится наблюдать как бы оживление растительности после незначительных дождей.

Из вышеизложенного видно, что величины, найденные для капиллярного поднятия влаги в воздушно-сухой почве (как это обыкновенно практикуется в лаборатории), не применимы к полевым условиям: в последнем случае вода движется в более или менее увлажненной среде.

При повышении температуры почвы скорость капиллярного поднятия воды несколько увеличивается, но зато окончательная высота поднятия уменьшается. По Митчерлиху это явление находится в зависимости от уменьшения удельной вязкости воды при повышении ее температуры.

Глубина, с которой может подниматься вода, ограничена и, хотя предельная величина в точности неизвестна, по некоторым предположениям, будучи различной для различных почв, в общем сравнительно незначительна, не превышая например, по Ротмистрову, 1 м. Атмосферные осадки, просочившиеся глубже этого предела, называемого Ротмистровым критическим горизонтом, уже не могут подняться вверх капиллярным путем.

Но найденная Ротмистровым величина очевидно относится только к условиям опыта на Одесском опытном поле. По данным других исследователей капиллярная вода, хотя и очень медленно, в зависимости от рода почв, может подняться и выше 1 м или не достигать этой высоты (например в крупном песке). Так предел поднятия воды в наиболее мелкозернистых почвах, по лабораторным исследованиям, лежит на высоте около 2 м. В естественных условиях, по наблюдениям Измаильского и Высоцкого, можно допустить, что в плотных мелкозернистых почвах вода капиллярно может подниматься, хотя бы очень медленно, до высоты около 6 м.

По Коссовичу в начале поднятия вода движется в почве (черноземе) со скоростью около 1—2 см в 1 мин.; высоты в полметра вода достигает в 2—3 дня и движется на этой высоте со скоростью около 1 см в 1 час; поднятие воды до высоты 1 м требует уже от 2—3 месяцев при скорости движения в последнее время менее 1 см в сутки; наконец для достижения высоты 2 м необходимо около года, причем скорость движения воды на этой высоте равняется нескольким миллиметрам в сутки. По скорости поднятия воды на различных высотах можно приблизительно определить количества воды, доставляемые почвами на ту или другую высоту, считая при этом, что для смачивания известного объема почвы (чем выше, тем меньше) требуется от 25 до 15% воды по объему (Лоске).

Пористость массивных пород зависит от системы трещин, которые в них развиты. Следует различать породы свежие, которые нормально обладают минимальным количеством трещин, и породы, подвергшиеся выветриванию. В последних количество

трещин может возрасти очень значительно. Для примера можно привести следующие цифры:

	Пористость в %
Мелкозернистый гранит	0,05—0,7
Крупнозернистый "	0,3—0,9
Снегит	0,5—1,4
Габбро	0,6—0,7
Базальт	0,6—1,3
Базальтовая лава	4,4—5,6
Песчаники	3,2—15,2
Рыхлые песчаники	6,9—20,9
Карарский мрамор	0,1—0,2
Известняк	0,6—10,9
Мел	14,4—43,9

Так как 1% пористости соответствует 10 л объема в 1 м³, то следовательно в 1 м³ мелкозернистого гранита может содержаться от 0,5 до 7 л воды, а в базальтовой лаве от 44 до 56 л.

ГЛАВА VI

Способы определения пористости грунтов

М. М. Решеткин

Одним из основных элементов характеристики гидрологических и в частности фильтрационных свойств грунтов является пористость (порозность, скважность). Обычно пользуются коэффициентом пористости, под которым понимают отношение суммарного объема пор — c к объему породы в ее естественной структуре — a , т. е.

$$p = \frac{c}{a}, \quad (1)$$

но так как

$$a = b + c, \quad (2)$$

где b — объем зерен и частиц, слагающих породу, то при определении пористости помимо равенства (1) можно пользоваться и следующими уравнениями:

$$p = \frac{c}{b + c}, \quad (3)$$

$$p = \frac{a - b}{a}. \quad (4)$$

Если же принять во внимание, что:

$$a = \frac{f}{\delta_1}, \quad (5)$$

$$b = \frac{f}{\delta}, \quad (6)$$

$$c = f \frac{\delta - \delta_1}{\delta \delta_1}, \quad (7)$$

где f — вес испытуемого образца породы в сухом состоянии, δ_1 — кажущийся удельный вес испытуемого образца породы ($\delta_1 = f : a$),

δ — удельный вес испытуемого образца породы, — то вместо равенств (1), (3) и (4) можно применить следующее уравнение:

$$p = 1 - \frac{\delta_1 \text{ (кажущийся уд. вес породы)}}{\delta \text{ (уд. вес породы)}} \quad (8)$$

Какие именно определения требуется произвести при пользовании тем или другим равенством, видно из нижеследующего: Формула (1) требует определения объема пор и объема породы, Формула (2) требует определения объема пор и объема зерен, Формула (3) требует определения объема породы и объема зерен.

Формула (4) требует определения веса породы, объема породы и удельного веса породы.

Таким образом дело сводится к нахождению значений для некоторых из пяти исходных величин: a , b , c , f и δ , причем в настоящем случае нет основания обсуждать способы нахождения двух последних.

Определение объема грунта

Вопрос решается линейным измерением, если образцу придана какая-либо правильная форма; иначе дело обстоит, если необходимо определить объем образца неправильной формы.

Путем распиливания и шлифования образцу может быть придана форма куба или параллелепипеда. При наличии соответствующего оборудования это вполне применимо как к породам изверженным, так и к осадочным, обладающим достаточной степенью цементации. Этот же способ может быть использован в отношении некоторых плотных глин, обладающих большой связностью. Для пород глинистых и суглинистых дело упрощается возможностью взятия образцов с ненарушенной структурой и определенного объема в поле. С этой целью сконструировано немалое количество приборов, основной частью которых является цилиндр с острым нижним режущим краем, вертикально вдавленный в грунт. Сравнительная оценка результатов работы приборов различных конструкций пока имеет спорный характер. Можно дать поэтому лишь некоторые общие соображения.

Предпочтение следует отдать приборам, обеспечивающим своим вспомогательными частями строго вертикальное погружение цилиндра в грунт. Этому требованию например отвечает прибор Геммерлинга-Сабанина. Невыполнение этого условия вызывает безусловное деформирование образца. Удовлетворительная работа приборов имеет место для глинистых, суглинистых и супесчаных грунтов, обладающих средней влажностью. Излишняя влажность так же, как и чрезмерная сухость, способствует возникновению деформаций. Взятие образцов песков возможно в тех случаях, когда они обладают некоторой связностью. Наличие в грунтах гравия, стяжений или корней растений приводит к получению неудовлетворительных образцов. В случаях сухости глинистых грунтов возможно их искусственное увлажнение; не следует только забывать о недопустимости излишнего увлажнения. Искусственное увлажнение можно также применять для придания связности пыльным пескам.

Определение объема образца, имеющего неправильную форму, возможно путем погружения его в мензурку, наполненную водой. Объем вытесненной воды и дает нам объем образца. Цилиндрическая мензурка предпочтительнее перед конической; большая же точность возможна применением волюмометров (объемометров). Последние представляют приборы различной конструкции; существенными частями их является сосуд, в который помещается испытуемый образец, и бюретка, из которой приливается вода. В иных случаях прибор имеет отъемную крышку с узким градуированным горлышком.

Следует однако оговориться, что определение объема образца по объему вытесненной воды возможно лишь для пород, медленно поглощающих воду. Таким образом этот способ неприемлем для рыхлых и крупнопористых пород. При погружении например куска лёсса в воду происходит бурное выделение воздуха, содержащегося в породе, не только после погружения, но и в течение самого погружения, как бы быстро оно не производилось. Недобудства эти можно устранить, покрыв образец породы каким-либо веществом, не пропускающим воду. Обычно в этих целях применяется парафин, что было предложено впервые Повидимому Тетмайером. Объем испытуемого образца определяется в таких случаях по равенству:

$$a = A - \frac{F - f}{\delta_p}, \quad (9)$$

где A — объем запарафинированного образца, F — вес запарафинированного образца и δ_p — удельный вес парафина.

При желании получить точные результаты можно определять объем не только волюмометрами, но и взвешиванием запарафинированного образца в воде, и тогда уравнение (9) примет следующий вид:

$$a = F - F_1 - \frac{F - f}{\delta_p}, \quad (10)$$

причем F_1 — это разность между весом запарафинированного образца и весом вытесняемой им воды.

Для определения объема рыхлых пород в лабораторных условиях применим лишь один способ — насыпание породы в градуированный сосуд. Насыпание обычно рекомендуется производить небольшими порциями, уплотняя породу постукиванием дна сосуда по мягкой поверхности. Не следует забывать, что полученные этим путем величины могут быть лишь весьма условно отнесены к грунтам в их естественном состоянии. В полевых условиях величина a может быть установлена определением объема выемки, из которой извлечен грунт; при этом последний целиком должен быть сохранен для последующих определений. Этот способ очевидно является единственным выходом. При желании определить пористость крупнообломочных пород в их естественной

структуре можно было бы рекомендовать для рыхлых пород применение искусственной их цементации, однако в этом случае необходимо выработать методику, так как неизвестно, чтобы этот способ был кем-либо использован.

Определение объема зерен и частиц

Методика установления объема зерен и частиц, составляющих образец, более проста. Величина b определяется по объему воды, вытесненной погружаемой в нее породой после выделения всего воздуха, содержащегося в породе.

Пользоваться можно как мензуркой, так и волюмометром; в последнем случае достигается, как это отмечалось, большая точность. Крупнообломочный материал насыпается в ведро или бак, емкость которого известна; затем мензуркой или мерной кружкой приливается вода.

Следует однако отметить, что при погружении пелитовых пород в воду возникают некоторые затруднения с удалением всего воздуха, заключавшегося в породе. Размешивание породы стеклянной палочкой в этих случаях помогает мало. Выходом является применение теплой или горячей воды: вполне точные результаты можно получить, используя пикнометрический метод, существующий для определения удельного веса. При применении формулы (10) так это и делается.

1. Определение объема пор

Непосредственное определение объема пор представляет наибольшее затруднение. Для определения пористости фарфора Замятченским предложен своеобразный метод, основанный на заполнении пор, обнаженных полированной поверхностью, красящим веществом и последующим изучением пор под микроскопом. При исследовании свойств керамических изделий и шамотных масс с успехом применяются методы поглощения испытываемой пробой воды или иных жидкостей и газов.

В общих руководствах рекомендуется обычно приливание воды в породу, насыпанную в мензурку. Во-первых, в этом случае порода не сохраняет естественной структуры, во-вторых, попытки насытить породу этим путем убеждают в невыполнимости этого. При прилипании воды не только в глинистые породы, но и в пески происходит быстрое смачивание верхней части столба породы, тогда как в средней и нижней части задерживается весьма большое количество воздуха. Попытки насыщать столб песка снизу приводят лишь к немного лучшим результатам; и в этом случае капиллярный подъем, происходящий неравномерно, приводит к зажиманию значительного количества воздуха. Эти соображения указывают на нежелательность непосредственного определения объема пор и для образцов с ненарушенной

структурой, получаемых тем или другим прибором. Кейльгаком был предложен для лёссовых пород метод насыщения при помощи бюретки, однако опыт показывает, что и этот способ отличается своими недостатками.

Из изложенного ясно, что при определении пористости рыхлых обломочных образований следует исходить из величины a и b . Причем для пород глинистых или глинисто-песчаных всего целесообразнее пользоваться формулой (8), определяя δ_1 или беря образцы в естественной структуре специальными приборами или пользуясь методом Тетмайера. δ определяется обычным путем или, если не требуется особая точность, способом, предложенным Андриановым. Для пород крупнообломочных можно рекомендовать лишь полевое определение, основанное на измерениях выемки и установлении величины b с помощью ведра или бака.

Что же касается рыхлых песков, не поддающихся взятию образца определенного объема даже при очень осторожной работе, то в этом случае возможны лишь попытки установления методов.

Примеры определения порозности пор

1-й пример. Определение порозности парафинированием образца грунта. Имеем вес сухого образца f , равный 203,60 г, вес запарафинированного образца F , равный 211,20 г, удельный вес парафина δ_p , равный 0,87, удельный вес частиц грунта δ , равный 2,60.

Погружая запарафинированный образец грунта в воду и замечая вытесненный им объем воды, находим его объем равным $A = 138,0 \text{ см}^3$. Зная вес использованного парафина $f_p = F - f = 7,60 \text{ г}$, находим его объем:

$$a_p = f_p : \delta_p = 8,74 \text{ см}^3.$$

Отсюда получаем объем образца грунта:

$$a = A - a_p = 129,26 \text{ см}^3,$$

что дает возможность подсчитать кажущийся удельный вес сухого грунта $\delta_s = f : a = 1,58$.

Порозность грунта будет равна:

$$p = 1 - \frac{\delta_s}{\delta} = 0,9 = 90\%.$$

2-й пример¹. Определить порозность грунта, образцу которого придана правильная форма. Имеем вырезанный образец грунта в форме параллелепипеда $2 \times 2 \times 15 \text{ см}$; его вес оказался 3,5 кг; высушив образец и вторично взвешивая его, нашли его вес равным 3,14 кг; таким образом влажность грунта была:

$$m = (3,5 - 3,14) : 3,14 = 11,5\%.$$

¹ Примеры 2, 3, 4 составлены Е. А. Замятиным.

Находим кажущийся удельный вес сухого грунта по отношению его сухого веса к объему

$$\alpha = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,16 \text{ л } \delta_1 = 3,14 : 2,16 = 1,45.$$

При удельном весе частиц грунта, равном 2,6, порозность его будет равна:

$$p = 1 - \frac{\delta_1}{\delta} = 44\%.$$

3-й пример. Если в предыдущем примере образец грунта вырезается прибором, подобным прибору Копецкого, то необходимо учесть уплотнение образца при его взятии.

Например, если высота столба грунта, взятого прибором, была 116 мм, а глубина выемки, откуда был взят грунт, равна 120 мм, то уплотнение грунта равно $(120 - 116) : 120 = 3,3\%$. Далее пусть кажущийся удельный вес сухого грунта, взятого из прибора, оказался равным 1,50, но так как грунт этот был уплотнен, то, внося поправку на уплотнение, получим

$$\delta_1 = 1,5 \cdot (1 - 0,033) = 1,45,$$

а порозность

$$p = 1 - \frac{\delta_1}{\delta} = 44\%$$

при

$$\delta = 2,6.$$

4-й пример. Для сыпучих грунтов, как песчаных, гравелистых, галечниковых, нельзя взять образца грунта, не разрушая структуру его. В таких случаях поступают так: на месте взятия образца планируют небольшую площадку (1—2 м²), прокладывают и закрепляют на ней две горизонтальные параллельные рейки (по уровню); на рейках наносят метки через равные интервалы 10—20 см. Далее осторожно (совком или руками) делают между рейками выемку по возможности какой-либо правильной формы (чашеобразную) и вынутый грунт рассыпают на листах (фанеры, железа, брезента и т. п.) тонким слоем и просушивают на солнце; после чего его собирают и взвешивают. Объем выемки замеряют, для чего, устанавливая на парных метках реек линейку, промеряют от нее глубины выемки и расстояния между промежуточными точками. По результатам промеров подсчитывают площади поперечников, а по ним объем; зная объем грунта и его вес (сухой), находят кажущийся удельный вес и по предыдущему порозность. Для грунтов, имеющих крупные включения (камени, крупные гальки и т. п.), необходимо определять порозность общую для всего грунта, принимая во внимание и включение, и порозность собственно водопроводящего грунта без крупных включений. Во всех и теоретических и практических предложениях о движении грунтовых вод рассматривается только самый водопроводящий сравнительно однородный грунт; всякие включения в него в виде камней и т. п., резко отличающиеся по своим размерам от средних размеров частиц водоносного грунта, как

плотные и непроницаемые для воды области, не принимают активного участия в движении воды, поэтому и не должны приниматься во внимание при определении коэффициента водоносности. Они, эти включения, создают дополнительные сопротивления обтеканию вокруг них воды, что должно учитываться теорией движения грунтовых вод.

В качестве иллюстрации к сказанному рассмотрим следующие данные по отбору описанной выше выемки; пусть мы имеем

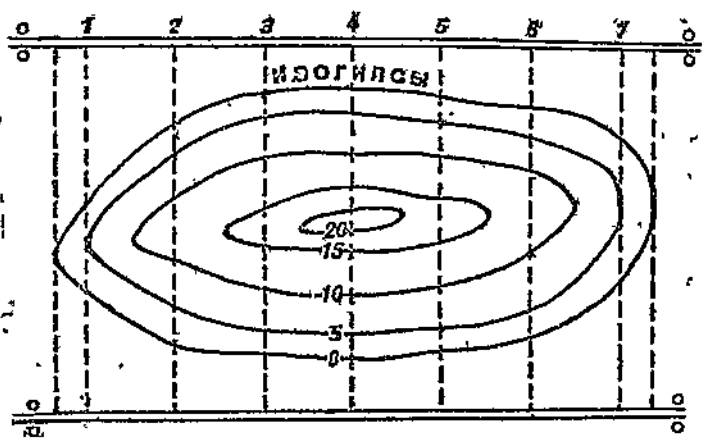


Рис. 15. Схема выемки грунта для определения пористости галечной породы.

объем выемки равный 84,5 л; общий вес вынутого и просушенного песчано-гравелистого грунта 172,5 кг (вместе с крупной галькой); тогда кажущийся удельный вес такого грунта будет $\delta_1 = 172,5 : 84,5 = 2,04$, и порозность при удельном весе материала грунта $\delta = 2,65$ будет:

$$p_1 = 1 - \frac{2,04}{2,65} = 23\%.$$

Отберем теперь отдельно крупные гальки, взвесим их — 73 кг — и путем погружения в воду найдем их объем — 27,5 л; следовательно объем только водоносного грунта будет $84,5 - 27,5 = 57$ л, его вес $172,5 - 73 = 99,5$ кг и его кажущийся удельный вес $= 99,5 : 57 = 1,75$, откуда находим порозность его $p_2 = 1 - 1,75 : 2,65 = 34\%$.

Эту порозность и надлежит учитывать при определении коэффициента фильтрации.

Г Л А В А VII

Передвижение жидких подземных вод

Впервые более точно изучал движение воды в зернистых породах французский инж. Дарси (1853 г.), который занимался устройством водопровода для г. Дижона, расположенного в долине р. Роны во Франции. Так как речная вода быстрой р. Роны сильно взмучена и следовательно требовала постоянной очистки, то возникла мысль воспользоваться для водопровода подземными водами из наносных толщ долины р. Роны. Но для того чтобы можно было спокойно обосновать водопровод на этих водах, необходимо было установить, какое количество воды имеется в песчаных наносах долины реки и насколько скоро движется эта вода в своем подземном хранилище, так как от скорости движения воды зависит пополнение запасов подземной воды.

Инж. Дарси производил опыты, устраивая фильтры из песка долины р. Роны и пропуская через эти фильтры воду. Используя для фильтров различные сорта песков и пропуская воду через фильтры различной толщины, Дарси пришел к заключению, что если для фильтров пользоваться одним каким-нибудь сортом песка, то скорость просачивания воды в этом фильтре прямо пропорциональна столбу воды, пропускаемому через песок, и обратно пропорциональна толщине слоя фильтра. Величина скорости движения воды будет представлять собой частное от деления столба воды на толщину фильтра, помноженное на коэффициент водопроницаемости песка. Полагают, что этот коэффициент выражает размер песчинок, обозначенный в метрах. Таким образом, если мы имеем дело с песком, размер зерен которого равен 1 мм, то коэффициент водопроницаемости будет 0,001. Если мы возьмем другой песок, у которого диаметр зерен будет больше или меньше, то тогда коэффициент этот изменится. Если диаметр зерен равен 0,1 мм, то коэффициент водопроницаемости будет 0,0001.

Еще ранее, до Дарси, подобного рода представления были высказаны физиком Пуазелем, который наблюдал движение воды в капиллярных трубках. Несколько позднее подобные наблюдения, только в несколько иных условиях, чем те, в которых производил свои опыты Дарси, были произведены французом Дюпюи, который пришел к выводам таким же, как и Дарси.

Закономерность, которая выражает скорость движения воды формулой $v = K \frac{h}{l}$; где K — коэффициент фильтрации или водопроницаемости, h — высота столба воды, l — толщина фильтра или длина пути воды в зернистой породе, — носит название закона Пуазель-Дарси-Дюпюи или в общежитии закона Дарси.

Позднее в 80-х и 90-х годах прошлого столетия исследования движения воды в зернистых породах занимались американские геологи, которые пришли к заключению, что закон Дарси соответствует тому, что наблюдается в природе.

На основании многочисленных опытов этим исследователям удалось коэффициент фильтрации K разбить на ряд множителей, в которых отражены различные условия фильтрации пород. Один из этих множителей выражает значение пористости породы. Чем более порода пориста, тем лучшие условия для фильтрации создаются. Если взять крайней величины пористость 26 и 47%, то скорость фильтрации при 47% в 7 с небольшим раз больше, чем при 26%. Второй множитель — это действующая величина, о которой говорилось выше. Взятая как множитель, действующая величина имеет тем большее значение, что она ставится в квадрате; и наконец имеет значение и температура фильтрующейся воды: чем холоднее вода, тем более ее вязкость и тем больше трение при движении воды между зернами породы; и наоборот, чем вода теплее, тем меньше ее вязкость и тем быстрее движется вода в породе. Если принять скорость движения при 0° за единицу, то при 15° скорость движения будет равна 2. Но кроме того все же имеются еще какие-то обстоятельства, которые оказывают свое влияние на скорость движения воды в зернистых породах, но которые еще не разгаданы. Таким образом в настоящее время принимают, что коэффициент Дарси K равняется некоторому числовому коэффициенту, помноженному на коэффициент, зависящий от пористости породы, помноженный на коэффициент, зависящий от вязкости воды (температурный коэффициент), и помноженный на квадрат действующей величины.

В то же время оказалось, что формула Дарси имеет только ограниченное применение.

Аллан Газен отметил, что большую роль играет однородность песка. Если песок состоит из зерен, размер которых слишком варьирует, то в такой породе скорость движения воды совершается по иным закономерностям. Аллан Газен ввел понятие коэффициента однородности, под которым он разумеет следующее: если при разделении зернистой породы на фракции мы возьмем диаметр сита, которое задерживает 40% более крупных частиц и пропускает 60% более мелких частиц, и разделим это число на действующую величину, то полученное число будет коэффициентом однородности. Если в частном мы получим величину, меньшую 6, мы можем применять закон Дарси. Так например, если диаметр сита, которое пропускает 60% песка, а задерживает 40%,

будет 2 мм, а действующая величина этого песка будет 0,25 мм, то коэффициент однородности будет $2 : 0,25 = 8$. Следовательно к данному песку закон Дарси неприменим.

Принц полагает, что закон Дарси применим в тех случаях, когда уклон подземного потока или, другими словами, отношение h/k колеблется от 1 : 100 до 1 : 3 000.

Рейнольдс указал, что при медленном движении в зернистых породах наблюдается параллельно-струйчатое передвижение частиц воды в порах породы, но это параллельно-струйчатое движение при ускорении переходит в вихревое, и тогда закон Дарси уже не имеет места. Другими словами, существует некоторая критическая скорость, различная для разных зернистых пород, при которой струйчатое движение переходит в вихревое и при которой скорость движения воды в породе должна выражаться уже другими формулами.

Опыт показал, что обычно наблюдающиеся скорости движения воды в породе незначительны и чаще всего выражаются в пределах 1 м или нескольких метров в сутки.

Так как очень важно знать, можно ли в данном случае применить закон Дарси и так как действующая величина песка имеет большое значение, потому что она входит множителем в квадрате, то естественно рассмотрение механического анализа песка представляет огромную важность. Для того чтобы легче было разбираться в результатах механического анализа, полезно эти результаты представить в виде графика: по вертикальной ординате откладывают проценты и по горизонтальной—диаметры. Пересечения кривой горизонтальными линиями, идущими от 10 и от 60%, дают положение по кривой, во-первых, действующей величины и, во-вторых, того диаметра, который следует разделить на действующую величину, чтобы получить коэффициент однородности.

Некоторые исследователи считают, что при ситовом анализе большое значение имеет подбор диаметров отверстий сит, так как при неравномерном нарастании отверстий отдельных сит анализ может дать искаженную картину зернового состава породы.

Неправильно пользование таким набором:

0,1 мм	0,25 мм	0, мм	1,0 мм	1,25 мм	1,5 мм	2,0 мм
150%	100%	100%	25%	20%	33 1/3%	

Здесь нарастание диаметров сит идет неравномерно. Правильнее:

0,25 мм	0,4 мм	0,64 мм	1,0 мм	1,6 мм	2,5 мм	4,0 мм	6,3 мм	10 мм
60%	60%	56%	60%	56%	60%	57%	59%	

Но таких сит в продаже нет.

Сетки для сит следует употреблять штампованные, а не плетеные.

Механический анализ песка. Навеска 100 г (100%).

0,1 мм 0,1—0,25 мм 0,25—0,5 мм 0,5—1 мм 1—1,25 мм 1,25—1,5 мм 1,5—2 мм

а) 6	4	16	18	31	12	13
	10	26	44	75	87	100%
б) 17	14	32	15	12	6	4
	31	63	78	90	99	100%
в) 11	14	9	12	7	18	28
	25	34	46	54	72	100%

Определите графическим путем действующую величину и коэффициент однородности каждого из этих песков.

Примерный график результатов механического анализа зернистой породы приводим (рис. 16).

Грунтам в зависимости от крупности слагающих их частиц придают различные названия. Однако общепринятой терминологии грунтов до сих пор нет. В табл. 19 приводятся для примера некоторые схемы разделения грунтов по механическому анализу (в миллиметрах).

Из этой таблицы видно и разнообразие применяемых терминов и разнообразие содержания, вкладываемого в термины.

В пределах отдельной разности грунта намечают его дальнейшее деление на две или три подразности, например песок крупный, средний, мелкий; гравий крупный, мелкий. В. Г. Глушков рекомендует делить каждую разность на 10 делений, да и вся его схема основана на десятичном делении.

В русской литературе данные по вопросу о движении подземных вод в различных грунтах, зернистых и трещиноватых, и в различных водосборах, каналах и колодцах наиболее обстоятельно сведены в большой статье Краснопольского, помещенной в «Горном журнале» за 1912 г. под заглавием: «Грунтовые и артезианские колодцы». По Е. А. Замарину (Расчеты движения грунтовых вод «Тр. опытно. иссл. ИВХ», Ташкент 1928) формула, выражающая скорость движения воды в зернистой породе, предложенная А. Газеном, представлена в следующем виде:

$$v = C d^2 i \quad (0,70 + 0,03 t) \text{ м/сутки.}$$

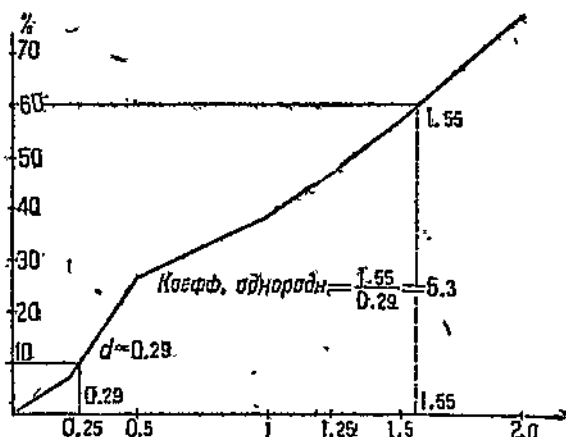


Рис. 16. Схема графика для определения по данным механического анализа действующей величины и коэффициента однородности.

	Вильямс	Сабанин	Аттер- берг (1)	Аттер- берг (2)	Между- народная	Дорож- ная	Димо	Докра- чев Захаров	Сак.т.р	Глушков
Качин, булыга . .	> 20-10	> 20-10				> 20	> 100-40	> 10		1000 1-0
Щебень, галька . .							40-10			(> 1 м-галь- ка) 100-10
Хряц (галька) .	10-3	10-3	10-2	10-3			-10-3	10-3		
Гравий (хряц) . .					> 20-2	20-2		3 1	5-1	10-1
Песок . . .	3-0,25	3-0,05	2-0,2	2-0,3	2-0,2	2-0,25	3-0,1	1-0,05	1-0,05	1-0,1
Песчаная пыль . . .	0,25-0,05		0,2-0,02	0,3-0,03		0,25-0,05		0,05-0, 01		
Пыль . . .	0,05-0,001	0,05-0,001				0,05-0,005	0,1-0,01			0,1-0,01
Мб					0,2-0,02					
Ил	< 0,01	< 0,001	0,03-0,002	0,03-0,003	0,02-0,00		< 0,01		< 0,05	0,01-0,001
Коллоидный ил			< 0,002	< 0,003						
Глина . . .					< 0,002	< 0,005		< 0,001		< 0,01

Здесь d — действующая величина в пределах изменчивости, от 0,01 до 3 мм, t — температура воды в градусах Цельсия, t_1 — температура воды в градусах Фаренгейта, C — эмпирический коэффициент, изменяющийся от 400 до 1 200; по видимому на величину C влияет пористость пород; довольно произвольно рекомендуется брать для чистого песка около 1 000 и для загрязненного (глинистого) — около 600.

Мне кажется, что, пользуясь формулой Газена, можно коэффициенту C придавать значение из следующего расчета: если 400 принять для пористости в 26% и 1 200 для пористости в 47%, то для каждой промежуточной величины пористости можно принять $400 + 40a$, где a — число процентов пористости согласно данным опыта минус 26. Так например, если пористость песка в 35%, то C равно $400 + (40 \times 9) = 760$.

Формула Слихтера имеет следующий вид:

$$q = 0,2012 \frac{pd^3s}{\mu h k} = 11,3 \frac{dp^3s}{h k} \left[1 + 0,018/(t - 32) \right]$$

куб. фут. в минуту.

В этой формуле q — количество воды, пропущенное столбом песка в 1 мин.; p — разность давлений у концов столба песка снизу и столба воды вверху, выраженная в футах, d — «действующая величина» песка, s — поперечное сечение столба песка в квадратных футах, h — длина столба песка в футах, μ — коэффициент вязкости воды, уменьшающийся с повышением температуры: для его значений в пределах температур от 32 до 100° F (или от 0 до 37,78°C). Слихтером дана особая таблица, k — коэффициент пористости, значения которого в пределах пористости от 26 до 47% также даны в таблице, t — температура воды по F.

Очевидно скорость фильтрации $v = \frac{q}{s}$ фут. в мин.

Неудобство этой формулы заключается в том, что она оперирует с неметрическими измерениями.

Переводя эту расходную формулу на формулу для скорости фильтрации в метровом размере и упрощая ее, Замарин находит:

$$v = 496 M d^2 i T \text{ м/сутки} = 0,34 i M d^2 \text{ м/мин.}$$

Здесь M — коэффициент пористости, а T равно $1 + 0,0337 t^\circ \text{ C}$. В этом виде формула Дарси-Слихтера очень удобна для пользования. Действующая величина получается путем механического анализа грунта. T замеряется в градусах Цельсия. Уклон потока устанавливается в природных условиях, а коэффициент пористости по установлении величины последней путем опыта может быть взят из прилагаемой табл. 20.

Как выше уже указывалось, для действующих величин более 3 мм формула Дарси неприменима. Для ориентировочного представления о наблюдающихся в природе при больших действующих величинах (от 3 до 40 мм) скоростях приведена табл. 21.

Из рассмотрения этой таблицы видно, что при одном и том же уклоне скорости возрастают не пропорционально 2-й степени дей-

Таблица 20

Коэффициенты пористости (по Замарину)

Пористость	<i>M</i>	Пористость	<i>M</i>	Пористость	<i>M</i>
0,26	0,1187	0,35	0,2878	0,42	0,5789
0,27	0,1450	0,36	0,3163	0,43	0,6087
0,28	0,1517	0,37	0,3473	0,44	0,6778
0,29	0,1694	0,38	0,0808	0,45	0,7294
0,30	0,1903	0,39	0,4154	0,46	0,7833
0,31	0,2122	0,40	0,4524	0,47	0,8455
0,32	0,2456	0,41	0,4922	—	—
0,33	0,2601	0,42	0,5339	—	—

Таблица 21

Скорости фильтрации в м/сутки (по Газену-Замарину)

<i>i</i> \ <i>d</i> в мм	3	5	8	10	15	20	25	30	35	40
0,0005	3,4	10	20	30	49	79	110	149	201	250
0,001	7	21	40	53	101	146	204	274	369	451
0,002	14	40	79	110	189	274	369	478	589	711
0,004	27	76	148	207	351	478	610	742	870	1069
0,006	40	113	207	274	451	619	781	931	1090	1240
0,008	55	143	253	339	531	720	900	1087	1270	1459
0,010	67	174	291	384	610	830	1030	1220	1412	—
0,015	98	238	378	479	760	1030	1260	1477	—	—
0,020	125	299	467	580	881	1180	1469	—	—	—
0,03	183	400	616	750	1109	1450	—	—	—	—
0,05	280	461	685	1060	1490	—	—	—	—	—
0,1	494	930	1310	1550	—	—	—	—	—	—

ствующей величины, а медленнее. Точно так же при одной и той же действующей величине скорости возрастают пропорционально не 1-й степени уклона, а медленнее. Например при *d*, равном 3, и уклоне, равном 1:1000, скорость равна 7, а при уклоне 1:10 скорость равна не 700, а 494.

В природе уклоны более 1:10 встречаются исключительно редко.

По Людеке (1909) формула Сликтера при перечислении ее в метрические меры может быть представлена в следующем виде:

$$v = 10,219 \frac{h d^2}{k_2 m} \text{ см/сек},$$

где k_2 — коэффициент пористости — равно:

пористость	26%	30%	35%	40%	45%
k_2	84,3	53,5	31,6	20,3	13,7

η — термальный коэффициент (K вязкости)—равно:

T	5°	10°	15°	20°С
η	0,0152	0,0131	0,0114	0,0101

Промежуточные величины для k_2 и m можно получить интерполяцией (подсчетом или графически).

$\frac{h}{c} = i$ равен уклону водоносного пласта, d — действительная величина.

Следует заметить, что влияние температуры на изменение скорости движения сказывается, как видно с последней строки значений температурного коэффициента в формуле Людеке, не очень сильно, а именно в пределах от 5 до 20°С коэффициент меняется от 0,0152 до 0,0101. Практически температуры подземных потоков в умеренном климате или для глубоких зон изменяются еще в меньшей степени и в общем близки к пределам от 5 до 15. Поэтому для ориентировочных предварительных подсчетов температурный коэффициент пожалуй можно и не принимать во внимание.

При определенном расположении зерен в слое породы пористость породы представляет величину постоянную и не зависит от размеров зерен, хотя количество зерен будет тем больше, чем меньше диаметр этих зерен, как это видно из следующей таблички (табл. 22):

Таблица 22

Радиус в мм	Объем одного зерна в мм ³	Число зерен в 1 л	
		при густом расположении	при рыхлом расположении
0,005	0,00000052	1 413 295 000 000	1 000 766 000 000
0,010	0,00000419	176 661 000 000	125 097 000 000
0,050	0,00052360	1 413 295 000	1 000 766 000
0,100	0,00418370	176 661 000	125 097 000
0,500	0,52359800	1 413 295	1 000 766
1,0	4,18879200	176 662	125 097
5,0	523,59880000	1 413	1 001
10,0	4 188,79200000	177	125

Но размеры пор уменьшаются, а сумма поверхностей шаров нарастает. (Сравните сумму поверхностей шаров в 1 л при радиусах зерен 10 мм и 0,01 мм). Кроме того в породах, где размер зерен менее 0,01 мм, наблюдается целый ряд физико-химических процессов, не имеющих места в песках (явления дисперсии и пр.). Поэтому не следует распространять подсчетов по приведенным выше формулам на породы, действующая величина которых менее 0,01 мм.

Принимая во внимание значение нарастания суммы поверхностей для движения подземных вод, некоторые авторы предлагают формулы, учитывающие это значение. Так Крюгер дает следующую формулу:

$$v = 1,44 \cdot 10^5 \frac{p}{m} i \text{ м/сутки}$$

где p — порозность грунта в 1 см³, в см², m — поверхность всех частиц в 1 см³, в см².

Поверхность зерен вычисляется для каждой фракции песка отдельно по среднему диаметру фракции.

С. А. Замарин придает этой формуле вид аналогичный формуле Сликтера:

$$v = 400 \frac{p}{(-p^n)} d^2 i \text{ м/сутки.}$$

Особняком стоит формула Смрекера, который отрицает справедливость построений Дарси и линейную зависимость скорости фильтрации от уклона. Его формула:

$$v = \frac{(2gl)^{\frac{2}{3}}}{\gamma},$$

где gl — ускорение силы тяжести, l — уклон, а γ — эмпирический коэффициент, выражающий состав грунта и по существу ничем не отличающийся от коэффициента K формулы Дарси, включая состав, порозность грунта, вязкость воды и пр. Формула Смрекера собственно не опровергает закономерности Дарси, а дополняет ее в отношении крупнозернистых пород, где мы наблюдаем уже вихревое движение частиц воды. Обе формулы отражают частные случаи общего положения, где показатель степени n действующей величины колеблется от 1 (вихревое движение) до 2 (струйчатое движение), а показатель степени m уклона колеблется от $\frac{1}{2}$ до 1:

$$v = k d^n i^m$$

ГЛАВА VIII

Происхождение подземных вод

Вопрос о происхождении подземных вод представляет один из интереснейших, но вместе с тем и сложнейших вопросов общей гидрогеологии. Наличие подземных вод в земной коре — факт, подтверждаемый повседневным опытом. Но способ проникновения воды в недра земли и до сих пор не выяснен с достаточной достоверностью. В некоторых отдельных случаях удается установить, что здесь или там подземная вода произошла тем или иным способом. Но распространить это утверждение на все области земной поверхности не удастся. И до сих пор вопрос о происхождении подземной воды в общем и целом вызывает и в наше время споры, как и две тысячи лет назад.

Еще тогда один из исследователей утверждал, что подземная вода получается путем проникновения в глубь земли дождевых и снеговых вод (Марк Витрувий Поллий); этот взгляд развивался и в средние века (Б. Палисси—1650, Фоссилиус—1656, Бертолин—1701, Мариотт—1717, Де-ла-Метри—1797) и дошел до нашего времени под именем инфильтрационной теории происхождения подземных вод.

Другие полагали, что морская вода проникает в землю, там очищается от солей и как пресная циркулирует в недрах. В средние века механизмы движения морской воды от уровня моря в возвышенные материи объясняли наличием в земле особых аппаратов — водоносных органов, построенных как кровеносная система животных; в особых полостях, соответствующих почкам животных, вода очищается от солей. Эта точка зрения развивалась еще в первой четверти девятнадцатого столетия, но затем полностью оставлена.

Третьи полагали, что подземная вода сгущается из воздуха; позднее стали говорить — сгущается из паров, содержащихся в воздухе (Агрикола—1549 г., Декарт и др.). Так возникла конденсационная теория происхождения подземной воды особенно горячо пропагандировавшаяся во второй половине XIX в. Фольгером (1856—1878 г.) и его сторонниками. Агрикола высказывал мнение, что сгущаться в земной коре могут и пары воды, идущие снизу из больших глубин, но эта мысль не встретила сочувствия. Но в 1902 г. гениальный Эдуард Зюсс выступил с юве-

нильной теорией происхождения подземной воды. «Э. Зюсс основываясь на работах целого ряда ученых, утверждает, что та магма, та расплавленная вязкая масса силикатных растворов, которая дает начало и глубинным породам,—таким, как гранит, изливающимися и затвердевающим глубоко под поверхностью земли, и эффузивным породам,—таким, как базальт, выбрасываемым на поверхность земли по трещинам и из жерл вулканов, в изобилии пропитана различными газообразными продуктами как настоящими газами, так и парами более летучих соединений. Эти газообразные продукты, в большом количестве пропитывающие магму в первоначальном месте ее залегания, находившиеся в ней в растворенном состоянии при той высокой температуре и том большом давлении, какие царят на больших глубинах земных недр, начинают постепенно выделяться из раствора и скопляться над магмой в свободном состоянии по мере ее охлаждения.

Процесс выделения паров и газов из магмы, конечно, еще более ускоряется и приобретает более широкие размеры, если магма в силу каких-нибудь причин переместится в более высокие слои земной коры с соответственно уменьшенным давлением.

«Обладая сравнительно малым удельным весом, такие газообразные вещества, выделившиеся из магмы, стремятся воспользоваться каждым удобным путем, чтобы подняться все выше и выше. Они пользуются при этом и трещинами отдельностей в породах, и глубокими структурными линиями разломов, и другими местами наименьшего сопротивления, которые могут их вывести ближе к поверхности земли. Понятно, что при таком движении вверх пары и газы будут попадать постепенно в области все с более и более низкой температурой, которая наконец понизится до такой величины, что господствовавшие внизу процессы диссоциации сменяются процессами соединения отдельных элементов и простых тел в более сложные вещества, наступит время химических реакций, обменных разложений и пр., когда небольшое быть может количество газообразных веществ даст начало длинному списку вновь возникших соединений. Некоторые пареообразные вещества при пониженной температуре утратят способность летучести и осядут в виде возгонов на стенках сухих трещин и других каналов на пути их движения или при наличии достаточного количества вновь образовавшихся растворителей будут далее двигаться в состоянии солевых растворов.

«Такие струи восходящих газов и увлекаемые ими растворы, двигаясь вверх по многочисленным, нередко вероятно весьма сложным, путям в земной коре, выйдут в конце-концов на дневную поверхность и здесь впервые будут замечены человеком. Вот оттого-то Зюсс и называет такие продукты ювенильными, т. е. девственными, что они при своем выходе на поверхность действительно впервые попадают в условия земного существования.

Если большинство ученых в настоящее время вполне согласно возможности и вероятности именно такого происхождения многообразных веществ и некоторых солей металлов, в особенности тяжелых и щелочных, то далеко нет единодушия в вопросе о происхождении той воды, которая, растворяя все эти соли и газы, является так сказать основным субстратом каждого минерального источника. Тут мнения резко расходятся.

Так Готье, основываясь на своих опытах, предполагает, что магма содержит пары воды или элементы, необходимые для ее разложения при подходящих условиях, и в доказательство этого приводит тот факт, что каждая горная порода магматического происхождения при нагревании в безвоздушном пространстве до температуры красного каления вместе с некоторыми газами выделяет и воду. Наоборот, Брэн, изучивший много действующих вулканов, отрицает присутствие ювенильной воды среди продуктов вулканических извержений и делает из этих наблюдений вывод о безводности самой магмы. Американцы Дей и Шеперд отыскали в последнее время в газообразных продуктах вулкана Кизуэ на Сандвичевых островах присутствие воды, которую они считают ювенильной, а шведский ученый Фогт, много сделавший для изучения процессов кристаллизации минералов в магме, полагает, что без участия паров воды образование многих минералов невозможно.

Трудно примирить эти противоречия, но кажется на основании всей суммы известных фактов правильнее считать возможным существование паров воды в магме, откуда уже как логическое следствие вытекает необходимость существования ювенильной воды на поверхности.

При таком понимании явлений мы в некоторой точке земной поверхности можем встретить ювенильную воду с растворенными в ней ювенильными солями и ювенильными газами, т. е. ювенильный минеральный источник, по терминологии Росса, в его наиболее чистом виде.

Под влиянием складчатости, опускания и т. п. процессов, отжимающихся и на такой глубине, часть пород может опуститься еще ниже, нагреться еще выше, или под влиянием увеличившегося давления вышележащих толщ лавы начнут подниматься по трещинам в гранит, повысят его температуру и следовательно вызовут потерю им всей или части комбинационной воды в виде водяного пара. Процесс этот, идя от центра к периферии, достигнет, наконец, таких областей коры, куда проникают уже поверхностные воды, которые в конце-концов попадут в область, близкую к магматическому очагу.

«Можно полагать, что подавляющее большинство минеральных источников, отличающихся обильным выделением газов, по составу химического состава и дебита и оригинальным составом солей, относится к числу смешанных, в которых газы—ювенильные, а вода и соли имеют двойное происхождение. Нужно

все же опметить, что нередко в таких случаях преобладают элементы товенного происхождения, в силу чего различные внешние обстоятельства и не оказывают особенно заметного влияния на режим источника.

«Наиболее характерной особенностью, скорее всего могущей послужить классификационным признаком, является химический состав солей, содержащихся в воде, и находящийся в резком противоречии с горными породами, известными в окрестностях источника и участвующими в строении верхних слоев земной коры.

«Особенно характерно значительное содержание щелочей, главным образом натрия, затем присутствие тяжелых металлов — меди, свинца, цинка и др., нахождение таких элементов, как мышьяк, фтор, бор и т. д. Содержание только что перечисленных элементов весьма трудно, почти невозможно объяснить минерализацией воды в приповерхностных слоях, если не придумывать каких-либо особенных случайностей, обыкновенно не вяжущихся ни с наличной геологической обстановкой, ни с геологической вероятностью» (Герасимов).

В наше время конденсационная теория связана с именем инженера д-ра Фольгера, который в 1887 г. выступил с докладом на тему о происхождении подземных вод, в котором утверждал, что подземная вода никогда не происходит от дождевой воды. То, что подземные воды могут образоваться и за счет паров, насыщающих воздух, подозревали некоторые исследователи уже давно. Историки этого вопроса ссылаются на Аристотеля и Сенеку, которые утверждали, что воздух, проникая в холодные горные породы, сгущается там в воду. Де-ла-Мерри (1897 г.) указывал, что подземные воды на высоких горах питаются не только дождевой водой, но и сгущением воды из тумана и туч. Для горных вершин Альп также существовали указания на то, что часть подземных вод образуется там за счет главным образом тумана, причем количество воды, которое таким образом выделяется из паров, насыщающих воздух, достигает 450 мм, а может быть и более. Фольгер представлял себе, что между воздухом атмосферы и воздухом подземных пустот существует постоянный круговорот, и влажный воздух атмосферы, попадая в более холодные части земной коры, оставляет там свою влагу и в дальнейшем возвращается в атмосферу сгущенным. Против теории Фольгера выступил метеоролог Ганн, который очень тщательно собрал все соображения Фольгера и пришел к следующим результатам:

«Как известно, почва бывает одну половину года теплее, другую половину года — холоднее, чем воздух; таким образом конденсация водяных паров воздуха может иметь место только в эту вторую половину, т. е. только в течение 180 дней. В Вене количество осадков в году равняется в среднем 600 мм; из которых предположим $\frac{1}{3}$, т. е. 200 мм, согласно господствующему мнению

поглощается почвой. По гипотезе Фольгера каждый день должно было бы поступать из воздуха в почву немного более 1 мм и в среднем в самое благоприятное время года—в июле—2 мм. Воздух в Вене в июле содержит 11,4 г водяных паров в 1 м³. В это время температура почвы на глубине 10 м равна 10. От 10 до 30 м глубины температура остается почти одной и той же. До этой глубины и осядет та часть заключенного в воздухе водяного пара, которая должна конденсироваться при 10. Количество паров, могущих содержаться в воздухе при этой температуре, равно 9,4 г в 1 м³, и следовательно, проникая на эту глубину, каждый м³ воздуха теряет 11,4—9,4=2 г водяных паров. Чтобы доставить 2 мм воды, т. е. 2 кг воды на каждый кв. метр поверхности, согласно с этим 1'000 м³ воздуха должны проходить в 24 часа через каждый кв. метр поверхности почвы, т. е. в сущности за 12 часов, так как воздух должен снова возвращаться на земную поверхность¹. Водяные пары, которые, конденсируясь, дают 2 кг воды, должны в круглых цифрах отдать почве 1'200 единиц теплоты. Такого количества тепла достаточно, чтобы повысить температуру 1 м³ воды на 1,2° и 1 м³ почвы на 2,4°, так как теплоемкость почвы приблизительно наполовину меньше теплоемкости воды. Этот приток тепла должен был бы в течение месяца повысить среднюю температуру поверхностных 30 м земной коры, где только и может происходить конденсация, на 2,4°.

«За целое же лето конденсация (200 мм равно 200 кг конденсированных водяных паров) могла бы нагреть почву на 7,2°, т. е. земля скоро сделалась бы настолько теплой, что конденсация оказалась бы невозможной. Уже примерно после первого месяца процесс конденсации сам себя ограничил бы, и на 1 м² земной поверхности едва ли можно было бы конденсировать 60 кг водяных паров, иначе нельзя себе представить, куда денется освобождающееся тепло. Что заставляет ежедневно на каждый кв. метр поверхности почвы проникать на глубину до 10 м и выходить обратно 2'000 м³ воздуха? Это тем более непонятно, что летом почва холоднее и почвенный воздух тяжелее, чем наружный воздух, который таким образом не имеет тенденции проникать в почву. Зимняя температура почвы выше температуры воздуха, вследствие чего водяные пары из воздуха не могут конденсироваться в почву. Непонятно также, каким образом воздух может продолжать циркулировать в порах почвы, когда она наполняется конденсированной водой.

«Так как в нашем климате в наиболее благоприятное время (в июле) водяные пары могут в почве охладиться только на 10°, то 1 м³ нижнего наиболее сырого слоя воздуха даст 2 г конденсированной воды. Следовательно, как уже замечалось выше, необходимо 1'000 м³ такого воздуха, чтобы дать осадок в 2 мм,

¹ Т. е. с линейной скоростью 2,3 см/сек.

равный 2 кг, т. е. в наиболее благоприятное для сего время в июле месяце 600 мм на 1 м²; таким образом каждый день слой воздуха высотой в 1 000 м должен был бы проникать в почву и оставлять там все свои водяные пары. Метеорологические последствия этого чудовищного процесса, например иссушение воздуха, не могут быть даже прослежены.

«Нижний слой июльского воздуха в Вене содержит 11,4 г водяных паров, но в слое, находящемся на высоте 550 м, содержится лишь 9,4 г водяных паров. Следовательно при охлаждении на 10° из этого последнего слоя конденсация не будет иметь места. Таким образом над Веной атмосфера вообще не содержит такого количества водяных паров, как того требуют приведенные вычисления. Она могла бы давать только 0,5 мм осадков в день, или 15 мм в месяц. В более теплом климате конденсация в почве дала бы еще меньше воды. Что касается указания на то, что количество испаряющейся воды в течение года превышает количество осадков, то это ошибка, так как измеренное испарение не равняется действительному». (Цитировано по Геферу, перевод Семихатовой.)

Несмотря на то, что в начале гипотеза Фольгера имела очень много горячих сторонников, она уже к концу 90-х годов была в значительной мере оставлена. На нее обратили внимание в конце 90-х годов XIX в. и в начале XX в. южно-русские гидрологи, которые не могли при помощи теории инфильтрации объяснить происхождение грунтовых вод в Причерноморском крае. Пользуясь соображениями Фольгера, они автоматически переносили его суждения на изучавшиеся ими местности.

В 1906 г. в Германии Метцгер указал на то, что следует совершенно по-иному понимать образование подземных вод из парообразной влаги воздуха. Метцгер отметил, что парообразная влага может передвигаться в пустотах почвы независимо от того, имеется ли сообщение—круговорот между воздухом почвы и воздухом атмосферы. В пределах пустот земной коры парообразная влага может передвигаться из мест с большим давлением водяных паров в места с меньшим давлением водяных паров. Вследствие этого может быть достигнуто перенасыщение влагой подземного воздуха и следовательно выделение капельно-жидкой воды.

Метцгер полагает, что в атмосфере, в этом воздушном океане, пары воды представляют особый паровой океан, живущий своей особой жизнью, регулируемый особыми закономерностями. Выравнивание давления в подземной атмосфере происходит медленно, но неуклонно. В общем все передвижение влаги в земной коре в вертикальном направлении совершается в парообразной форме. На основании своих наблюдений Метцгер заключает, что:

1. Мерзлый грунт пропускает воздух довольно хорошо, но воды не пропускает.

2. Насыщенная водой порода воздухонепроницаема.

3. Пересыщенный водой грубозернистый слой может впитывать новые количества воды постольку, поскольку он отдает воду в нижележащие толщи.

4. Пересыщенный водой слой изолирует подземную атмосферу от надземной.

Так как температура воздуха имеет влияние на режим паров воздуха, то Метцгер устанавливает связь между колебаниями уровня грунтовых вод, с одной стороны, и сменой морозов и оттепелей—с другой. Так весной внезапные повышения температуры вызывают повышение уровня грунтовых вод, и наоборот, за понижением температуры непосредственно следует понижение уровня грунтовых вод.

Независимо от идей Метцгера, к тем же выводам пришел одесский агроном-гидролог Лебедев, который очень подробно и тщательно развил представление о механизме движения парообразной влаги в порах почвы и грунта и указал на большое значение этого парообразного передвижения влаги в почве для образования подземных вод. «Летом упругость водяных паров в почве и грунте уменьшается с глубины, следствием чего должно являться передвижение воды в форме пара из вышележащих слоев почвы и грунта в слои нижележащие. Такое движение будет продолжаться до зоны, где начинается постоянная температура земной коры. Этот слой лежит в среднем на глубине около 20 м. С дальнейшим углублением температура земли увеличивается, а вместе с температурой увеличивается и упругость водяных паров. Таким образом к зоне, где заканчивается солнечный тепловой режим, сверху и снизу направляются два потока водяного пара, которые, конденсируясь в этой зоне с минимальной упругостью водяного пара, дают начало первому горизонту грунтовых вод. В степях, где геологические (мощные толщи лёсса и красно-бурых глин) и топографические условия позволяют наблюдать это явление часто без дополнительных искажений, первый горизонт грунтовых вод действительно нередко залегает на глубине, где начинается постоянная температура земной коры.

«Особенно интересно то, что горизонт грунтовых вод повторяет этот рельеф земной поверхности в несколько смягченной форме, как это давно установлено практикой. С точки зрения генезиса этих вод такое явление становится закономерным, так как по легко понятным причинам глубина, где начинается постоянная температура земли, или, что то же, где оканчивается влияние солнечного режима, должна повторять в смягченной форме дневную поверхность земной коры.

«Рассмотрим теперь состояние упругости водяных паров в глубоких слоях земной коры, где всегда имеется постоянная температура. Здесь, как правило, температура увеличивается с глубиной. Так как влажность пород в глубине всегда бывает больше их максимальной гигроскопичности, то мы имеем здесь в по-

рах пород насыщенный при данной температуре водяной пар, т. е. упругость водяного пара будет функцией температуры. Другими словами, в зоне с постоянной температурой упругость водяных паров увеличивается с глубиной. Следствием этого является одностороннее движение воды в форме пара из глубин к слою, где начинается влияние солнечного режима.

«Однако интенсивность этого передвижения не одинакова во всех слоях. В слоях с меньшим термическим градиентом она больше и обратно. Этого достаточно, чтобы на границе двух зон, из которых нижняя имеет меньший термический градиент, а вышележащая — больший, образовалась капельно-жидкая вода, дав начало второму, третьему и т. д. горизонтам грунтовых вод. К пограничному слою таких двух зон снизу притекает больше водяного пара, чем из этого слоя в то же время уходит вверх. Разница и дает начало грунтовой воде.

«Образование грунтовых вод путем перегонки воды из одних слоев грунта в другие объясняет нам наличие грунтовых вод как в районах с вечной мерзлотой, так и в глинистых полупустынных и в пустынях. В этих областях, которые решительно непохожи друг на друга, общим является отсутствие промачивания грунта осадками: в районах вечной мерзлоты — ввиду промерзания грунта, в пустынях — по недостатку осадков, большой влагоемкости глин и быстрого испарения. И тем не менее в областях крайнего севера и в других, расположенных в южных зонах, мы находим грунтовые воды. Они образовались дистилляционным путем.

«Известны случаи, когда пресный второй горизонт грунтовых вод располагается среди соленых первого и третьего горизонтов. С точки зрения развитого здесь взгляда понимание подобных явлений природы не представляет каких-либо затруднений: второй горизонт образовался дистилляционным путем и если в слое, где дистиллят конденсировался, не было солей, то не было и причины этим водам сделаться осоложенными, хотя бы дистилляция и происходила из соленосного горизонта.

«Мы полагаем, что в степях, равно как и в других местах, где по геологическим и климатическим условиям грунтовые воды залегают глубоко, в грунтах образуется горизонт с максимальной молекулярной влагоемкостью, присущей данной породе. В течение осенне-зимнего и ранне-весеннего периодов в верхней части этого горизонта временно накапливается избыток воды, образуя подвешенный горизонт почвенных вод. Летом этот горизонт под влиянием испарения и транспирации растений обычно теряет не только свою гравитационную подвешенную воду, но и часть пленочной, пересыхая до влажности, соответствующей коэффициенту завядания или несколько ниже, если осень бывает очень сухой. Если осенне-зимне-весеннее увлажнение будет значительным и горизонт подвешенных вод опустится настолько, что развивающаяся весной растительность уже не в силах будет исполь-

вать воду, находящуюся в его нижней части, то эта вода должна неизбежно двигаться вниз под влиянием силы тяжести, пока не достигнет грунтовых вод.

«Таким образом мы полагаем, что инфильтрация возможна и при наличии «мертвого горизонта»¹ в грунте, если только имеется некоторый избыток влаги в горизонте с подвешенной водой. Интенсивность инфильтрации различна, изменяясь в зависимости от климатических, геологических, топографических и тому подобных предпосылок. В зоне вечной мерзлоты она равна нулю. В более умеренных северных зонах она вероятно достигает максимума. В степных районах она умеренна, отсутствуя нередко в годы с сухой осенью и зимой. В глинистых полупустынях и особенно пустынях она повидимому отсутствует всегда. Там, где на дневную поверхность выходят пески, инфильтрация имеет место повсюду, независимо от широты местности, исключая районы с вечной мерзлотой.

«Таким образом процесс образования грунтовых вод в общем состоит из двух независимых слагаемых: перегонки паров образной воды из одних слоев грунта в другие и из инфильтрации жидких вод. Иногда инфильтрация выпадает, как это имеет место в зоне вечной мерзлоты или в глинистых пустынях, но никогда не может выпасть второе слагаемое—перегонка воды.

«Нам остается сказать несколько слов о возможности инфильтрации грунтовых вод из вышележащих горизонтов в горизонты нижележащие. Наши обычные представления о грунтовых водах связываются с наличием водоупорного ложа грунтовых вод. Повидимому более правильным будет представление, если мы будем говорить об относительной водонепроницаемости ложа грунтовых вод. В самом деле, абсолютно водонепроницаемые слои грунта—большая редкость. Это или некоторые кристаллические породы, или мощные толщи очень тонкозернистых глин. Несомненно гораздо чаще в природе встречаются другие случаи, когда для просачивания воды через тот или иной так называемый водонепроницаемый слой требуется лишь известное гидростатическое давление. Величиной этого давления и следовало бы определять относительную водонепроницаемость ложа грунтовых вод и грунтов вообще. Понятие об относительной водонепроницаемости грунта важно для учения об инфильтрации, так как, пользуясь им, можно представить образование двух, трех и т. д. горизонтов грунтовых вод путем просачивания вод вышележащих горизонтов. Действительно, если к данному слою грунта в единицу времени притекает жидкой воды больше, чем просачивается через него, то над таким слоем неминуемо должно происходить накопление воды, т. е. образование грунтовых вод.

¹ «Мертвым горизонтом» называется постоянно сухой слой, отделяющий горизонт подвешенных (почвенных) вод от лежащих глубже вод грунтовых.—
О. Л.

«Следует ожидать при этом, что здесь нередко можно будет встретиться с мозаичным просачиванием воды, когда через данный слой на одних участках его вода будет просачиваться, а на других такое просачивание будет отсутствовать. Мозаичное просачивание возможно при наличии волнистого рельефа в водонепроницаемом слое или при разнообразии его механического

состава и структуры. Мозаичное просачивание может объяснить нам различную соленость грунтовой воды одного и того же горизонта грунтовых вод на различных участках его: там, где есть просачивание, соли могут быть вымытыми и мы будем иметь пресную или опресненную воду, — там же, где просачивание отсутствует, грунтовая вода может быть солонцеватой.

«Грунтовые воды формируются как благодаря конденсации парообразных вод почвы, грунта и ювенильных вод, так и путем инфильтрации жидких вод (осадки, грунтовые воды вышележащих горизонтов). Повидимому чаще бывает так, что эти процессы происходят одновременно, накладываясь один на другой. Однако в природе несомненно наблюдаются и такие условия, когда грунтовые воды образуются исключительно конденсационным путем. И в том и в другом случае грунтовые воды должны залегать на относительно водонепроницаемом слое, причем в последнем случае положение грунтовой воды может и не совпадать с конденсационным слоем, где из водяного пара образуются жидкие воды» (Лебедев).

В связи с большой слож-

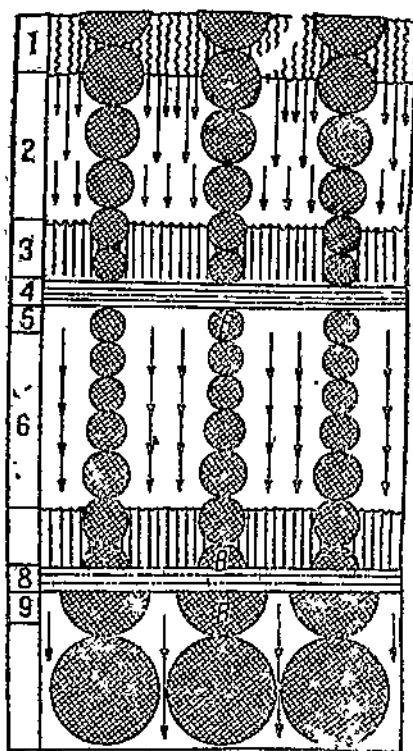


Рис. 17. Схема образования грунтовых вод. Кружки А и В показывают давление паров воды в почве и грунте; чем больше кружки, тем больше давление. Стрелки указывают направление движения жидкой воды. 1—горизонт почвенной (подвешенной) воды. 2—горизонт с постоянной влажностью (максимальная молекулярная влагоемкость). 3—капиллярная кайма грунтовых вод. 4—грунтовые воды. 5—относительно водоупорное ложе грунтовых вод. 6—слой, как № 2. 7—капиллярная кайма межпластовой нисходящей воды. 8—ее водоупорное ложе.

ностью разрешения вопроса о происхождении подземной воды возникают затруднения и для установления ее баланса. Как и статьи прихода (происхождения), так и статьи расхода (испарение, гидратация, ассимиляция и пр.) в настоящее время совершенно не поддаются количественному учету. Не поддается количественному учету и определение общего запаса жидкой воды в недрах земной коры. Здесь пока довольствуются умозрительными заключениями, почему мы не будем в кратком курсе останавливаться как на вопросе о балансе подземных вод вообще, так и на тех элементах этого вопроса, которые, как например представления о подземном стоке, еще слишком мало изучены.

ГЛАВА IX

Классификация подземных вод

Подземные воды встречаются в природе в столь разнообразных условиях и обладают столь различными свойствами, что уже давно назрела потребность в классификации подземных вод. Однако рациональной классификации до сих пор не выработано. В отношении подземных вод чаще всего применяются следующие термины: почвенная вода, подпочвенная вода, верховодка, подшкурная вода, грунтовая вода, фреатическая вода, артезианская вода, субартезианская вода. Многие авторы, обращаясь к классификации грунтовых вод, отмечают, что ряд терминов, употребляющихся в гидрогеологии, имеет различное, иногда противоречивое значение. В этом отношении особенно много возражений против существующей терминологии выставили геологи Жирмунский и Козырев. Они особенно возражают против термина «грунтовые воды», указывая, что под именем грунтовых вод в иностранной литературе подразумеваются подземные воды вообще, почвенные и грунтовые в нашем смысле слова и артезианские. Они предлагают термин «грунтовые воды» не употреблять вовсе и заменить его другим термином, который особенно распространен во французской литературе и отчасти применяется и в немецкой литературе — «свободные воды». Под именем свободных вод подразумеваются воды, поверхность или зеркало которых не перекрыто водоупорным пластом. Поэтому многие немецкие авторы употребляют не термин «свободная вода», а термин «вода со свободным зеркалом». В противоположность термину «свободные воды» французы употребляют термин «плетенные воды», под которыми подразумеваются напорные артезианские воды. У этих вод зеркало перекрыто водоупорной кровлей.

Однако повидимому нет оснований так близко следовать заграничной терминологии, так как в конечном итоге и в заграничной литературе единогласия в номенклатуре подземных вод нет. И у немецких авторов можно встретить например такую терминологию, что почвенные воды распадаются на грунтовые и артезианские. Повидимому еще слишком рано создавать международную терминологию в области классификации подземных вод. Было бы правильнее для облегчения исследова-

ний в области гидрогеологии выработать временную терминологию местного значения, предоставив времени развитие терминологии универсального, международного порядка.

Разделение вод на свободные или напорные по существу не имеет смысла, потому что трудно представить себе воды, которые не были бы под напором. В этом отношении пожалуй следует согласиться с Великановым, который различает водоносные слои, имеющие пьезометрический уровень, не превышающий высоты его верхней ограничивающей поверхности, так на-

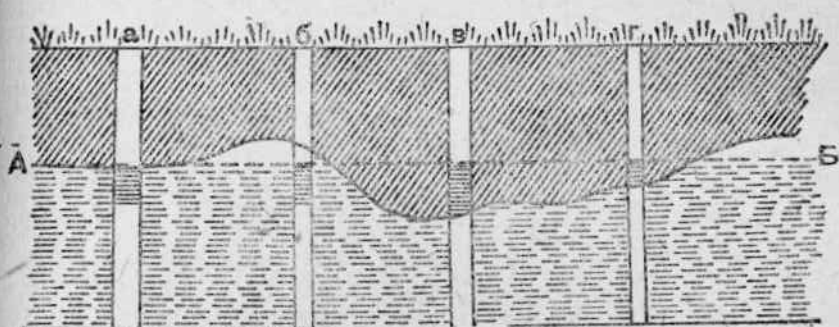


Рис. 18. Схема соотношений зеркала подземной воды и водоупорной кровли. *AB* — пьезометрический уровень.

зываемый свободный водоносный слой, и такие слои воды, в которых пьезометрический уровень превышает их верхнюю по-

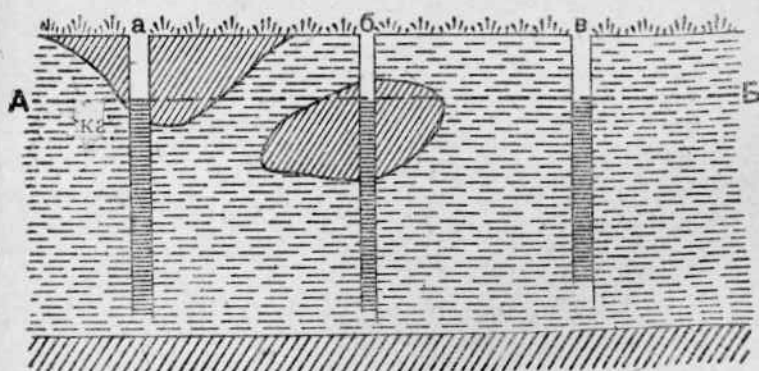


Рис. 19. Подъем воды в теле водоупорной линзы. *AB* — пьезометрический уровень.

верхность. Поэтому нельзя противопоставлять свободную воду воде напорной. Гораздо правильнее делают те авторы, которые говорят о подземной воде со свободной поверхностью и о подземной воде с перекрытой поверхностью. В этом отношении

особенно убедительны графические примеры, приведенные в большой работе Люгера-Вейрауха «Водоснабжение городов» (1914) (см. также рис. 18, 19).

Возражая против термина «грунтовые воды», Жирмунский и Козырев говорят, что этот термин относится к тому времени, когда все горные породы у нас назывались грунтом. Термин «грунт» в настоящее время геологами правда не употребляется, но в инженерном деле он используется очень широко, и изучение грунта как основания под сооружения представляет одну из важнейших отраслей инженерной геологии. На наших глазах создается учение о грунтах или грунтоведение, и в этом отношении огромное значение имеет вода, насыщающая эти грунты, и по своим гидравлическим и физико-химическим свойствам отличающаяся от тех вод, которые свойственны межпластовым водоносным толщам и особенно от артезианских вод.

Разделение свободных вод на верхние и нижние, из которых верхние содержатся в горизонтах почвы, заключающих гумусовые вещества, а нижние в нижеследующих водопроницаемых пластах, по существу совершенно неправильно, потому что гидравлически те воды, которые свойственны верхним прилегающим к поверхности земли толщам, представляют особый вид подвешенных вод, которые конечно нужно выделять в особую категорию.

Жирмунский и Козырев ссылаются на следующее выражение Рене д'Андримона: «Свободным слоем называется всякий слой или часть слоя, в котором вода не находится под давлением слоя менее водопроницаемого, чем слой водосодержащий». Следует заметить, что в этой фразе в том виде, как она приведена, заключаются крупные противоречия. Если мы говорим о том, что вода, находящаяся в водоносном слое, находится под давлением слоя менее водопроницаемого, чем водосодержащий, тогда непонятно, что подразумевает автор под словами «всякий слой или часть слоя». Практическое применение термина «верный свободный слой», «нижний свободный слой» едва ли может иметь какой-либо успех.

Противопоставление пластовым водам подземных водотоков также едва ли может быть одобрено. Правда, некоторые иностранные исследователи этот термин употребляют. Однако и в немецкой литературе мы имеем справедливые указания на неприемлемость этого термина. Так например против этого термина протестует очень известный деятель в области гидрогеологии Кене.

Другим чрезвычайно спорным термином является термин «субартезианские воды». Прежде под субартезианскими водами подразумевали такие напорные восходящие воды, которые не достигают земной поверхности, не самоизливаются, не фонтанируют. Однако в этом смысле термин «субартезианские» совершенно справедливо многими отвергался потому, что самоизлияние или фонтанирование зависит не от свойства слоя водоносного, а от

льефа местности. На небольшом отдалении друг от друга два колодца, получающие воду из одного и того же водоносного горизонта, могут отличаться друг от друга в том отношении, что один из них будет фонтанировать, а из другого воду приходится откачивать. Так, например, в Москве колодцы, расположенные в районе Девиного поля, фонтанируют, а колодцы, берущие воду из того же водоносного горизонта, но расположенные в более высоких частях города на территории Свердловца или других возвышенных местах, уже не фонтанируют.

В последнее время под именем субартезианских предлагают принимать такие напорные горизонты, которые не имеют большого географического распространения и не обладают значительными запасами воды. Однако самые ограничивающие понятия «небольшие запасы воды», «небольшое географическое распространение» весьма неопределенны и не могут служить надежными признаками для отнесения в эту категорию того или другого встречного водоносного горизонта. Поэтому было бы более целесообразным термин «субартезианский» исключить из употребления.

Козырев и Жирмунский предложили две классификации подземных вод: одну по признакам гидрологическим и стратиграфическим и другую по признакам генетическим.

В первой классификации подземные воды распадутся на две основные группы: на свободные (безнапорные) воды, которые далее делятся на свободные верхние и свободные нижние воды, и на напорные воды, которые далее делятся на субартезианские и артезианские воды. В каждом из дальнейших подразделений использован признак породы, в которой встречаются воды: это либо воды, содержащиеся в порах между зернами пород (например в песках) — пластовые воды, или воды, содержащиеся в трещинах массивных пород (например в мраморах и гранитах) — подземные водостоки.

Генетическая классификация этих авторов предусматривает 4 группы подземных вод: vadозные, ювенильные, ископаемые и смешанные. Первая группа вод распадается на 3 отдела: инфильтрационные воды, получающиеся путем просачивания поверхностных вод в зернистые породы, конденсационные воды, получающиеся путем сгущения парообразной влаги в жидкую в недрах пород, и инфлюационные воды, получающиеся втеканием поверхностных вод в трещины горных пород. Каждый из этих отделов в свою очередь подразделяется на воды метеорные и вулканические. Ювенильные воды распадутся на магматические (первичные магматические и вторичные магматические), дегидратизационные, синтетические и конденсационные воды. Дегидратизационные получают путем отщепления частиц воды от водных минералов; синтетические воды получаются в результате соединения атомов кислорода и водорода,

а конденсационные воды получаются путем сгущения парообразной влаги. Наконец ископаемые воды распадаются на континентальные ископаемые воды и морские ископаемые воды.

В последнее время академик Вернадский предложил классификацию подземных вод, исходя из их химизма. Академик Вернадский указывает на то, что в своей химической структуре вода почти никогда не бывает в виде соединения H_2O ; повидимому, в обычной воде господствуют молекулы H_4O_2 , которые могут достигнуть сложения $H_{12}O_6$. С другой стороны, в природе нет химически чистой воды; всегда вода в той или иной степени минерализована, так что природную воду следует рассматривать как минеральную массу, которая от других минералов отличается большей подвижностью. Вернадский полагает, что все природные воды, где бы они ни находились, теснейшим образом связаны между собой и представляют единое целое. Природная вода отличается чрезвычайно легким переходом под влиянием термодинамических условий земной коры из одного физического состояния в другое (вода парообразная, жидкая, твердая). Невозможно представить себе воду, которая не содержала бы в себе растворенными каких-либо газов, а так как состав земной коры и его термальные или термодинамические условия меняются на протяжении от центра до земной поверхности, то и химический характер природных вод должен определенно и закономерным образом меняться в вертикальном разрезе нашей планеты. Кроме того существует теснейшая связь природных вод со всеми живыми организмами. Принимая во внимание различные комбинации изученных минеральных растворов вод, Вернадский полагает, что уже в настоящее время можно наметить до 300 отдельных минералов природной воды, которые можно охарактеризовать так же точно, как кварц или другие твердые минералы. Несомненно, что по мере дальнейшего изучения число разновидностей природной воды значительно увеличится и может быть достигнет тысячи. Все эти разновидности вод, как уже изученные, так и возможные, можно сгруппировать в системы, которых Вернадский намечает 9. Среди этих систем наблюдаются такие, как растворы газа в воде, растворы химических соединений, коллоидальные растворы, механические мути, бактериальные мути, воды, переполненные живыми организмами более крупными, и т. д.

При дальнейшем изучении конечно наметится и дробление указанных выше систем. Как один из руководящих признаков при классификации вод является наличие газовых компонентов, по которым и намечаются первые основные группы вод, например воды кислородные, сероводородные, углекислые и т. д. В условиях земной коры подземные природные воды встречаются либо в состоянии напорном, либо в состоянии безнапорном. Под последними Вернадский подразумевает грунтовые воды. С точки

зрения чисто минеральных вод грунтовые воды можно разбить на 3 группы: на пресные с содержанием растворенных веществ до 1 г/л, соленые с содержанием до 50 г/л и рассолы с содержанием до 400 г/л. Учитывая наряду с приведенными выше характерными особенностями природных подземных вод также и факторы физико-географические и геологические, получим довольно цельную и простую общую гидрохимическую классификацию природных подземных вод. Мы получим три группы: пресные, соленые и рассолы. В каждой группе на основании газового состава мы получим классы. В каждом газовом классе при учете минерального состава мы будем иметь виды природной подземной воды и т. д.

Геолог Личков в некоторой степени примыкает к воззрениям Вернадского, но исходным моментом для своих суждений берет строение земной коры и приурочивает природные подземные воды к определенным геосферам или геоэонам, т. е. поясам земной коры. Таких поясов он различает три: у самой поверхности земли пояс выветривания, далее пояс метаморфический, распадающийся на два отдела: верхний — зона цементации, и нижний — зона глубинного метаморфизма, и наконец третий пояс — магматический. Поясу выветривания свойственны вадозные воды, которые подразделяются на почвенные воды, подпочвенные воды (и те и другие напора не имеют), артезианские, находящиеся под гидростатическим напором: а) пластовые и б) подземные водотоки. Поясу метаморфическому свойственны фреатические воды, а поясу магматическому — ювенильные воды. Эти воды имеют напор, связанный с глубинным давлением. Вадозные воды, по мнению Личкова, пресные, а фреатические и ювенильные — минеральные.

Что касается вопроса о применении геотермических признаков, то здесь мы встречаем также довольно много затруднений. В самом деле классификация, которую выдвинул Личков, учитывает, что воды должны рассматриваться как один из компонентов оболочки земной коры, находящейся в определенных температурных условиях и условиях давления. Поэтому подземные воды являются частью термодинамической оболочки земли, и вне этого термодинамического поля земной коры представлять подземную воду себе нельзя. Но если это и так, то все же, увязывая воду с отдельными термодинамическими оболочками, Личков допускает довольно существенные ошибки, которые весьма резко подчеркивают несоответствие его теоретических построений с тем, что наблюдается в действительности.

Уже разделение подземных вод соответственно геотермическим зонам на воды вадозные, фреатические и ювенильные, причем фреатические воды приурочиваются к поясу метаморфизма, вызывает большое недоумение. Правда, Личков оговаривается, что он использует именно этот термин потому, что лучшего пока он

придумать не мог. Тем не менее нельзя признать возможным использование этого термина в том смысле, какой ему придает Личков. Термин «фреатический» введен в гидрогеологию довольно давно и имеет широкое распространение. Фреатическими, или колодезными, водами называются те подземные воды, которые залегают близ земной поверхности и используются обыкновенными копаными колодцами. По существу это нисходящие воды, залегающие на первом от поверхности водоупорном слое — это воды, свойственные поясу выветривания. Противопоставлять вадозные воды фреатическим нельзя, потому что фреатические представляют собой часть вадозных вод. Геохимики называют фреатическими те минералы, которые в процессе гидратации образуются в поясе выветривания. Называть фреатическими воды, которые выделяются из фреатических минералов в зоне анаморфизма, поэтому как будто оснований нет.

Далее большое недоумение вызывает химическая характеристика воды. Личков называет вадозные воды пояса выветривания пресными в отличие от минеральных вод метаморфического и магматического поясов. Конечно с этим совершенно согласиться нельзя. Среди вадозных вод и подпочвенных (хотя бы воды ариадных зон) и артезианских (хотя бы наши пермские воды), очень много вод минеральных.

Точно так же и температурные условия учтены здесь своеобразно. Все воды пояса выветривания характеризуются как холодные. Между тем несомненно, что целый ряд терм и гейзеров следует связать по их происхождению именно с этим поясом.

В докладе, прочитанном в геологическом отделении Общества любителей естествознания в Москве, геолог В. С. Ильин предлагает разделение подземных вод на воды грунтовые, находящиеся в зоне поверхностного дренажа оврагами и реками, и на артезианские, залегающие ниже линии дренажа. Грунтовые воды разделяются на зональные и азональные. Под именем зональных грунтовых вод подразумеваются такие воды, которые связываются с зональными же климатическими и физико-географическими факторами. Азональными водами называются такие грунтовые воды, которые с климатическими зонами не так тесно увязаны, например болота тундр и болота прикаспийской полупустыни — волжские плавни. Артезианские воды распадаются на бассейны, выделяемые на основании стратиграфических и тектонических признаков.

В отношении разделения вод на типы особняком стоит классификация американских исследователей, которые выделяют две основные толщи или зоны земной коры: зону аэрации и зону насыщения. Под зоной аэрации подразумевается поверхностная толща земной коры, в которой подземные воды бывают спорадически и в которой происходят энергично процессы окисления благодаря наличию в пустотах породы воздуха. Под зоной насыщения подразумевается та часть земной коры, которая лежит

ниже зеркала грунтовых вод. Таким образом в понимании этих авторов приходится иметь дело только с двумя группами вод: с водами почвенными, в нашем понимании этого термина, и с водами, которые представляют собой сумму вод грунтовых и межпластовых. В верхних частях земной коры (повидимому в зоне поверхностного дренажа, как его понимает Ильин) возможно многократное чередование зон аэрации и зон насыщения водой.

Из этого краткого изложения различных классификаций можно видеть, насколько различны те основные классификационные моменты, которые принимаются как исходные отдельными авторами. Понятно, что для того чтобы получить единую классификацию, следовало бы прежде всего договориться до единой отправной точки зрения, без чего естественно трудно будет увязать построения различных авторов. Да фактически и невозможно в одну систему увязать такие классификации, как классификации Ильина и Вернадского или Жирмунского и Личкова. При практических работах последние три классификации имеют довольно много неудобств.

Если мы, подходя к подземным водам с практической точки зрения, положим в основу своих представлений тот главный признак, благодаря которому учение о жидкой фазе подземных вод выделяется в особую науку, а именно — динамичность подземных вод, и учтем условия залегания их в земной коре, то мы должны будем наметить три основных группы подземных вод. Эти 3 группы будут следующие: воды почвенные, воды грунтовые и воды межпластовые (табл. 23).

Почвенные воды залегают у самой дневной поверхности земли. Обычно они представляют явление сезонное, и область их распространения вполне совпадает с областью их питания. Питаются они за счет атмосферных осадков и атмосферной влаги, которая может в них сгущаться. Образование почвенных вод можно представить себе таким образом: если на какую-нибудь сухую поверхность земли, сложенную из водопроницаемых пород, например песка, выпадает некоторое количество влаги в виде дождя или снега (который впоследствии растает и превратится в жидкую воду), то эта вода впитывается в песок. Однако в силу влагоемкости песка она не проникнет глубоко в недра земли и распространится между зернами песка на глубину, которая определяется пористостью этого песка и его удельной водоотдачей. Следовательно, если на выбранную нами поверхность выпадает 10 мм дождя, то песок будет смочен на глубину не более 30 мм, а ниже он будет сухим и капельно-жидкая вода глубже не проникнет. Если бы на эту, только что смоченную поверхность выпало еще 10 мм дождя, которые могли бы точно так же впитаться в землю, то наш песок промокнет еще на 30 мм вглубь, а всего на 60 мм. Ниже песок останется сухим. Но под влиянием солнечного нагревания вода, напитавшая поверхностный слой песка, испарится, и через некоторое время мы

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

вадозные и смешанные

Классификационная схема подземных вод (по О. К. Данте)

Таблица 23

подвешенные	исходящие		восходящие
	мочевенные	сезонные постоянные (болота)	
	грунтовые	жильные флюидонные карстовые	жильные флюидонные
		фильтрационные	фильтрационные, ме
	межпластовые	жильные флюидонные карстовые	
		бассейны спорадические и структурные	
пресные, минеральные, рассолы			
	Пегм; колебания в суточные	Пегм; колебания в се- зонные, реже годовые	Пегм; колебания в годовые
		термы, гейзеры	
области питания и распространения не совпадают		совпадают	

бывать будем иметь совершенно сухую поверхность. Таким образом в данном примере вода напитывает поверхность земли только на очень небольшую глубину и дальше вглубь не проникает и проникнуть не может. Такая вода носит название воды подвешенной. Она может передвигаться вглубь только в том случае, если из состояния жидкого перейдет в состояние паро-

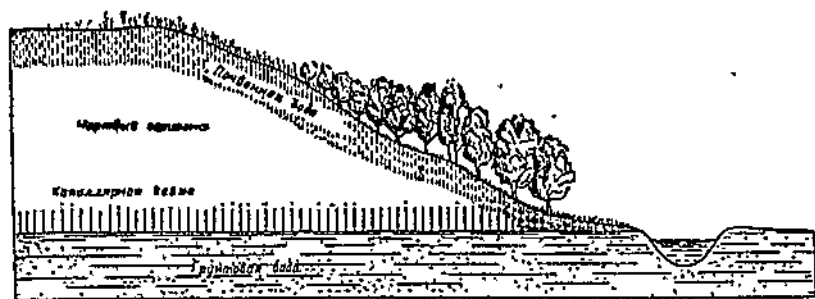


Рис. 20. Схема соотношения почвенных и грунтовых вод.

образное и только тогда уже пар воды будет передвигаться в направлении от мест с большим давлением в места с меньшим давлением.

Грунтовыми водами называются такие воды, которые находятся на первом от поверхности водоупорном слое. Эти воды либо представляют неподвижный подземный водоем или бассейн в том случае, если их водоупорное ложе залегает совершенно горизонтально, или мульдобразно в виде котловины. Тогда поверхность или зеркало грунтовых вод лежит горизонтально. От поверхности грунтовых вод вверх поднимается по капиллярам вода, так что если рыть колодец, то прежде чем встретить поверхность грунтовых вод, приходится прокопать толщу, увлажненную благодаря капиллярному подъему влаги вверх от зеркала грунтовых вод. Таким образом над зеркалом воды как будто есть капиллярная оторочка или кайма, которая вниз постепенно переходит в грунтовые воды. Если водоупорное ложе грунтовых вод обладает уклоном, то в сторону уклона стекает и грунтовая вода. В своем течении и в движении грунтовая вода подчинена силе тяжести и направляется из мест повышенных в места пониженные, образуя нисходящие потоки. Питание грунтовых вод в некоторых случаях совпадает с областью распространения, именно, если мы имеем бассейны подземных вод. Грунтовые потоки могут питаться и где-нибудь в стороне от места наблюдения. Так например грунтовый поток, текущий подземным путем из предгорья в равнину, обычно питается главным образом в области предгорья, где и осадков больше и где поверхность земли сложена из более проницаемых для воды пород.

Грунтовые воды могут перекрываться с поверхности водоупорными пластами или водоупорной кровлей, тогда они изолированы от выпадающих в этом месте осадков водоупорной толщей, и здесь уже возможно только боковое питание. Грунтовые воды

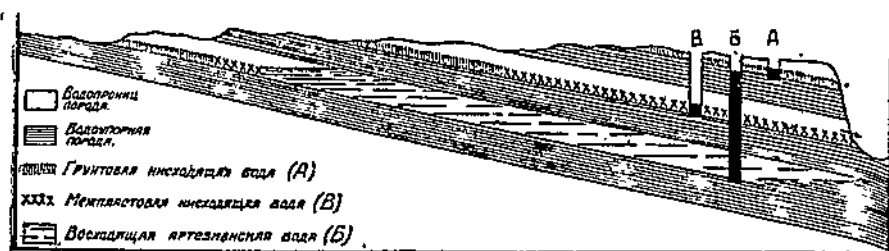


Рис. 21. Схема соотношения различных типов подземных вод.

в этом случае уже переходят в воды межпластовые, так как водоносная толща здесь зажата между двумя пластами водоупорных пород, из которых один пласт является водоупорным ложем, а другой — водоупорной кровлей. Вниз по падению водоносная толща может быть где-нибудь вскрыта в речной долине или в овраге и тогда поток межпластовой, нисходящей воды выступает на поверхность земли в виде родников или источников (естественный дренаж). Если рыть колодезь до межпластовой воды, то сперва надо прокопать безводную водоупорную толщу и затем уже добыть воду из нижележащего водопроницаемого водоносного слоя.

В некоторых случаях межпластовые потоки не имеют выхода из своего водоносного слоя, и тогда вода накапливается в водоносном слое как в мешке, заполняя все пространство между водоупорной кровлей и водоупорным ложем. При достаточном притоке грунтовой поток может не только заполнить все межпластовое пространство, но и выступить на поверхность земли в область питания, откуда этот грунтовой поток берет свое начало. Вода, зажата между двумя водоупорными пластами, находится под гидростатическим давлением. Если прорезать водоупорную кровлю колодезем, то вода заполнит этот колодезь доверху, а в некоторых случаях даже может выбиться фонтаном на поверхность земли. Такая межпластовая вода, находящаяся под напором и поднимающаяся в колодезь выше того места, на котором она была встречена при рытье колодца, носит название воды напорной, или артезианской. Артезианская вода представляет как бы частный случай воды межпластовой и отличается тем, что она представляет воду, восходящую в колодезь. Таким образом с точки зрения движения воды подземные воды можно разделить на 3 группы: на воды подвешенные, воды нисходящие и воды восходящие. Подвешенные воды характерны для почвенных, нисходящие — для грунтовых и отчасти для межпластовых со

свободным стоком и восходящие — для межпластовых, не имеющих выхода из водоносного пласта.

По способу продвижения в породе различают воды *фильтрационные*, которые медленно просачиваются через зернистые горные породы, следуя закономерностям Дарси, и воды *вильные*, передвигающиеся в трещинах и крупных пустотах горных пород подобно поверхностным потокам, соответственно закономерностям Шези.

По способу образования подземные воды распадаются на 1) *инфильтрационные*, под которыми подразумевают воды, просачивающиеся, как в искусственных фильтрах, сквозь мелкозернистые породы; 2) *инфлюационные*, втекающие из недр земли по более или менее крупным трещинам и пустотам, не отфильтровывая на своем пути несомых ими взвешенных

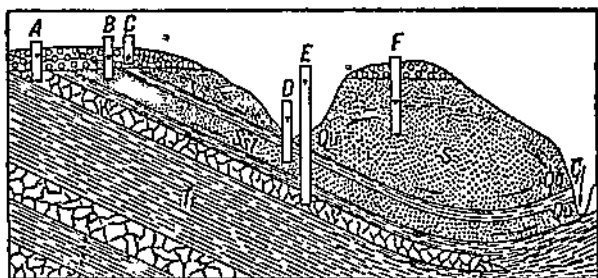


Рис. 22. A, B, C, F — колодцы грунтовой воды; D — межпластовой нисходящей; E — межпластовой восходящей воды; Qu — родники; K — известняк трещиноватый; S — песок; Sst — песчаник трещиноватый.

частиц; 3) *конденсационные*, которые образуются из парообразной влаги воздуха, заключающегося в подземных порах, трещинах и других пустотах; 4) *ювенильные*, к которым относят те подземные воды, которые связаны с поднимающимися из недр земли из магматической и метаморфической зон парами, а может быть и с диссоциированными газами. Если речь идет о выделении из магмы диссоциированных газов H и O, которые в дальнейшем соединяются в воду, мы говорим о ювенильных синтетических водах; если речь идет о парах воды, выделяемых магмой, мы говорим о *конденсационных ювенильных водах* и, наконец, если речь идет о водах, выделяющихся в зоне анаморфизма из минеральных масс, содержащих кристаллизационную или конституционную воду, мы говорим о *водах дегидратационных ювенильных*.

По почину американских исследователей выделяют еще группу *коннэтных* подземных вод, под которыми подразумевают воды, сохранившиеся в горных породах еще со времени образования этих пород в древние периоды. Коннэтные воды могут

быть либо морского происхождения, если они представляют воду того бассейна, в котором отлагались соответствующие осадки, составляющие теперь элемент суши, или же коннэтные воды могут быть континентального происхождения, если они сохранились в породе, образовавшейся в свое время на материке. Таким образом коннэтные воды в отличие от других вод представляют воды одновременные по своему происхождению с теми их содержащими слоями, в которых мы их теперь встречаем, тогда как остальные воды представляют образования современные или близкие к современным и только мигрируют в породах различного возраста. Так например современные осадки на пространстве Центральной черноземной области могут впитываться и в породу девонского периода, и каменноугольного, и юрского и т. д.

Некоторые русские авторы переводят термин «коннэтные», т. е. «одновременно рожденные», термином «ископаемые воды», что неправильно. Под именем «ископаемых вод» французский ученый Добре называл еще в 80-х годах те жильные образования преимущественно гидротермального происхождения, которые представляют собой химические осадки воды минувших эпох. Так например кварцевая жила, прорезающая известняк, представляет ископаемые остатки водного потока, некогда продвигавшегося в трещине этого известняка, потока, насыщенного кремнекислотой и выделившего эту кремнекислоту в трещину, сцементируя таким образом породу.

В отношении минерализации можно различать воды пресные, минеральные и рассолы в тех пределах, как это предложено В. И. Вернадским.

По температурным условиям различают пегги — холодные воды с температурой около или ниже средней годовой данной местности, но обыкновенно не выше 20°C , и гейзеры — с температурой кипения. Термы с температурой выше самой высокой средней температуры воздуха у экватора (около 30°C) носят название абсолютных терм.

ГЛАВА X

Почвенные воды

Почвенные воды представляют собой, как уже было указано, воды, залегающие у земной дневной поверхности. Они не имеют непосредственно под собой водоупорного ложа и в этом отношении являются как бы водами подвешенными. Наличие подобных вод можно представить себе следующим образом. Если на какой-нибудь поверхности выпало некоторое количество осадков, например 536 мм. (Москва), то часть этих осадков испарится, другая — стечет по неровностям рельефа и третья — допустим около 25%, т. е. 134 мм, просочится в землю. Если принять пористость земли в данном месте равной около 30%, то просочившаяся вода смочит землю на глубину не более 60 см и дальше вглубь не продвинется в силу влагоемкости земли. Таким образом эта вода окажется как бы во взвешенном состоянии в порах породы и будет существовать до тех пор, пока вследствие испарения или передвижения вглубь в парообразном состоянии не иссякнет.

Иногда почвенные воды определяют как воды, залегающие в той части почвы, которая занята корневыми системами травянистых и кустарниковых растений; или же определяют их как воды, приуроченные к зоне зимнего промерзания. И то и другое определения не вполне удовлетворительны и особенно второе. Если мы будем продвигаться с севера на юг, то мы постепенно попадем в область, где замерзание отсутствует, и таким образом как будто бы в этих областях невозможно наличие почвенных вод, тогда как на самом деле они там фактически прекрасно развиты.

Основное, что характеризует почвенные воды, это:

во-первых, их сезонный характер, так как они чрезвычайно резко зависят от гидрометеорологических факторов;

во-вторых, резкие колебания их температуры, так как они зимой могут замерзать, а летом нагреваются до температуры свыше 50°;

и, в-третьих, их зараженность микроорганизмами и органическими веществами (гумус). Эти обстоятельства делают непригодными почвенные воды для технического использования.

Так как они более всего интересуют агрономов и почвоведов, как один из важнейших факторов развития растительного покро-

ва, то по существу только в почвенной и агрономической литературе мы и встречаем более или менее полные сведения о жизни и характере этих вод. В некоторых случаях, когда почвенные воды получают постоянный характер и вызывают явления заболачивания, они привлекают внимание гидрогеологов и гидротехников.

Вопросы осушения — это вопросы, касающиеся удаления избыточных почвенных вод. Изучение процессов заболачивания и режима заболоченных пространств представляет одну из наиболее интересных глав при изучении почвенных вод вообще.

Можно различать два основных типа болот — болота водораздельные и болота долинные.

Первые возникают на более или менее равнинных междуречных пространствах, сложенных труднопроницаемыми породами и питаются за счет атмосферных осадков. Так как здесь наблюдается постоянное вымывание растворимых солей в более глубокие горизонты, а питающая болота вода почти совершенно лишена минеральных примесей, то в этих болотах развивается растительность, обладающая малозольным скелетом; поэтому образующиеся в таких болотах торфяники обладают малой зольностью и значительной калорийностью. Это преимущественно моховые (например сфагновые) болота.

Вторые, залегающие в пределах речных долин, или вдоль водоемов (озер, прудов и пр.), питаются либо за счет более или менее минерализованных вод водоемов, либо за счет выклинивающихся подземных вод, которые также обычно значительно минерализованы, поэтому и развивающаяся здесь растительность (камыши, осоки и пр.), давая материал для торфяников, сообщает последним значительную зольность.

В области развития песчаных пространств также иногда наблюдаются явления заболачивания, несмотря на то, что, казалось бы, здесь вся избыточная часть могла бы свободно фильтроваться вглубь. В результате передвижения вглубь почвенных растворов из верхней части почвы выносятся гумусовые соединения; встречая ниже (на глубине от 1 до 2 м) полутонные окислы, они образуют с ними нерастворимые железисто-гумусовые соли. Последние отлагаются вокруг песчинок, сцементируют их, образуя вначале ортзанды, которые в дальнейшем сливаются в сплошные водоупорные плиты-ортштейны, не дающие возможности напитывающей пески воде проникать далее вглубь; вследствие чего и происходит заболачивание песчаных массивов. Только путем раздробления образовавшихся плит-ортштейнов можно восстановить фильтрацию вглубь избыточной воды и вызвать осушение местности.

Одной из своеобразных разновидностей почвенной воды является вечная мерзлота, которая наблюдается там, где существуют годовые температуры ниже нуля. В СССР область вечной мерзлоты представляет полосу, прилегающую к Северному По-

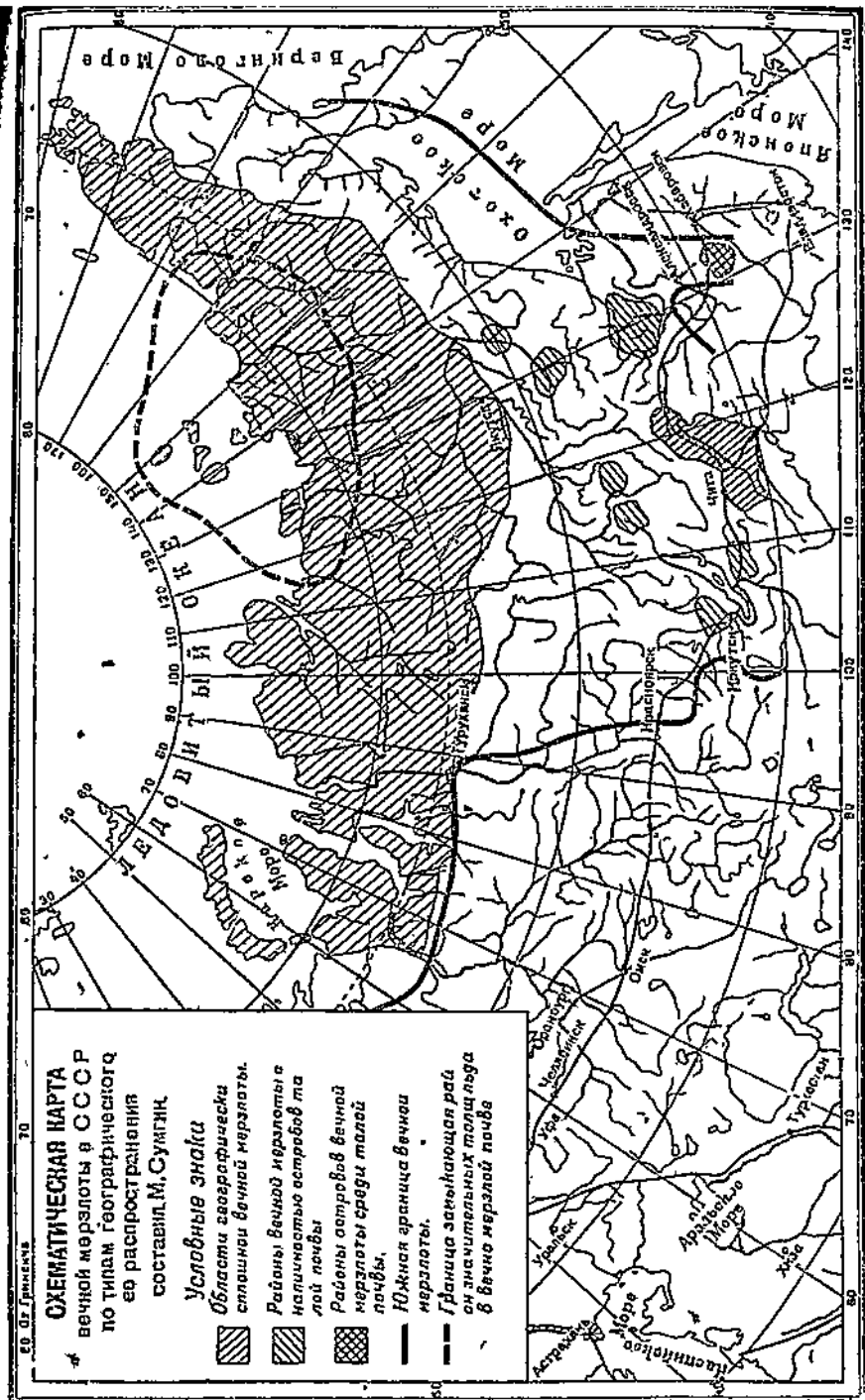


Рис. 23. Схематическая карта вечной мерзлоты М. Сумгина.

лярному морю и тянущуюся от северных концов Урала к Байкальскому озеру и далее вдоль Амура до Тихого океана. Однако не на всей этой полосе можно встретить вечную мерзлоту. Там, где зимы очень снежные, снеговой покров является хорошим изолятором от холода, и в таких местностях, несмотря на чрезвычайно низкие зимой температуры, вечная мерзлота не проявляется; здесь наблюдаются «талики» (пространства, свободные от вечной мерзлоты). В тех же местностях, где снежный покров зимой очень тонок, или где он, как например на буграх, сдувается ветром, там зимнее промерзание достигает значительной глубины, так что в течение короткого прохладного лета успевает оттаять только незначительная часть промерзшей за зиму толщи. Так как промерзший грунт непроницаем для воды, то он может иногда вызывать напор залегающей под ним грунтовой воды. Если слой вечной мерзлоты по каким-нибудь причинам этого напора не выдерживает, то грунтовая вода может выступить на поверхность и если это происходит зимой, то она может вызвать явление так называемых наледей. Если на склонах возвышенностей в местах, где развита вечная мерзлота, выклиниваются подземные воды, то по линии выклинивания, вследствие образования подземных наледей от замерзающей под землей воды, поверхность почвы сильно деформируется и вспучивается валами.

В железнодорожной практике известны случаи, когда в сооружения, построенные на вечно мерзлом грунте, зимой проступала подземная вода, так как внутри сооружения изменялся термальный режим и в пределах здания вечная мерзлота оттаивала, а подпертая подземная вода получала возможность выступить на поверхность.

Условия существования (режима) подземных вод в условиях вечной мерзлоты так своеобразны, что в последние годы в Восточной Сибири организованы специальные станции по изучению взаимоотношений вечной мерзлоты и подземных вод.

На первой прилагаемой карте (рис. 23) представлено распространение вечной мерзлоты на севере нашего Союза, а на второй (рис. 24) более детально граница вечной мерзлоты в районе Красноярска, Иркутска, Читы.

Если почвенные воды имеют возможность соединиться с залегающими ниже грунтовыми водами, то при сильном испарении почвенных вод вызываются капиллярные токи к поверхности земли, которые выносят как в почву, так и на поверхность ее растворимые в воде соли, вызывая осолонение почв.

Несмотря на то, что почвенные воды обычно заражены большим количеством микроорганизмов, следует заметить, что эти микроорганизмы далеко вглубь из почвенного слоя проникнуть не могут; обычно на глубине от 5 до 10 м микроорганизмов уже не бывает. С другой стороны, почвенный слой с его микробическим населением является и хорошим обеззараживающим фильтром, в котором гибнут болезнетворные бактерии, могущие попа-

дать в почву с нечистотами. Почвенные цитофаги уничтожают целый ряд заразных бактерий, как тифозных, холерных и др.

Иногда к почвенным водам относят и те скопления льда, которые наблюдаются в пещерах, хотя это и неосновательно. Ледяные пещеры, в отличие от вечной мерзлоты, могут существовать и в таких местностях, где годовая температура выше нуля. Для того чтобы лед мог возникнуть в таких пещерах и просуществовать в течение всего года, даже в теплое лето, необходимо, чтобы зимой температура в этой местности опускалась ниже нуля и чтобы пещеры представляли полости, направляющиеся в глубь земли. При этих условиях холодный воздух переохлаждает зимой стенки пещер, а благодаря уклону вглубь летом согревание этих пещер очень затруднительно. Попадающие в пещеры внешние воды замерзают там и в зависимости от размеров и глубины пещер могут продержаться очень долго. Пещеры, направляющиеся в глубь материка горизонтальными ходами, или ходами, поднимающимися кверху, непригодны для накопления в них льда. Как пример ледяных пещер в местностях с годовой температурой выше 0 можно привести Крым, окрестности Самары.

ГЛАВА XI

Грунтовые воды

Как указывалось выше, грунтовые воды представляют те воды, которые покоятся на первом от поверхности водоупорном горизонте. Они могут вмещаться в рыхлых породах и представлять следовательно воды фильтрационные, или же могут заполнять трещины в горных породах — и тогда это будут воды жильные.

По способу образования грунтовые воды могут быть либо инфильтрационными, либо конденсационными, либо инфлюационными.

У грунтовой воды надо различать ее водоупорное ложе и ее поверхность, носящую название скатерти или зеркала грунтовых вод.

Если роют колодец с целью использовать грунтовую воду, то прежде чем вскрыть зеркало или скатерть грунтовых вод, встречают влажную породу, и только несколько ниже в сооружаемом колодце устанавливается уровень воды более или менее постоянный. Вот этот уровень воды, устанавливающийся в колодце, и будет представлять собой как бы часть зеркала грунтовых вод. Та же влага, которая насыщает породу выше скрытого в колодце зеркала воды, представляет влагу, капиллярно поднимающуюся в породе и представляющую капиллярную кайму или оторочку зеркала или скатерти грунтовых вод. Капиллярная кайма в зависимости от характера породы может быть большей или меньшей толщины. В крупнозернистых песках она незначительна, в мелкоземистых породах она может достигнуть 2 м и более.

Если вскрыть на поверхности грунтовых вод несколько точек (колодцев) и связать вскрытые поверхности нивелировкой, то в одних случаях может оказаться, что все вскрытые точки лежат на одной высоте, т. е. принадлежат горизонтальной поверхности; в других случаях эти точки могут оказаться на различных высотах и представляют следовательно точки, расположенные на неровной поверхности, обладающей наклоном в каком-либо направлении. Если зеркало грунтовых вод обладает наклоном, то это указывает на то, что в данном случае грунтовая вода движется в том направлении, куда падает ее поверхность.

Грунтовые воды, залегающие таким образом, что зеркало их представляет горизонтальную поверхность, носят название «бас-

сейнов» грунтовой воды. Они либо залегают в котловинах (мульдах), либо на весьма правильном горизонтальном водоупорном ложе. Если же зеркало грунтовой воды наклонно, то мы имеем дело с «потоком» грунтовых вод.

Поверхность грунтового потока обладает неровностями, напоминающими неровности рельефа местности; но неровности поверхности подземного потока менее резко выражены, чем неровности рельефа земной поверхности.

Поверхность зеркала грунтовых вод можно выразить в так называемых горизонталях или линиях равного стояния грунтовых вод, которые названы гидроизогипсами.

Гидроизогипсы строятся совершенно так же, как и изогипсы рельефа земной поверхности. Для того чтобы выразить на карте при помощи гидроизогипс рельеф зеркала или скатерти грунтовых вод, необходимо вскрыть это зеркало в ряде точек, более или менее равномерно рассеянных на всем исследуемом пространстве, и занивелировать эти точки, причем можно принять либо абсолютные отметки для этих точек, если есть возможность увязать с каким-нибудь абсолютным

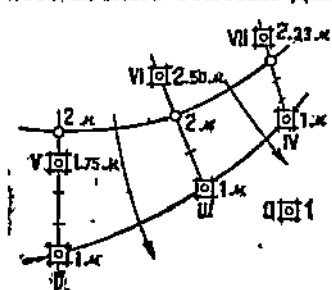


Рис. 25. Схема построения гидроизогипс.

пунктом на поверхности земли в данной местности; либо можно принять одну из точек, безразлично какую, за условно исходную, например за нулевую, и остальным придать отметки относительные к первой. Когда таким образом наша местность будет покрыта сетью точек, получивших высотные отметки, отнесенные к уровню грунтовых вод, то по этим точкам и приводят линии, соединяющие равные высоты на зеркале грун-

товых вод. Карты гидроизогипс имеют очень большое значение, так как они дают представление о направлении движения подземного потока.

Карты гидроизогипс имеют по существу не абсолютное значение, а относительное, потому что уровень грунтовых вод может испытывать значительные колебания в течение года, в связи с чем меняется иногда и направление движения подземного потока. Поэтому при построении карты гидроизогипс необходимо соблюдать следующие условия: точки, в которых предполагают замерить стояние уровня грунтовых вод, должны быть заготовлены заранее, и затем до возможности в короткий срок — в течение одного, двух, трех дней — замеряют уровень и на основании этих одновременных замеров и наносят гидроизогипсы на карту. Если составить карту гидроизогипс на различные сезоны года, то эти карты могут дать очень хорошее представление о динамике грунтового потока, т. е. о том, как изменяются мощность и направление течения грунтового потока во времени.

Рис. 26, 27, 28 дают представление об изменении уровня грунтовых вод в речной долине за время с весны до осени. Рис. 26 относится к 2 февраля, рис. 27 — к 12 марта (паводок) и рис. 28 — к 16 октября. Местность — долина р. Мозеля.

В некоторых случаях приходится определять стояние уровня грунтовых вод для небольшой площади. Тогда на исследуемом участке вскрывают в трех точках поверхность грунтового потока, увязывают эти три точки нивелировкой и затем определяют по

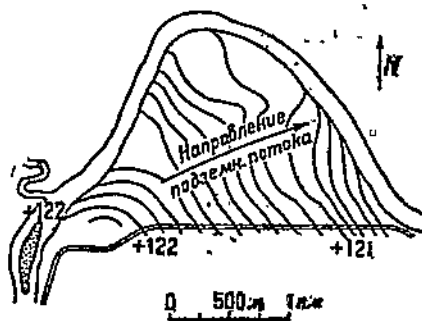


Рис. 26.

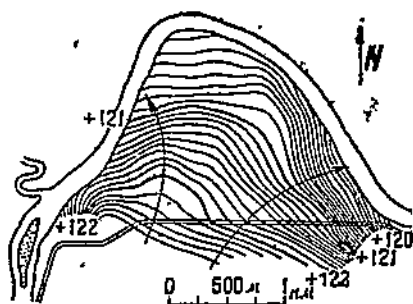


Рис. 27.

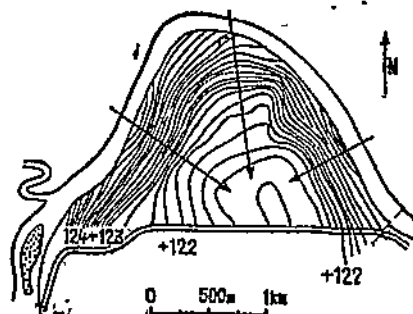


Рис. 28.

Рис. 26, 27, 28. Направление подземных потоков в долине р. Мозеля 2/II 1908 (26), 12/III 1908 (27) и 16/X 1908 (28).

этим трем точкам весьма простым геометрическим построением направления движения подземного потока. Необходимо не менее трех точек, расположенных не на одной линии, по возможности по вершинам равностороннего треугольника, так как только три точки определяют положение поверхности в пространстве.

Такого рода построение приходится часто делать при разрешении задачи о расположении различных сооружений — колодцев и выгребных ям и т. п. на какой-либо площади. Конечно колодцы, сооружаемые для сбора воды, должны быть расположены выше по потоку, нежели сбросные сооружения, в которые сплавляется загрязненная вода.

Температура грунтовых вод может подвергаться значительным колебаниям, причем колебания температуры тем сильнее, чем ближе зеркало грунтовых вод к поверхности земли. Если зеркало грунтовых вод лежит неглубоко, то грунтовые воды испытывают довольно определенные даже суточные колебания температуры. При более глубоком залегании грунтовых вод суточное колебание все более скрадывается, но годовые колебания все же могут иметь место.

Иногда колебания температуры могут помочь в вопросе о выяснении происхождения грунтовых вод. Так например, если грунтовые воды питаются из поверхностных водоемов, то изменение температуры в этих водоемах может сказываться и на изменении температуры грунтовых вод. Если воды грунтовые в какой-либо местности имеют питание где-либо вдали в предгорьях за счет талых снегов и льдов, то холодные воды ледников только постепенно передвигаются в равнины. Таким образом весной и в начале лета грунтовые воды могут обладать сравнительно высокой температурой, но к середине или к концу лета, по мере подхода холодных весенних вод из предгорий, температура грунтовых вод может значительно понизиться. То же наблюдается в таком случае, если реки питаются ледниковыми водами. Ранней весной, когда в горах льды еще скованы, температура речной воды не очень низка и грунтовые воды, питающиеся за счет просачивания в грунт речной воды, имеют примерно ту же температуру, что и река. Но когда приходит талая вода ледников, падает резко температура воды в реке, а через некоторое время падает и температура грунтовых вод.

Если грунтовые воды обладают резкими колебаниями температуры, то это служит неблагоприятным показателем в отношении практического использования этих вод. Такие воды могут легко загрязняться и служить источниками болезней.

Колебания уровня грунтовых вод иногда имеют весьма резко выраженный характер и достигают в течение года нескольких метров. Причины колебания уровня грунтовых вод очень разнообразны. Тут могут иметь значение прежде всего осадки, что особенно резко сказывается в равнинных областях, сложенных из легко проницаемых для воды пород. В этих случаях можно сравнительно легко установить связь между выпадением осадков и повышением или понижением уровня грунтовых вод.

В тех случаях, когда питание грунтовых вод идет за счет конденсации парообразной влаги, имеет значение недостаток насыщения влагой воздуха или его относительная влажность. Значительный недостаток насыщения вызывает усиленное испарение воды с поверхности земли и следовательно усиленный расход грунтовой воды на капиллярное поднятие, в связи с чем уровень грунтовых вод постепенно падает.

В некоторых случаях было заметно и влияние барометрического давления на стояние грунтовых вод и на расход родников. При

Понижении барометрического давления уровень грунтовых вод падал, а родники давали меньшие расходы. При повышении барометрического давления наблюдались явления обратные.

Однако если воды сильно газированы (углекислотой, сероводородом, метаном), то при понижении барометра усиливается выделение газов, увлекающих с собой воду. Вот почему перед грозой, метелью (циклоны) усиливается расход газированных источников, рудничные воды и газ заполняют шахты. Такие же явления наблюдаются и в колодезных водах, которые содержат обычно много растворенного воздуха.

П. Отоцкий следующим образом резюмирует влияние атмосферных факторов на колебания уровня грунтовых вод.

А. Температурные влияния

1. При всяком повышении почвенной температуры, когда тому не препятствуют другие факторы, уровень воды в колодцах поднимается, дебит источников увеличивается, при понижении температуры — наоборот.

2. Зависимость эта проявляется при прочих равных условиях, тем резче: 1) чем ближе к поверхности залегает тот водоносный слой и 2) чем мелкоземистее и теплопроводнее почва и грунт.

3. Эффект действия температурных колебаний проявляется сильнее в тех случаях, когда верхние слои почвы насыщены водами атмосферных осадков или иными.

4. Колебания уровня колодезных вод относятся к категории, по преимуществу периодических, суточного и годового цикла.

5. Суточные колебания воды проявляются ясно в некоторые периоды летнего сезона, годовые же обыкновенно маскируются иными факторами.

6. Почвенная температура воздействует на уровень колодезных вод различными путями: 1) преимущественно путем изменения давления (упругости) почвенных газов, в надводном слое почвы-грунта, 2) конденсацией циркулирующей в почве парообразной влаги и внутрипочвенным испарением, 3) путем изменения силы капиллярного поднятия грунтовой воды.

7. При изменении упругости почвенных газов происходят нередко значительные колебания уровня воды в колодцах, в то время как уровень собственно грунтовых вод обнаруживает лишь микрометрические колебания противоположного направления; при действии же двух других агентов (п. 6) происходят движения уровня грунтовых и колодезных вод одновременные и равнозначные.

Б. Барические влияния

1. Среди факторов, вызывающих кратковременные колебания уровня колодезных вод и дебита источников, находится и атмосферное давление.

2. Гидробарические колебания бывают беспорядочные и ритмичные (полусуточные).

3. При всяком повышении барометра уровень колодезных вод понижается, дебит источников слабеет, при понижении — наоборот.

4. При прочих равных условиях эффект действия барометрического давления выступает резче: 1) при более высоком барическом градиенте, 2) близ моментов перегиба барометрических кривых, 3) в более глубоких колодцах, 4) при более плотных почвах-грунтах.

5. Влияние атмосферного давления большей частью сплетается с влияниями других факторов (температуры, осадков, агентов механических, биологических и др.), а потому нередко ими маскируется и даже парализуется.

6. Вероятны два типа гидробарических колебаний: 1) вертикальные движения всей толщи подземных вод, сопряженные с движением участков земной коры; 2) движение одних открытых или полуоткрытых грунтовых вод, колодезных, ключевых, рудничных и др. вследствие изменений в упругости почвенных надводных газов.

7. Обе категории колебаний могут происходить одновременно и согласно.

В. Влияние упругости почвенных газов

1. При всяком более или менее значительном выпадении жидких осадков на незамерзшую почву уровень колодезных вод подымается, если тому не препятствуют другие метеорологические факторы, даже в тех случаях, когда между почвой и водоносным слоем залегает слой предельно-сухого грунта.

2. Поднятие уровня обычно наступает или непосредственно после выпадения осадков, или через столь короткий промежуток времени, что исключается всякая возможность просачивания до уровня грунтовой воды.

3. Высота поднятия уровня колодезной воды зависит от чрезвычайного множества внутренних и внешних факторов, так что установление общего коэффициента действия осадков едва ли возможно.

4. Вслед за поднятием уровня воды обычно наступает его опускание до отправной высоты, что свидетельствует о нарушении гидростатического равновесия в водоносном горизонте.

5. Движение уровня колодезных вод вызывается не обогащением водоносного слоя выпавшими осадками, а вследствие изменившегося гидростатического давления на уровень грунтовых вод.

6. Изменение давления (упругости) почвенных газов производится жидкими осадками двумя путями: 1) непосредственно — силой их тяжести и 2) конденсацией действия других метеорологических и геофизических агентов, в силу закупорки водой верхних слоев почвы.

7. В противоположность общепринятому мнению, осадки в огромном большинстве случаев не только не поднимают уровня грунтовых вод, но производят на них депрессионное действие.

Г. Влияние сезонных явлений

1. В равнинных странах средних и высоких широт, именно в странах с зимним снежным покровом, весной обычно наблюдается чрезвычайно быстрый и резкий подъем колодезных вод, достигающий местами нескольких метров.

2. Темп и размеры подъема находятся повидимому в прямом отношении: 1) с общим запасом в почве зимне-весенней влаги, 2) с энергией весеннего прогревания почвы, 3) с плотностью почвы и 4) с глубиной залегания водоносного слоя.

3. Начало подъема вод приурочено к моменту оттаивания поверхностных слоев промерзшей почвы.

4. Вслед за максимумом поднятия наступает более медленное опускание уровня колодезных вод.

5. Депрессионная кривая обычно представляет собой неравномерно изломанную линию, являясь равнодействующей многих факторов: силы тяжести водяного столба, атмосферного давления, осадков, колеблющейся температуры, восстановления скважности почвы, пробудившейся вегетационной деятельности, обогащения водоносного слоя конденсационной влагой и т. п.

6. В огромном большинстве случаев явление весеннего подъема колодезных вод не стоит в прямой связи и зависимости от поднятия водоносного горизонта: последнее может лишь сопутствовать ему и то лишь в незначительной степени вследствие прироста конденсированной влаги или притока воды со стороны.

7. Годовая кривая колебаний колодезных вод и вод собственно грунтовых, равно как и их баланс, большей частью совершенно различны.

8. Увеличение весной влажности глубоких горизонтов почвы грунта может представлять собой фикцию истинного увлажнения вследствие методологических недостатков исследования.

II. Отоцкий указывает, что:

«Режим грунтовых вод—явление чрезвычайно сложное, требующее для анализа его иных более тонких методов исследования, чем применявшиеся доселе, но ни в каком случае не может отождествляться с режимом вод колодезных».

В приморских областях на колебания уровня грунтовых вод имеют влияние морские приливы и отливы. В этих условиях получаются правильные ритмические колебания уровня грунтовых вод, причем эти колебания достигают большого диапазона у самых побережий и постепенно замирают внутри материка, причем, как и морские приливы и отливы, грунтовые воды испытывают колебания ежедневные, месячные и годовые.

Если питание грунтовых вод происходит из каких-либо водоемов или рек, то колебание уровня воды в этих водоемах передается грунтовым водам, причем опять-таки по направлению от реки или водоема колебание передается все в более смягченном виде и с некоторым запозданием; это запоздание тем больше, чем дальше находится наблюдательный пункт от реки или водоема.

Если уровень грунтовых вод лежит очень близко к поверхности земли и рельеф местности волнист или обладает впадинами, то при колебаниях уровня грунтовых вод возможны периодиче-

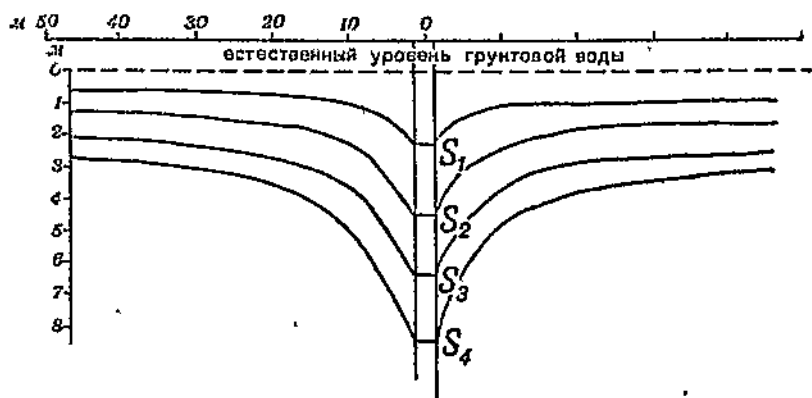


Рис. 29. Схема действия колодца-осушителя на уровень грунтовых вод. S_1 , S_2 , S_3 и S_4 —постепенные понижения уровня воды в колодце.

ские выходы грунтовых вод на поверхность; если такие выходы грунтовых вод на поверхность захватывают большие равнинные

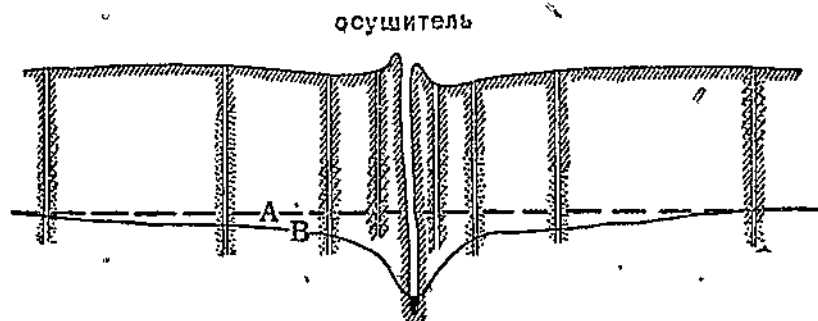


Рис. 30. Схема действия канала-осушителя.

пространства, то получают заболоченные массивы; если грунтовые воды выступают в котловинах, то могут образоваться временные озера; если грунтовые воды выступают по водотокам оврагов, то образуются родники и ключи.

Колебания уровня грунтовых вод могут происходить от искусственных причин. Искусственным путем можно понизить уровень грунтовых вод, выбирая (откачивая) воду из водоносного слоя.

В некоторых случаях такого рода понижение уровня грунтовых вод применяют для осушения местности тогда, когда близость грунтовых вод к поверхности земли мешает сооружениям или вызывает заболачивание. Понижение грунтовых вод вызывают, либо устраивая колодцы, из которых вода откачивается насосами, либо проводя так называемые дренажные каналы, которые отводят избыточную грунтовую воду в какое-нибудь естественное понижение, например овраги, речные долины и пр.

Надо заметить, что всякая откачка грунтовых вод, хотя бы с целью водоснабжения, вызывает понижение уровня грунтовых вод, причем это понижение будет тем больше, чем более значительное количество воды выбирается из грунта.

В других случаях таким же искусственным способом можно повысить уровень грунтовых вод, если грунтовым водам придают новые массы воды с поверхности. Так например при орошении полей замечается всегда подъем зеркала грунтовых вод. Иногда в результате такого подъема зеркала грунтовых вод в засушливых

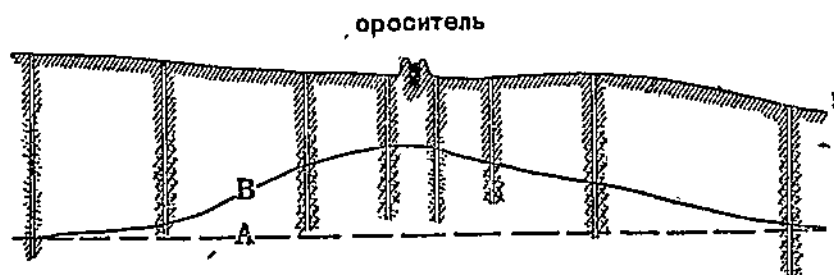


Рис. 31. Схема действия оросителя на уровень грунтовых вод. А—естественное и В—повышенное зеркало грунтовых вод. У

местностях возникают весьма нежелательные последствия в виде засоления почвы. Когда уровень грунтовых вод поднимается настолько, что капиллярные токи могут достигнуть поверхности земли, то в силу испарения вода превращается в пар и уносится атмосферой, а приносимые капиллярной водой в растворе из грунта минеральные массы остаются в почве.

В связи с колебаниями уровня грунтовых вод находятся также и колебания их химического состава. Замечено, что химический состав грунтовой воды испытывает колебания, которые часто носят такой же ритмический характер, как и колебания уровня грунтовых вод или колебания температуры грунтовых вод.

Изменение уровня грунтовых вод температуры, химизма носит общее название «режима грунтовых вод». Для изучения режима грунтовых вод предпринимают специальные стационарные исследования. Эти стационарные исследования заключаются в том,

что в ряде пунктов той местности, которая подлежит обследованию, закладывают наблюдательные колодцы, копанные или буровые, и производят замеры стояния уровня грунтовых вод, температуры воды, химического состава воды в определенные, заранее заданные сроки.

Так как важно не только знать колебания уровня, температуры и химизма грунтовых вод, но и причины этих колебаний, то в связи с этими стационарными наблюдениями обыкновенно ставят также и гидрометеорологические наблюдения, если только в данной местности нет уже функционирующих метеорологических станций, которые замеряют выпадающие осадки, влажность воздуха, его температуру и т. п.

Результаты стационарных наблюдений обыкновенно сводят в графики, которые дают наглядное представление о характере наблюдаемых колебаний. Если на один и тот же график (рис. 32, 33) наносить условно обозначенными или разноцветными линиями различные элементы наблюдений — стояние уровня грунтовых вод, температуру грунтовых вод, количество выпавших

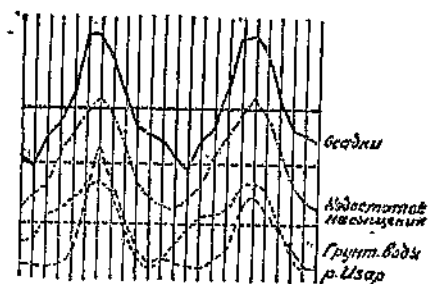


Рис. 32. График колебания уровня в реке, подземной воды, недостатка насыщения и осадков.

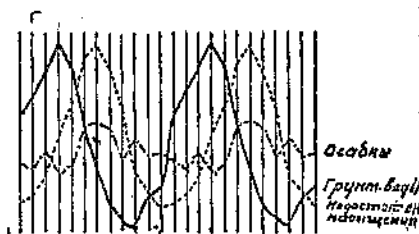


Рис. 33. График колебания уровня подземной воды, осадков и недостатка насыщения.

осадков, влажность воздуха, стояние уровня воды в прилегающих поверхностных водоемах и т. д., то можно получить наглядную картину соотношений различных факторов между собой.

Для практических целей важно бывает знать не только направление движения грунтовых вод и их режим, но и скорость движения грунтовых вод. Так например, если мы используем воду какого-нибудь подземного потока, то в зависимости от того, как скоро поступит в наше распоряжение новый запас воды, мы будем получать большее или меньшее количество воды в свое распоряжение. При медленной подаче воды по потоку мы можем изъять из потока сравнительно небольшое количество воды. При быстрой подаче воды из потока такой же мощности мы можем изъять гораздо большее количество воды.

Определение скорости движения грунтовой воды можно произвести различными способами. Если известно направление движе-

ния грунтовой воды, которое устанавливается системой гидроизогипс, то тогда по направлению потока устанавливают на сравнительно небольшом расстоянии в 1, 2, 3 м два колодца копанных или буровых. В один из этих колодцев вводится какое-либо вещество, которое должно быть затем уловлено в следующем ниже по потоку расположенном колодце. Такие вещества, по которым определяют скорость движения грунтовых вод, носят название индикаторов движения грунтовых вод.

Эти индикаторы довольно разнообразны. Так например индикатором может служить раствор поваренной соли, хлористый натрий. Присутствие хлористого натрия очень легко и просто открывается азотнокислым серебром, дающим с хлористым натрием осадок нерастворимого в воде хлористого серебра¹.

Этот способ определения скорости подземного потока неприемлем в том случае, если грунтовые воды уже сами по себе сильно минерализованы и содержат хлористый натрий. В таких случаях можно воспользоваться красящими индикаторами. Некоторые из анилиновых красок, например флуоресцин, довольно легко открываются в растворах 1 : 500 млн., а если имеются соответствующие приборы, то и в разведении 1 : 1 000 млн. Флуоресцин неприменим в случае кислых болотных вод, которые его разлагают и обесцвечивают, а также в глинистых породах, которые адсорбируют краску.

Иногда как индикатором пользуются микроскопически мелкими бактериями, которые сравнительно легко открываются в воде благодаря цветному пигменту и не обладают самостоятельными движениями, так что массивно уносятся потоком.

Все эти способы имеют то неудобство, что наблюдатель во все время испытания связан с наблюдательным пунктом, должен через определенные короткие промежутки брать пробы воды и либо испытывать их химическими реакциями, либо рассматривать под микроскопом, либо определять их окраску.

Американец Слехтер предложил следующий метод: как индикатором пользуются электролитической солью, например хлористым аммонием. В один из колодцев опускают катод, в другой — анод, затем вводят в систему гальванометр или амперметр (рис. 34) и по отклонению стрелки прибора определяют момент прохождения через контрольный колодец электролита. Таким образом при этом способе не приходится брать проб воды для испытания, достаточно только в систему проводов через определенные моменты вводить свой прибор. Можно снабдить этот прибор самописцем, и тогда наблюдатель совершенно свободен и только просматривает записи самописца (см. далее стр. 190, гл. XIX).

В некоторых случаях можно устанавливать скорость движения воды, наблюдая колебания уровня воды в колодце. Если у нас вдоль потока подземных вод имеется серия колодцев, то пониже-

¹ См. схему полевого анализа воды, пункт 12 (стр. 35).

ние или повышение уровня в них происходит не одновременно, а с некоторым запаздыванием. Если отмечать в одно и то же время стояние уровня воды в этих колодцах за определенный период времени и затем построить графики этих колебаний, то отсюда можно сравнительно легко и просто выяснить и скорость движения грунтовых вод. Надо однако исключить случаи повышения уровня гидростатического порядка. Волны такого повышения передаются со скоростью нескольких сот метров в сутки.

Наблюдения, которые производились над скоростями движения грунтовых потоков, дали следующие результаты: если грунтовые потоки приурочены к песчаным слоям, то скорости движения их весьма малы. В очень мелкоземистых породах они менее 1 м в сутки; в более крупнообломочных, например в крупнозернистых песках или в гравии, они достигают нескольких метров в сутки; если же грунтовые воды заключены в породах трещиноватых, то скорость их движения значительно больше и достигает в сутки нескольких километров.

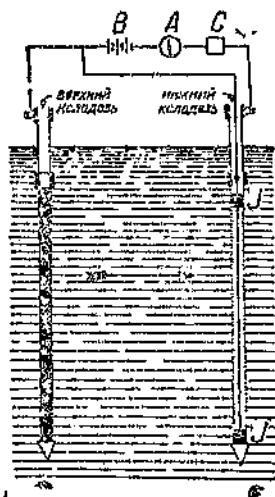


Рис. 34. Схема расположения аппаратуры при электрическом методе определения скорости движения подземной воды.

Своеобразный случай нахождения грунтовых вод в природе — это так называемые воды дюнных скоплений. Под именем дюн подразумевают песчаные нагромождения, навешенные сильным ветром вблизи морских побережий за счет песка, выбрасываемого морским прибоем на берег, либо в песчаных континентальных пустынях. Дюнные пески обычно хорошо проницаемы для воды. Иногда из дюнных песков сложены бывают также и острова вблизи пологих песчаных берегов. Поверхность грунтовых вод в дюне имеет приблизительно ту же форму, как и поверхность дюны, но поверхность грунтовых вод более плоская. То же самое наблюдается и на песчаных островах дюнных побережий. Подземные воды в средней части на этих островах лежат выше, нежели уровень окружающего остров моря. Если

проникать буровой скважиной или колодцем в глубь грунтовой воды, то можно заметить, что вначале получается вода пресная и на некоторой глубине, которая ниже, нежели уровень прилегающей к острову морской водной поверхности, получается соленая вода. Там, где наиболее высоко приподнято зеркало грунтовых вод над уровнем моря, наиболее глубоко залегает на острове и соленая морская вода. Если сделать разрез через дюнный остров, то пресная вода имеет форму чечевицы, верхняя сторона которой сравнительно слабо выпукла, а нижняя выпукла значительно сильнее.

Причину этого видят в следующем: атмосферные осадки, выпадающие на поверхность дюны, просачиваются в песок и проникают до поверхности морской соленой воды. Смешение пресной и соленой вод в порах песчаного грунта происходит чрезвычайно медленно. Поэтому морская вода испытывает давление пресной воды и под этим давлением прогибается; пресная вода плавает наподобие льдины на морской воде.

Если мы разрежем чечевицу пресной воды горизонтальной поверхностью, которая являлась бы продолжением уровня морской воды, то высота чечевицы над этой горизонтальной поверхностью будет во много раз меньше, нежели высота другой половины чечевицы, обращенной вниз к морской воде. Соотношение между этими двумя высотами находится в зависимости от плотности морской воды данного побережья. Если плотность морской воды принять равной 1,025, а пресной воды принять равной 1, то тогда высота той части чечевицы (линзы), которая находится ниже уровня моря, будет равна высоте той части чечевицы, которая находится выше уровня моря, помноженной на $\frac{1}{1,025-1} = 42$. Другими словами, если высота линзы над уровнем моря 1 м, то толщина линз ниже уровня моря будет 40 м.

Грунтовые воды дюнных островов используются рыбаками в качестве питьевой воды. Замечено, что при интенсивном водоразборе уровень воды в сооруженных здесь колодцах падает, и если этот уровень упадет до уровня морского, то в колодце оказывается соленая вода. Таким образом понижение уровня воды в колодце (или облегчение груза пресной воды на поверхности морской воды) вызывает подъем морской воды, причем, если поверхность грунтовой воды в колодце падает на 1 м, то поверхность морской воды под дном колодца поднимается за этот же срок на 40 м. Подобного же рода появление пресных вод над солеными морскими наблюдается и на черноморском побережье в песчаных бругах, так называемых кучутурах, где пресная вода также используется местными жителями.

Некоторую аналогию с грунтовыми водами в дюнных областях и на песчаных морских островах можно видеть в режиме оросительных вод там, где орошаются массивы, обладающие на некоторой глубине грунтовыми водами малоподвижными и более или менее сильно минерализованными. Примером такой области можно привести Голодную степь в Средней Азии. Грунтовые воды в Голодной степи засолены довольно сильно. Плотный осадок в грунтовой воде нередко достигает 10 г и более на 1 л. Если орошается какой-нибудь участок, то профильтровавшаяся вода, достигая грунтовой минерализованной воды, растекается по ее поверхности.

Благодаря равнинности степи, крайне ничтожному уклону зеркала грунтовых вод и мелкоземистости содержимого ею ила движения грунтовых вод почти незаметно, а некоторыми иссле-

дователями даже отрицается. При этих условиях проникающая с поверхности пресная вода представляет как бы некоторую нагрузку на минерализованную воду. Под давлением этой нагрузки и вследствие чрезвычайно медленного смешения пресной и соленой воды происходит вытеснение минеральной воды в сторону и некоторое выравнивание общего уровня за счет подъема его за пределами орошаемого участка.

В силу этого нередко можно наблюдать, что как только начинается орошение какого-нибудь участка в окружающих его неорошаемых пространствах начинают сказываться процессы осолонения почвы. Это осолонение вызывается тем, что здесь выжимаемая из-под орошаемого участка минерализованная вода поднимает свой уровень за пределами орошения, и если этот уровень поднимается настолько, что капиллярные токи могут достигать поверхности почвы, то под влиянием усиленного нагревания почвы и испарения из нее влаги происходит интенсивная миграция солей из грунтовых вод в почвенный слой.

В некоторых случаях прибегают к созданию искусственных грунтовых вод. Это делается в том случае, если поверхностные воды по каким-либо причинам недостаточны или неподходящи для практического использования. Так например в некоторых сложенных песками речных долинах, глубоко прорезываемых существующим речным потоком, а потому весьма бедных подземной водой, так как последняя дренируется рекой, устраивают следующие мероприятия: река выше города, нуждающегося в подземной воде для водоснабжения, перегораживается барражем (плотиной), благодаря которому уровень воды в реке поднимается настолько, что заливает выше барража на некотором протяжении сложенную песками долину реки. Разлившаяся по долине река просачивается в песчаную толщу древних речных наносов, проникает под основанием и в обход барража в нижележащую часть долины, где и перехватывается водосборными сооружениями. Этим способом достигается обогащение подземного потока водой и в то же время очистка от загрязняющих его взвешенных веществ, а может быть и от микроорганизмов, при фильтрации воды через песчаную толщу речной долины, играющей в данном случае роль естественного фильтра. Таким образом удастся получить очень значительные количества весьма доброкачественной воды, которая вполне может удовлетворять самым строгим санитарным требованиям водоснабжения.

Впервые подобные устройства были осуществлены в Германии, затем в Швеции. У нас предусмотрено подобным способом увеличить водоносность района мытищинских водозаборных сооружений, питающих в значительной мере московский водопровод. При предельном водозаборе около 50 тыс. м³ в сутки здесь уровень воды в колодцах понижается на 8,5 м, вместе с тем значительно повышается жесткость воды. Этот район расположен в до-

длине притока р. Москвы—р. Яузы, заполненной флювиогляциальными песками.

В небольшом масштабе подобные же, как их называют, «фабрики грунтовых вод», устраиваются и в Самарском Заволжье. Здесь в засушливых местах, обладающих сравнительно полого падающими балками, несущими воду только во время весеннего таяния снегов и лишь изредка во время осенних дождей, обычно воды не бывает, а если вода и встречается на некоторой глубине в наносах, то часто она бывает сильно минерализованной. Если перегородить такую балку плотиной, то выше плотины собирается пруд, вода которого частью испаряется, а частью просачивается в грунт и проходит под плотиной подземным путем. Так как здесь устанавливается значительный ток, постоянный приток же, то он производит довольно энергичное расслоение уже существующего ранее грунтового потока или промывает от засоления наносы балки. Поэтому колодцы, поставленные ниже этой плотины, дают обычно пресную воду, весьма пригодную и для водопоя и для питья.

Вода в этих колодцах держится не только в то время, когда имеется вода в пруде, но даже, когда вода в пруду уже иссякает, все же некоторое время вода в колодцах еще держится. Таким образом очень простые и доступные по своей дешевизне для небольших поселений мероприятия позволяют воспользоваться грунтовой водой для практического употребления.

Конечно такого рода искусственные водоемы, создаваемые для того, чтобы путем фильтрации из них вод получить искусственные грунтовые воды, служат также и для отложения в них тех взвешенных частиц, которые несет с собой полая вода. Дно этих прудов постепенно заиляется, фильтрующее свойство грунта ухудшается, и эти пруды или нужно время от времени очищать от ила, или переносить их на другое место.

ГЛАВА XII

Условия залегания грунтовых вод в природе

Залегание грунтовых вод в природе настолько разнообразно, что требуется в это разнообразие внести некоторую закономерность и провести как бы классификацию различных случаев нахождения грунтовых вод в природе.

В этом направлении наиболее простым является выяснение условий нахождения грунтовых вод в природе в различных условиях рельефа. Прежде всего можно противопоставить понижения рельефа, представляющие долины ныне существующих или древних потоков и междуречные пространства.

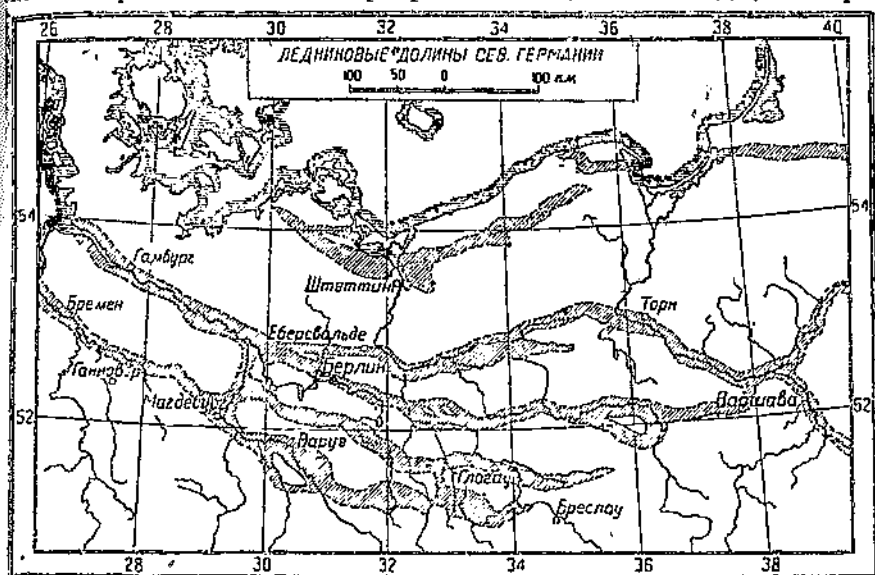
Речные долины в зависимости от своей древности и происхождения могут быть заполненными флювиогляциальными отложениями ледниковых потоков. В этом случае они обычно представляют значительные скопления хорошо промытого песчаного или песчано-гравелистого материала, который является и хорошим аккумулятором и хорошим проводником подземной воды. К этой же категории можно отнести и обширные задровые равнины, представляющие скопление флювиогляциальных песчаных и песчано-валунных отложений. Распределение этих древних русел естественно приурочено к тем областям земной поверхности, которые были в свое время охвачены оледенением. В зависимости от местных условий формирование этих потоков происходило довольно разнообразно в различных областях. Любопытно сопоставить распределение их, с одной стороны, на пространстве Германской низменности и, с другой стороны, на пространстве прилегающей к ней с востока Русской платформы.

На Германской низменности наблюдается шесть ясно выраженных гряд конечных морен. Самая древняя из них располагается наиболее южно и самая молодая находится на побережьях Балтийского моря. Параллельно этим грядам конечных морен располагаются широкими лентами отложения древних флювиогляциальных потоков. Эти потоки имели сток только на запад, потому что на юге и на юго-востоке покрытую ледником равнину ограждали высоко поднятые предгорья. Флювиогляциальные потоки, лежащие южнее первой и второй моренных гряд, впадали непосредственно в Атлантический океан. По мере отступления к се-

Веру более молодым потокам открывался доступ в Северное Балтийское моря.

Современные речные системы Северогерманской низменности частью протекают в пределах этих древних долин, а частью пробивают междуречные морены, образуя своеобразное сплетение древних и новых речных систем.

Обладая довольно большим количеством осадков, умеренным климатом, малыми уклонами, современная Северная Германия представляет в силу этого весьма благоприятные условия для питания флювиогляциальных массивов древнеречных долин, которые представляют в настоящее время хранилища мощных потоков грунтовых вод. Эти потоки в целом ряде случаев представляют огромные запасы прекрасной подземной воды, которая



Древние ледниковые долины.

Рис. 35. Схема ледниковых долин Северной Германии.

используется для практических целей, требующих значительных расходов.

В пределах Русской платформы благодаря совершенно иным условиям рельефа распределения конечных морен и связанных с ними флювиогляциальных отложений несколько иное. Песчаные пространства местами образуют вместо правильных лент Северной Германии обширные пятна, но эти пятна все же очень закономерно и определенно складываются в два определенных направления¹. Одно из этих направлений представлено песчаными

¹ См. прилагаемую карту грунтовых вод, составленную В. С. Ильиным, где эти направления выражены лентами аллювиальных вод (рис. 36).

бассейнами правых притоков Днепра (бассейн Припяти), затем имеет свое продолжение на его левых притоках и далее в бассейнах рр. Оки, Волги и Камы. Другая серия пятен расположена севернее; одним из ее концов на юго-западе является обширные песчаные пространства по Западной Двине, продолжением этой полосы являются песчаные пятна в области левых притоков Волги и уходят они далее далеко в область Нижней Печоры. И здесь, как и в Западной Европе, эти песчаные пространства богаты весьма обильной, прекрасно отфильтрованной водой. Характерным примером этого рода вод могут служить воды Мытищенского водосборного бассейна, питающие водопровод Москвы. Здесь ледниковые пески на сравнительно небольшом пространстве бассейна очень мелкого притока р. Москвы — р. Яузы, являются аккумулятором атмосферных осадков, дающим суточные расходы для водопровода в несколько миллионов ведер. И в других случаях, когда были попытки использовать воды подобных песчаных пространств для практических целей, количественно и качественно воды эти давали очень хороший материал.

В отличие от этих мощных отложений древних ледниковых потоков аллювиальные отложения древних и современных рек представляют по существу значительно более скромные размеры. С другой стороны, эти отложения в типе часто гораздо более глинисты, и в связи с этим их водоносные свойства значительно ниже.

Почти во всех аллювиальных отложениях наблюдается преобладание более мелкоземистых в верхней части — результат отложений паводковой мути, которая до известной степени кальматрирует верхние горизонты аллювиальных линз. В связи с этим в аллювиальных отложениях часто наблюдается некоторый подъем воды в колодцах и буровых сооружений по сравнению с тем первоначальным уровнем, на котором эти воды встречаются. Так как аллювиальные линзы часто налегают на коренные породы, из которых может в аллювий просачиваться и межпластовая вода, то эти явления гидростатического напора могут иногда давать значительный эффект.

Подобного рода случаи наблюдались близ Дмитрова в долине р. Яхромы, где из разведочных буровых скважин вода забила фонтаном на высоту до 3—3,5 м. Однако обычно, несмотря на значительный гидростатический напор, количественно эти воды довольно бедны и только тогда, когда мы имеем дело с аллювиальными отложениями крупных речных долин, можно рассчитывать и на более или менее значительные запасы аллювиальных вод. Если аллювий принадлежит к системам, несущим воду спорадически, то грунтовая вода в этих случаях часто имеет ясно выраженный сезонный характер. Она обильна в паводковое время и скудна, или даже совершенно исчезает, в межень.

В пределах междуречных пространств следует выделять: 1) водораздельные равнины и 2) склоны, падающие к долинам.

На водоразделах в зависимости от их размеров и рельефа. Грунтовые воды могут иногда скопляться в довольно большом количестве. Следует различать области, испытавшие когда-то оледенение, и области, оледенения не испытавшие. В первом случае мы имеем на водоразделах моренные отложения, с поверхности подвергшиеся в большей или меньшей мере выветриванию (элювий морены). Эти моренные отложения, представляющие по существу суглинки, богатые валунами, довольно плохо проницаемы для воды, хотя и сильно влагоемки. Грунтовые воды лежат в них очень неглубоко и носят довольно резко выраженный сезонный характер. Эти воды имеют иногда характер подвешенных вод. Если эти области представляют равнины с легкими бессточными впадинами, то при таких условиях рельефа мы здесь встречаем очень часто явления более или менее интенсивного заболачивания.

В тех областях, которые оледенения не испытывали, мы имеем на поверхности коренные породы, или их элювий. В зависимости от характера этих поверхностных образований они могут либо быть хорошо проницаемы для воды, либо наоборот сложенными водоупорными толщами. Если поверхностные отложения представлены песками, то здесь можно ждать и более или менее обильной грунтовой воды. Также благоприятны для скопления грунтовой воды и те районы, в которых эти водораздельные пространства сложены трещиноватыми опоками или кремнистыми глинами. Здесь вода легко проникает в более глубокие слои кремнистых глин или опок и дает довольно обильные воды, приближающиеся по своему характеру к водам жильным.

Если эти потоки залегают непосредственно на белом мелу, или мягких белых мергелях, как это имеет место в Калужском, Тамбовском, Пензенском, Ульяновском районах и в других местах, то грунтовые воды проникают здесь до мела или мергеля, представляющие менее проницаемые толщи, но зато довольно легко размокающие и размываемые, вследствие чего развиваются очень типичные провальные образования, в виде провалов, концентрических воронок, глубина которых зависит от мощности опок или кремнистых глин, перекрывающих мел, и достигает иногда 10—15 м.

Склоны в зависимости от их крутизны либо дают выходы в одних случаях моренных отложений, в других случаях коренных пород, либо покрыты делювиальными чехлами. В этих делювиальных чехлах также может собираться грунтовая вода, но значительные наклоны поверхности делювия и его наклонное залегание на склонах представляют хорошие условия для поверхностного и подземного стока. Поэтому воды делювиальных отложений невольно бывают очень скудными. Если делювиальные чехлы маскируют выходы межпластовых вод, то тогда можно бывает под этим делювиальным чехлом вскрыть коренные воды,

количество и качество которых зависит от природы межпластового горизонта.

Количество и глубина залегания грунтовых вод зависят не только от факторов геологических, но и климатических. Некоторые исследователи (Леваковский, Отоцкий, Ильин) указывают на определенную зональность в распределении грунтовых вод. Особенно подробно эта зональность (региональность) грунтовых вод выявлена на составленной Ильиным и демонстрировавшейся на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке в 1922 г. карте грунтовых вод, на которой развита следующая идея.

В пределах Европейской части СССР можно наметить следующие районы-зоны: 1) избыточного увлажнения, 2) умеренного увлажнения, 3) недостаточного, 4) полупустыни и 5) пустыни. В свою очередь в каждом из этих районов зон намечаются типы: 1—а) тундровых вод, б) болотных вод, в) высоких вод северного типа, г) грунтовых вод областей конечных морен; 2—а) аллювиальных вод, б) высоких вод овражного типа, в) глубоких вод овражного типа; 3—а) овражно-балочного, б) балочного глубокого (причерноморского) и в) балочного неглубокого (прикаспийского); 4 и 5—а) вод солончаковых, б) глубоких вод, в) пресных вод дюн и барханов.

К своей статье «Грунтовые воды», помещенной в XIX томе Большой советской энциклопедии, В. С. Ильин приложил схематическую карту грунтовых вод Европейской части СССР (в красках); несколько упрощенная копия с нее прилагается здесь (рис. 36). На карте выделяются воды зональные, т. е. распределенные поясами, сменяющимися закономерно с севера на юг в связи с другими климатическими и физическими факторами от Белого до Черного морей, и воды а зональные, в своем распределении никаким закономерностям не подчинены. В общем характеристика этих вод такова.

1. Зональные грунтовые воды

а) Зона тундровых вод. Сюда принадлежат высокие воды тундр Севера. Они почти совершенно не минерализованы, но содержат так много органических веществ, что для питья часто совершенно непригодны.

б) Зона высоких вод Севера. Грунтовые воды приурочены главным образом к четвертичным отложениям и залегают близко к поверхности — на междуречьях, на глубине 2—4 м, а в пониженных местах почти сливаются с болотами. Воды мягкие, часто с примесью органических веществ.

в) Зона неглубоких оврагов. Грунтовые воды здесь близки к поверхности пониженных мест междуречий; в оврагах и речных долинах рек обычны обильные ключи, питающие реки. Воды мягкие.

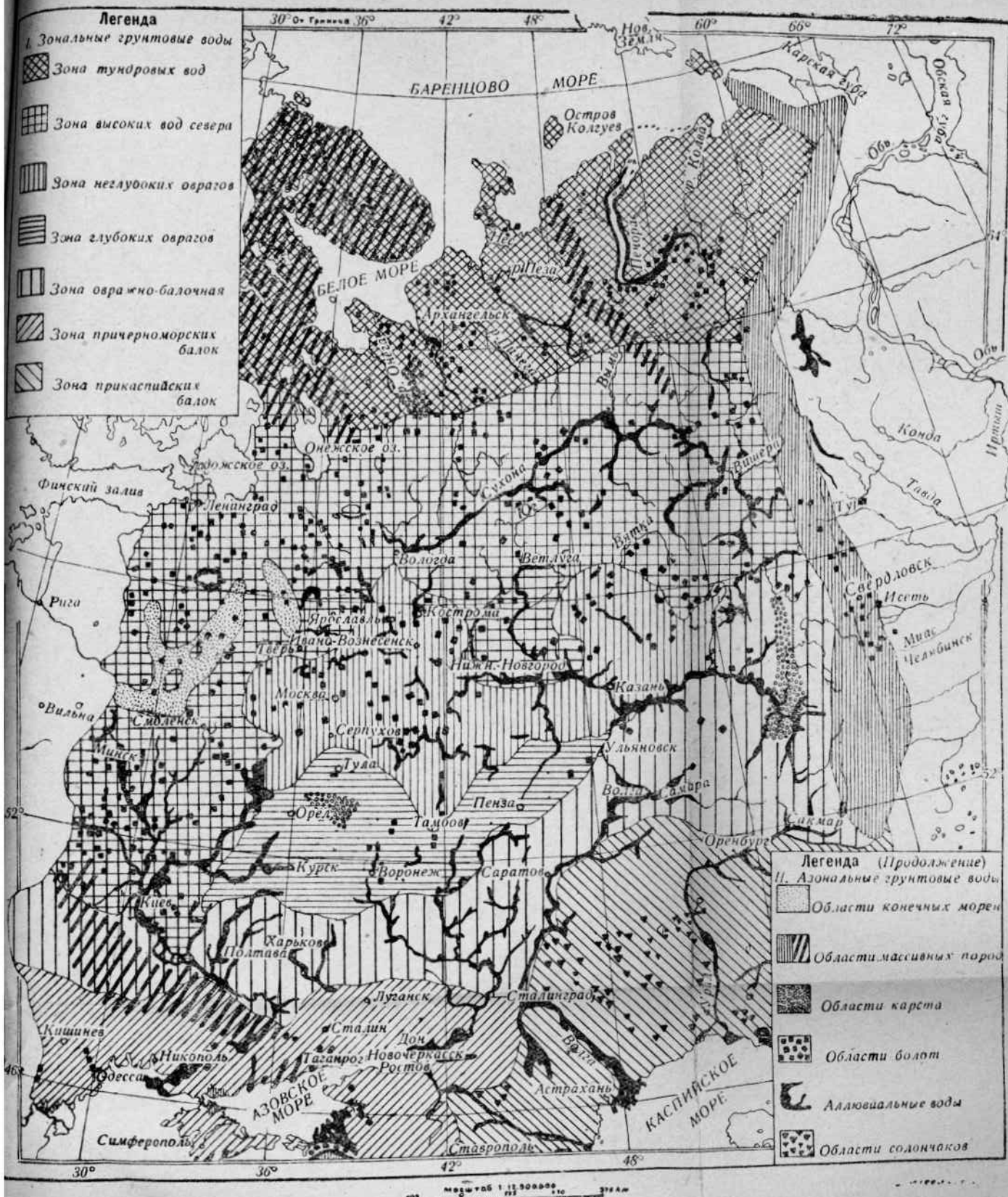


Рис. 36. Карта зональных и азональных вод Европейской части СССР (копия с карты В. С. Ильина в Б. С. Э., т. 19).

г) Зона глубоких оврагов. На междуречьях воды здесь залегают довольно глубоко. В оврагах и речных долинах обычны обильные ключи, питающие реки. Колебания уровня грунтовых вод довольно значительны. Качество вод удовлетворительное, жесткость средняя.

д) Зона овражно-балочная. Грунтовые воды почти всюду залегают глубоко. Верховодка часто пересыхает. Ключи редки. Воды обычно жесткие, иногда солоноватые.

е) Зона причерноморских балок. Грунтовые воды залегают очень глубоко, иногда глубже 100 м, обычно очень жестки, засолены или солоноваты. Ближе всего к поверхности в долинах балок.

ж) Зона прикаспийских балок. В прикаспийской впадине грунтовые воды при близком к поверхности залегании сохраняют отрицательные черты предыдущей зоны в условиях расчлененного рельефа.

2. Азональные грунтовые воды

з) Области конечных морен. Глубина залегания очень разнообразна, от почти поверхностной до 100 м. Воды обычно средней жесткости, часто железисты.

и) Области массивных пород. Грунтовые воды жильные или же собраны в щебне и древесине коренных пород. Глубина залегания различная — на севере почти у поверхности, на юге в зависимости от рельефа. Качество вод очень разнообразно, обычно удовлетворительно.

к) Области карста. Грунтовые воды залегают на различной глубине в легко растворимых породах и типах. Обычно жестки, часто негодны для питья.

л) Области болот. Грунтовые воды залегают на уровне земной поверхности, иногда образуя свободные водные пространства, иногда только пропитывая почву. Качество неудовлетворительное (много органических веществ).

м) Области аллювиальных вод. Грунтовые воды в аллювиальных и флювиогляциальных образованиях. Уровень их часто связан с высотой стояния воды в реках и озерах и с колебаниями уровня последних. Качество обычно хорошее.

н) Области солончаков. Болота с соленой водой, часто пересыхающие. Состав солей очень разнообразен.

В условиях предгорий, например в Средней Азии, там, где приалки (предгорья) переходят в равнины, наблюдается очень закономерное распределение глубины залегания и минерализации грунтовых вод. В крупнообломочных частях приалков мы наблюдаем энергичное поглощение гидрометеоров, поверхностных потоков и вод коренных пород, вклинивающихся под галечниками. Здесь грунтовые воды лежат глубоко (30—40 м и более). В направлении к равнине крупные галечники переходят в гравий,

песок, суглинки. Вместе с тем замедляется и движение подземного потока, уровень его нарастает, увеличивается и его минерализация за счет растворенных по пути солей. Наконец на некотором расстоянии от привалков зеркало грунтовых вод подступает к дневной поверхности, появляются родники, мочажины, болотца и пр. (например в районе г. Коканд, Фрунзе и др.). Поступающая вода энергично расходуется на испарение и орошение; поэтому

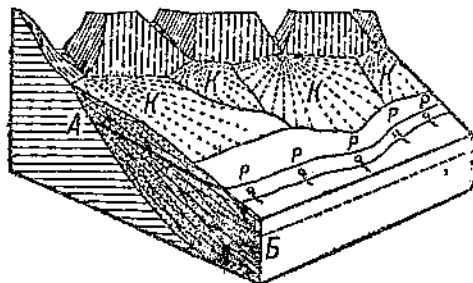


Рис. 37. Схема условий залегания грунтовых вод в предгорьях. *K*—конус выноса, *P*—родник, *AB* — зеркало грунтовой воды.



Рис. 38. Схема расположения зоны выклинивания по периферии конуса выноса.

далее вниз зеркало подземной воды вновь понижается (вторая зона поглощения), вода залегает здесь уже в лёссовидных суглинках и обычно становится солоноватой (рис. 37, 38).

Г Л А В А XIII

Межпластовые воды

Межпластовые воды отличаются от грунтовых тем, что они перекрыты с поверхности водоупорной кровлей, поэтому межпластовые воды обычно имеют питание в области более или менее отдаленной от их местонахождения.

Если слой, несущий межпластовую воду, выклинивается где-нибудь в овраге или в речной долине, то вместе с ним выклиниваются также в виде родников или источников те воды, которые заключены в этом слое. Таким образом мы имеем проточную воду, по своим условиям передвижения вполне аналогичную грунтовой воде. Это такая же нисходящая гравитационная вода.

От грунтовой межпластовая вода отличается тем, что температура ее не подвержена таким резким колебаниям, как температура грунтовой воды. Нормально колебания температуры межпластовой воды очень ничтожны, и на них сказываются собственно только колебания сезонные и годовые. Обычно суточных и месячных колебаний температуры мы здесь не заметим.

В отношении химического состава межпластовые воды довольно разнообразны. Их минерализация зависит от пород, по которым они проходят. В этом отношении межпластовые и грунтовые воды весьма сходны, но так как путь межпластовых вод значительно больше, чем грунтовых, то нормально минерализация межпластовых вод бывает несколько выше. В некоторых случаях, если межпластовым потоком промывается какая-нибудь легко растворимая минеральная масса, например каменная соль, то межпластовые воды могут даже представлять рассол.

При чередовании в вертикальном направлении пластов водопроницаемых и водоупорных может оказаться, что несколько межпластовых водоносных горизонтов залегают один над другим. Таким образом, если бы мы стали рыть глубокий колодец, то мы могли бы этим колодцем вскрыть несколько водоносных горизонтов, изолированных друг от друга водоупорными пластами, и остановить свой выбор на том из этих водоносных горизонтов, который по количеству и по качеству воды оказался бы для наших целей наиболее благоприятным.

В некоторых случаях вода, проникшая в межпластовый водопроницаемый горизонт, не имеет выхода. Это может случиться,

если системы слоев водоупорных и водопроницаемых залегают мульдобразно. Тогда, начиная с замка или с центральной части мульды, происходит накопление воды, которая, заполняя слой, уже будет находиться в нем под гидростатическим напором.

Точно так же вода может оказаться под гидростатическим напором, если мы будем иметь дело с изменением водоносного слоя в горизонтальном направлении от крупнозернистого в мелкоземистый. Это часто бывает в тех случаях, когда мы имеем дело с прибрежными отложениями некогда существовавших морских бассейнов. В прибрежных областях морей обычно происходит довольно быстрая смена крупнозернистого материала, отлагающегося по воде вблизи берегов, более мелким по направлению вглубь бассейна, причем крупнозернистые пески сменяются мелкозернистыми и далее переходят в илы. Но илы для воды уже непроницаемы. Поэтому поступившая из области питания в крупнозернистый материал вода постепенно передвигается в сторону мелкоземистого и все более водоупорного и далее выхода не находит. Вследствие этого происходит накопление воды в водоносном пласте. Не имеющая выхода вода оказывается под гидростатическим давлением вновь поступающих масс воды.

Если вскрыть кровлю такой воды колодца, то вода устремляется в колодец, и если область питания лежит значительно выше, нежели то место, где расположен колодец, то вода может вылиться даже на поверхность земли. Таким образом эта вода обладает восходимостью и носит название восходящей, или артезианской.

Термин «артезианский» происходит из французской провинции Артуа (которая в древности называлась Артезиа), где впервые в Европе стали получать при помощи трубчатых колодцев фонтанирующую воду. Из этой местности искусство получения напорной воды распространилось по всей Европе; за водоносным слоем, дающим восходящую воду, сохранилось название артезианского водоносного слоя, и колодцы, которые добывают эту воду, также получили название артезианских колодцев.

Если устроить колодец трубчатый не очень большого диаметра, то при значительном гидростатическом давлении вода из такого колодца бьет фонтаном. В некоторых случаях фонтаны бьют на высоту до 10 м и более. Можно трубы колодца нарастить до такой высоты, что изливание прекратится. Таким образом мы как бы замыкаем восходящий ток воды в трубы. Придывая к этой трубе на разной высоте краны, мы можем, открывая их, получить воду.

Если мы предположим, что мы должны были, для того чтобы прекратить фонтанирование воды, нарастить трубы до высоты 5 м, а краны приделаем на высоте 4, 3, 2 и 1 м, то если мы будем пользоваться водой из кранов разной высоты, мы получим разное количество воды. Наименьше воды даст тот кран, который рас-

положен на высоте 4 м; кран, расположенный на высоте 3 м, даст воды больше, следующий кран даст воды еще больше.

Но если бы оказалось воды, которую даст нам самый низко расположенный кран, недостаточно, то мы тогда можем опустить в колодец водоприемный рукав насоса и выкачать больше воды, чем сколько ее самоизливается на поверхность земли. При этом уровень воды в колодце понизится, станет ниже уровня земли, и тем больше будет понижаться уровень воды в колодце, чем больше воды мы из него будем выкачивать.

Коэффициент, определяющий количество воды, которое может дать колодец при понижении на 1 м уровня в нем воды, носит название удельной производительности колодца. Удельная производительность разных колодцев будет различной.

Однако из артезианского колодца нельзя получить бесконечного количества воды. По мере того как мы будем воду выкачивать, уровень воды в нем будет все падать, пока вода в колодце не иссякнет совершенно. То количество воды, которое может дать артезианский колодец, зависит, во-первых, от мощности водоносного слоя, во-вторых, от того, каковы условия передвижения воды в этом слое и, в-третьих, от того, насколько высоко залегает область питания артезианского водоносного горизонта над тем местом, в котором мы забираем воду. Для того чтобы удобнее судить о сравнительной благонадежности колодцев, дающих восходящую воду, можно построить график по следующей системе: если мы начертим вертикальную линию и верхнюю точку ее примем за нулевую, приурочив к ней стояние уровня воды в колодце в тот момент, когда мы из него воды вообще не получаем, а затем на этой вертикальной линии отметим положение уровня в такие моменты, когда мы берем из колодца определенные количества воды, и от этих точек по горизонтали отложим линии, которые будут соответствовать тем количествам воды, какие мы выбираем из колодца, то тогда, соединяя концы этих линий между собой, мы получаем наклонную прямую линию.

Если эта наклонная линия падает круто, приближаясь к вертикальной линии, то наш колодец неблагонадежен, так как при понижении уровня воды в нем количество подаваемой воды увеличивается незначительно. Если же эта наклонная линия близка к горизонтали, то колодец весьма благонадежен потому, что по мере понижения уровня воды в колодце мы получаем большие приросты расходы воды (рис. 47).

Так как межпластовые восходящие или артезианские воды представляют очень большую важность в деле водоснабжения, то естественно стремятся установить такие области, в которых возможно получение восходящих вод. Конечно наиболее благоприятным будет тот случай, когда восхождение воды настолько интенсивно, что она подается самотеком или фонтаном на поверхность земли, когда приходится затрачивать только средства на сооружение колодца, а самая подача воды происходит

бесплатно. Но если и нет самоистечения воды и воду приходится выкачивать из колодца насосами, то все же то обстоятельство, что вода сама подошла на некоторую высоту, избавляет от необходимости поднимать ее от самого водоносного слоя.

Существуют колодцы, в которых межпластовая восходящая вода была встречена от поверхности земли на расстоянии в несколько сот метров. Если эта вода поднялась в колодце настолько, что она не достигла поверхности всего 10 м, то все же она избавляет от необходимости поднимать ее от кровли до этих 10 м.

Количества воды, которые подаются самотечными колодцами, бывают иногда очень значительными и достигают нескольких сотен м³ в час.

Подъем воды в артезианском колодце или напор исчисляют либо от нижней поверхности водоупорной кровли (абсолютный напор), либо от поверхности земли (относительный напор). В последнем случае говорят о положительном (+) напоре при самоизливающейся воде и отрицательном (—) напоре при отсутствии излияния. Так например:

Колодец А. Абсолютные отметки: устья + 130 м, дна — 182 м, появления воды — 175 м установившейся воды + 138 м. Следовательно его общая глубина 312 м, абсолютный напор 313 м, относительный напор — плюс 8 м.

Колодец Б. Абсолютные отметки: устья + 143 м, дна — 180 м, появления воды — 176 м, установившейся воды + 139 м. Следовательно общая глубина 323 м, абсолютный напор 315 м, относительный напор — минус 4 м.

В колодце А вода самоизливается, из колодца Б ее надо выкачивать.

Если над водоносным слоем, в котором заключена напорная восходящая вода, залегают глинистые легко размываемые породы, то восходящие воды в некоторых случаях могут даже вызвать весьма неприятные последствия, иногда грозящие катастрофой. Так например в Брянске при сооружении артезианского колодца в арсенале был встречен водоносный горизонт, обладавший очень большим напором; вода устремилась к поверхности с такой силой, что размывала стенки еще не закрепленного металлическими трубками колодца и вызвала значительные осадки грунта, в результате которых пострадало несколько расположенных вблизи колодца зданий.

Иногда водоносный слой бывает сложен из очень мелких песков. Восходящий поток, бьющий фонтаном на поверхности земли, может вызвать вымывание песка из водоносного слоя, увлекает песчинки с собой, выносит их на поверхность земли, вследствие этого в водоносном слое образуются крупные полости, в результате которых получаются обвалы. Такой случай имел место в Германии близ города Шнейдемюле.

Так как наличие артезианских восходящих вод обусловлено соответствующим залеганием водоносных пород, то можно как

залегающих на его площади водоносных и водоупорных слоев, причем в понятие артезианского бассейна входит, во-первых, область питания, откуда вода поступает в межпластовую серию и, во-вторых, область восхождения, в которой благодаря соответствующему залеганию слоев вода находится под гидростатическим давлением.

Артезианские бассейны выделяют на основании стратиграфических, тектонических и литологических признаков. На пространстве Европейской части СССР можно наметить следующие главные артезианские области.

Первая из них существенно сложена палеозойскими отложениями. Эти отложения относятся к девонскому, каменноугольному и пермскому периодам. Они залегают в виде огромной сложной построенной мульды или прогиба, занимающего пространство между Уралом, Белым и Балтийским морями и центральной русской возвышенностью.

На прилагаемой «Карте районов фактического и возможного использования артезианских и глубоких вод Европейской части СССР» (рис. 39), составленной А. Н. Семихатовым и напечатанной в его работе «Артезианские и глубокие грунтовые воды Европейской части СССР», весьма рельефно выступают соотношения геологического и гидрогеологического строения этой обширной области. Более точные границы этой области отмечаются на северо-западе, западе, юго-западе и юге выходом на дневную поверхность девонских отложений главного поля и его северо-восточной и юго-восточной осей. В палеозойских толщах насчитывается несколько водоносных горизонтов, обладающих значительным напором и большими количествами вод. Наиболее глубоко залегают девонские артезианские горизонты, представляющие как бы ложе всего бассейна. Водоносность девонских отложений более изучена по линии Новгород — Смоленск — Орел. Здесь собственно находится область питания этого горизонта. В области напора известно несколько фонтанирующих скважин.

Летом 1932 г. закончена буровая скважина в Замоскворечье глубиной около 720 м, давшая из верхнедевонских отложений соленую воду.

Северо-западная окраина этой верхнепалеозойской артезианской области ограничена выходами древнего палеозоя, также обладающего восходящими водами, используемыми в Ленинградской области. В схеме разрез древнего палеозоя следующий.

Силур	1. Везенбергские известняки	до 12 м
	2. Иевские известняки	10 "
	3. Кукерские сланцы в смолистых мергелях	12 "
	4. Эхиносферитовый известняк	9 "
	5. Ортоцератитовый известняк	30 "
	6. Глауколитовый известняк	12 "
	7. " песок	3 "

Кембрий	8. Горючий диктонемовый сланец . . .	6 .
	9. Углюитовый песчаник	21 .
	10. Немой песчаник	15 .
	11. Синяя глина с прослоями песка и песчаника	184 .
Докембрий — гранит		

В кембрийских отложениях водоносные пески в синей глине (11). В Ленинграде вода в них вскрыта на глубине 103 и 158 м, она оказалась соленой, самоизливающейся.

В силурийских известняках вода пресная, самоизливающаяся. В нижнесилурийской толще есть несколько водоносных горизонтов, но они мало изучены.

Девонские отложения запада (главного поля) и юга построены неодинаково.

На западе верхнедевонские отложения представлены песчано-глинистыми породами; преобладают пестрые глины и мергеля, неправильно с ними чередуются разноцветные пески и рыхлые песчаники. Глины и пески часто переходят друг в друга. Общая мощность их до 90 м. Водоносные горизонты приурочены к песчаным разностям и не фонтанируют в существующих скважинах.

В среднедевонских отложениях мы имеем известняково-доломитовую свиту, переслаивающуюся с красными песчано-глинистыми породами, включающими и соленосные прослойки. Вся эта толща достигает мощности до 65—70 м. Вода встречается как в верхней более глинистой части, так и в известняках. Вода из последних часто самоизливается.

Нижнедевонские отложения состоят главным образом из песчано-глинистых отложений. Преобладают песчаные разности. Общая мощность достигает 110 м, хотя и не всюду одинакова. Вода обычно хорошего качества, но не самоизливается.

Отложения юго-восточной девонской оси значительно отличаются по составу от отложений главного поля. Здесь мы имеем только верхнедевонские слои. В основании их залегают континентальные образования (песчаники, суглинки), выше располагаются морские отложения эпиконтинентального характера, намечается деление на 6 ярусов.

В семилукском; воронежском и евлановском ярусах преобладают известковистые глины, мергеля, конгломераты, в елецком, лебедянском и малевко-мураевнинском преобладают известняки. Мощность первой группы до 160 м, второй — до 150 м. Некоторые исследователи относят малевко-мураевнинские слои уже к основанию карбона.

На западе (Брянск) воды обильны и фонтанируют, они хорошего качества. На востоке (Рязск) воды не самоизливаются и солоноваты (около 4 г плотного остатка на 1 л). В Москве девонские породы лежат от отметки 181 м (абс.) и вскрыты на глубину до отметки — около 600 м (воронежские слои). Вода в них солоновата.

Область выходов девона на востоке и северо-востоке является областью питания и гидрологически не изучена.

Область распространения каменноугольных отложений лучше всего изучена в Подмосковном районе, где в общем состав ее следующий:

Гжельский ярус	1. Доломитизированные известняки с прослоями светлосерых и пестрых глин	до 40 м
	2. Чередующаяся толща известняка и красных и пестрых глин	30 "
Московский ярус	3. Мячковский горизонт мягких фузулиновых известняков	25 "
	4. Подольский горизонт плотных белых известняков	40 "
	5. Каширский горизонт мергелей и известняков	50 "
	6. Верейский горизонт красных и зеленоватых глин	15 "
Серпуховской ярус	7. Толща плотных известняков, сложенная пластом серой глины	40 "
Продуктовый ярус	8. Алексинские и веневские известняки. 9. Тульские темные глины, мергели, пески и песчаники с прослоями угля	50 " 15 "
Угленосная свита	10. Чередующаяся свита глины, то чистых каолиновых, то с колчеданом, песков, песчаников с прослоями каменного угля. По направлению с юга на север происходит заметная смена песков глинами	60 "
Чернышинский ярус	11. Толща серых известняков	7 "
	12. Известняки р. Упы	30 "
Малевко-муравнинские отложения девона.		

Эта схема строения каменноугольных отложений испытывает изменения как в направлении на северо-запад, так и на восток и в направлении к центру (к Москве). Так например к центру и к северо-западу выклиниваются слои 11 и 12, а на востоке мы встречаем над слоем 1 еще толщу швагелиновых известняков.

Свита каменноугольных отложений водоносна на многих горизонтах. В ней наблюдается чередование глин и песков — в нижней части, глин и разбитых трещинами известняков — в верхней. Вследствие волнистого залегания, вызывающего чередование валов и впадин, здесь намечаются отдельные районы восходящих вод. Лучше всего изучена прилегающая к Москве местность. В самой Москве много буровых колодцев, из которых некоторые дают огромное количество воды (до 5 550 л/сек). По окраине поля каменноугольных отложений эксплуатируется вода из толщ № 10 и 9, в районе Богородска — из слоев 2 и 3, в районе Москвы — из слоев 3, 4, 5 преимущественно. Вода хорошего качества, обычно с повышенной карбонатной жесткостью, но из толщ 9—10 часто сильно гипсованная.

Пермские породы отличаются большой сложностью фациаль-

ных изменений, что делает затруднительным их изучение. Как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении наблюдаются частые переходы морских отложений в континентальные.

Пермские отложения обычно делят на два отдела — нижнепермский, или пермокарбонный отдел, и верхнепермский отдел.

Дальнейшее подразделение их следующее:

Татарский ярус	1. Группа пестрых мергелей — перемежающаяся толща глин, песчаников, конгломератов и известняков. Преобладают оттенки красного цвета, реже бывают оранжевые, фиолетовые, желтые цвета и оттенки. В нижней части встречается гипс. Породы континентальные
Казанский ярус	2. Свита морских отложений, преимущественно известняков мощностью до 150 м
Уфимский ярус	3. Красноцветная группа глин, песчаников и гипсов.
Кунгурский ярус	4. Солёносная толща, имеющая к югу от г. Перми мощность около 50 м, а к северу (Усолье) 500 „
Артицкий ярус	5. Известняки, доломиты, мергели. Наличие гипса, солей. Может быть фациальная связь с толщей 4
Каменноугольные отложения	6. Перемежающаяся толща морских и континентальных отложений — известняков, мергелей, песчаников, конгломератов.

В пермских толщах известны водоносные горизонты в разных толщах. В связи с составом пород и подземные воды сильно минерализованы и часто эксплуатируются для получения из них солей (часто встречаются рассолы). Повидимому крайними северными пунктами, где существуют пермские соленые воды, являются низовья Северной Двины.

Палеозойская артезианская область стратиграфически представляет гигантскую котловину, заполненную весьма сложным комплексом отложений и образований. В процессе тектонических движений эта котловина деформирована и представляет ряд впадин, разделенных валами. Собственно только южная половина этой котловины изучена более или менее полно в геологическом отношении и в отношении ее водоносности, северная же совершенно не освещена ни геологически, ни гидрогеологически.

Следующая артезианская область захватывает значительно меньшее пространство и представляет в общем корытообразный прогиб, вытянутый с запада на восток.

Она также изучена весьма неравномерно, хотя некоторые районы (Харьковский, Курский, Полтавский) освещены многими десятками буровых скважин.

Как эта область, так и Причерноморская отличаются большой пестротой стратиграфии и тектоники; для них труднее наметить общую схему, дать общий разрез.

Поэтому в дальнейшем мы только в нескольких словах дадим их геологическую характеристику.

Вторая область артезианских вод располагается к югу от первой. Северной ее границей является юго-восточная девонская ось, а южной — южнорусская кристаллическая гряда. Здесь артезианские воды приурочены к мезозойским отложениям. В распространении мезозойских толщ, юрских и меловых, нет такой правильности, как в распространении палеозойских. Поэтому некоторые исследователи склонны на этом пространстве намечать несколько более или менее изолированных артезианских бассейнов, из которых одни приурочены к Поволжью, а другие к Приднепровью. Кое-где на мезозойских толщах залегают мульдобразно третичные отложения. Вдоль Волги имеется довольно много резких нарушений в залегании пород, в результате которых вырисовываются антиклинальные поднятия каменноугольных толщ. Между этими поднятиями и зажаты отдельные небольшие бассейны, не имеющие большого экономического значения. В Приднепровье, в области, которой придают название южнорусской мульды, артезианские воды имеют гораздо большее значение. В последней четверти прошлого столетия первая буровая скважина проведена в Харькове, причем вода поднялась выше уровня земли на 10,7 м. Эта скважина получила воду повидимому из юрских отложений, пройдя мощную толщу меловых и третичных отложений. В южнорусской мульде более высоко расположенные слои залегают почти горизонтально, поэтому в этих слоях встречаются только воды межпластовые нисходящие. Харьковская скважина имеет глубину около 700 м.

Особняком располагается Донецкий каменноугольный район, интенсивно и сложно дислоцированный, гидрогеология которого поддается с трудом изучению.

Наконец третья область артезианских вод лежит к югу от южнорусской кристаллической полосы и примыкает к Черному морю на юге и к Кавказу на юго-востоке. Здесь развиты только верхние меловые и третичные отложения. Напорной водой обладают более глубокие слои, залегающие в центральной части близ Черноморского побережья на глубине нескольких сот метров. Один из наиболее древних колодцев был сделан в Евпатории в 1834 г. и дал самотеком 96 м³ воды в сутки. Качество воды из меловых и третичных отложений в общем считается удовлетворительным, но верхнетретичные отложения часто дают воды очень сильно минерализованные, так что ни для питья, ни для орошения непригодны. Прикавказская часть этого бассейна повидимому сложнее построена, чем причерноморская.

Из других стран в Европе наибольшей известностью пользуется парижский артезианский бассейн. По своему строению он не-

только напоминает первую палеозойскую артезианскую область СССР, но он значительно меньших размеров и сложен мезозойскими толщами (триас, юра, мел); в третичных напора нет.

Границами парижского бассейна на западе являются: Бретань, на востоке — предгорье Вогез и Юрских гор, на юге — центральный кристаллический массив Франции, а на севере отложения парижского бассейна захватывают Бельгию и Голландию, продолжают в южную Англию, где парижская котловина собственно и замыкается.

Первые глубокие колодцы были устроены в Париже в первой половине XIX в., доведены до глубины около 550 м, а позднее до 720 м и дали значительное количество воды очень хорошего качества. Первая (грениельская) скважина давала в 24 часа до 4 000 м³, но так как приток воды шел с такой быстротой, что вода увлекала за собой муть из пород, то буровая скважина была наращена до 33 м и стала изливать около 900 м³, но уже воды совершенно прозрачной. Позднее в 3½ км от грениельской скважины была заложена скважина в Пасси, которая в сутки давала до 16 000 м³. Однако вскоре выяснилось, что эти две скважины находятся в некотором взаимодействии, и при одновременной работе каждая из них дает количество воды меньше, нежели то, которое она давала впервые одна. Так например грениельская скважина уменьшила свой расход до 300 м³ в сутки. Вода поступает с температурой около 28° С.

Взаимодействие скважин обнаружено не только во Франции. Во многих местах оно сказывалось и у нас. Количество воды, которое подают артезианские скважины, как уже указывалось выше, не бесконечно. Если заставить самоизливающуюся скважину изливать воду бесконечно, как это сначала и делалось многими владельцами артезианских колодцев, то неизбежно фонтан скважины уменьшается, а если скважин проведено несколько на небольшом расстоянии друг от друга, то через некоторое время скважины теряют свои фонтаны, уровень у них устанавливается у самой поверхности земли и тогда приходится воду откачивать.

Если нарастить скважины трубами и таким образом не дать возможности воде изливаться самопроизвольно, то тогда в этих скважинах устанавливается некоторый уровень, который стоит в связи с уровнем воды в межпластовом слое в области его питания. Если мы, зная область питания артезианского слоя, на чертеже представим профиль или разрез местности от области питания до той области, где расположен наш колодец, то если мы соединим уровни стояния воды в наших колодцах и в области питания, мы получим прямую линию — линию пьезометрических уровней, которая будет обладать некоторым наклоном в сторону наших колодцев. Чем мелкозернистее материал, слагающий водоносный слой, тем больше будет и наклон нашей прямой линии.

Если мы начнем усиленно расходовать воду из одной скважины, понижая тем самым в ней уровень воды, то уровень воды может

понизиться в ближайших, окружающих нашу эксплуатируемую скважину колодцах, причем, чем ближе будут эти колодцы расположены к эксплуатируемому, тем больше в них будет понижаться уровень воды. На графике линия, соединяющая стояние уровня воды в эксплуатируемой скважине и в ее окружающих, дает форму воронки, напоминающую такую же воронку, которая получается при понижении уровня в системе грунтовых колодцев. Эта линия будет представлять собой как бы ту поверхность воды, которая установилась бы в породе, если бы эта порода могла быть пропитана водой. Эта линия в данном случае следовательно представляет только проекцию тех высот, до которых поднялась бы вода в колодце, если бы мы его в какой-нибудь из этих точек соорудили. Чем больше мы будем понижать уровень воды в эксплуатируемом колодце, тем больше будет понижаться уровень и в окружающих его колодцах.

Таким образом эксплуатируемый колодец имеет некоторую сферу влияния, в пределах которой его работа отражается на остальных существующих здесь колодцах. Если мы станем эксплуатировать два колодца, из которых один находится в сфере влияния другого, то, собственно говоря, мы будем при помощи каждого из этих колодцев перехватывать воду из другого. Поэтому, если один из этих колодцев дает при некотором стоянии уровня воды в нем 60 тыс. л/час, а другой — 36 тыс., то при совместной работе они никогда не дадут $60\,000 + 36\,000 = 96\,000$ л/час, а дадут воды меньше, и тем меньше, чем ближе они расположены один от другого.

Следовательно для рационального распределения колодцев в пределах артезианского бассейна необходимо изучить режим колодца и установить сферу его влияния. Эта сфера влияния будет представлять собой окружность, в центре которой находится эксплуатируемый колодец. Следующий колодец, если мы хотим, чтобы он не оказывался под влиянием предыдущего, должен быть расположен от первого на расстоянии 2 радиусов окружности сферы влияния первого.

Когда это правило не соблюдается, то тогда имеет место хищение воды одного колодца другим, истощение запасов артезианского бассейна, и в некоторых случаях наступает катастрофа, при которой все колодцы данной местности оказываются лишенными воды. Поэтому правильная эксплуатация какого-нибудь артезианского бассейна должна непременно предусматривать предварительное его изучение, установление его благонадежности с целью разработки возможно более полного и планомерного использования вод этого бассейна для практических целей.

Г Л А В А XIV

Некоторые формулы для расчета расхода колодцев

При практическом использовании подземных вод часто приходится учитывать как те количества, которые могли бы быть взяты из земли, так и те последствия, которые могут иметь место в случае подобного изъятия. Так как воды чаще всего извлекаются из зернистых горных пород, то мы приведем пример некоторых суждений, применяемых в случае извлечения подземных вод из этих толщ гидротехниками. Если мы извлекаем из грунтовых потоков некоторое количество воды, то это количество воды зависит от скорости движения потока и от поперечного сечения извлекающего воду сооружения. Но скорость потока зависит от уклона потока и от коэффициента проводимости грунта. Однако, говоря о сечении подземного потока, нужно различать два момента: геометрическое сечение потока (F), представляющее произведение из высоты на ширину по данному поперечнику, и тот фильтрующий поперечник, который по существу представляет только часть геометрического поперечника и суммирует поры между зернами в пределах поперечника (f).

Гидротехник Тим обозначает отношение $\frac{F}{f}K$ буквой ϵ ; умножая обе части этого равенства на f , получим $\frac{Ff}{f}K = f\epsilon = Kf$, где K — коэффициент фильтрации.

Количество воды, получаемое из потока, выражается формулой:

$$Q = kiF.$$

Подставляя вместо kF величину ϵf , находим:

$$Q = \epsilon if.$$

Представим себе, что на некоторой площади существует поток грунтовой воды. Параллельно этому потоку мы врежем два канала до водоупорного ложа грунтового потока. Если из этих каналов стока не было бы, то уровень воды в каналах и уровень грунтовой воды между каналами были бы одинаковы в том случае, если на поверхность между каналами не будет выпадать дождя, снега и пр. Но выпадающие осадки, просачиваясь в почву и достигая поверхности грунтовых вод, будут повышать ее уро-

вень. Дополнительно приходящие в грунт воды будут по поверхности грунтовых вод стекать в сторону канала. Представим себе, что расстояние между каналами равно $2a$, а высота воды в канале над водоупорным ложем равна h . Мы можем провести систему координат таким образом, чтобы ось x пролегла по направлению от одного канала к другому, а ось y проходила бы вдоль стенки канала сверху вниз (рис. 40).

Если мы на поверхности нашей равнины выделим полосу шириною в 1 м от одного канала до другого и представим себе, что количество воды, поступающее дополнительно в грунтовые воды

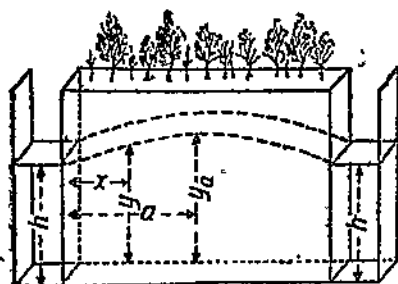


Рис. 40. Схема расположения зеркала грунтовой воды между 2 каналами при одинаковом уровне воды в них.

через каждый квадратный метр поверхности нашей полосы, будет q , а вся полоса отдает каждому водосборному каналу Q . Количество воды, протекающее на расстоянии x от сборного канала в его сторону, пусть будет q_x . На расстоянии x от канала высота столба воды будет y , а так как мы взяли полосу шириной в 1 м, то и геометрическое сечение будет выражено величиной y , а отношение $y_1 : x$ будет равно 1 (уклон), следовательно:

$$g_x = \epsilon y$$

Но притекающее количество воды в канал q_x равно количеству просачивающейся на каждый квадратный метр поверхности воды, умноженному на водосборную площадь, т. е. в данном случае на $a - x$, где a — длина нашей полосы до водораздела, а x — расстояние от канала до того места, где мы собираем воду.

Когда $x = 0$, то $q_0 = aQ$, а когда $x = a$, то $q_a = 0$, а для каждой промежуточной точки между каналом и водоразделом:

$$q_x = (a - x)Q = \epsilon y.$$

Из опыта установлено, что на расстоянии x от канала высота столба воды y равна:

$$y^2 = \frac{Q}{\epsilon} (2ax - x^2) + h^2.$$

Высота y изменяется, увеличиваясь по мере передвижения от стенки канала до водораздела, т. е. по мере возрастания величины x от 0 до a .

¹ y_1 — высота отрезка y над уровнем воды в канале.

При $x=0$ будем иметь $y_0^2 = h^2$; $y_0 = h$

„ $x=a$ „ „ $y_a^2 = h^2 = a^2 \frac{Q}{\varepsilon}$;

$$y_a = \sqrt{h^2 + a^2 \frac{Q}{\varepsilon}}$$

Рассматривая последнее равенство, видим, что высота y зависит от величины проницаемости грунта ε : чем больше проницаемость ε , тем меньше y . И наоборот — чем более приток Q , тем более и y .

Если мы представим себе, что уровень воды в обоих каналах падает и достигает 0 (рис. 40), тогда:

$$y^2 = -\frac{Q}{\varepsilon} (2ax - x^2).$$

Если же уровень воды падает только в одном канале, а в другом остается неизменным (рис. 41), то водораздельная точка будет перемещаться в сторону канала с неизменяющимся уровнем. Если уровень воды в канале понизится на величину s , то водораздел переместится в сторону несмещенного уровня на величину b , которая определяется следующим равенством:

$$b = \frac{s(2h - s)\varepsilon}{4aQ}.$$

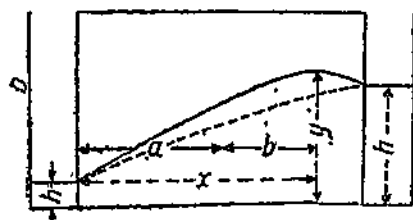


Рис. 41. Схема расположения зеркала грунтовой воды при разном уровне воды в каналах.

В этом случае водораздел будет на расстоянии $a+b$ от канала с пониженным уровнем, а высота стояния воды в этой точке будет следующая, если h_1 — пониженный уровень:

$$y_b^2 = h^2 + (a+b)^2 \frac{Q}{\varepsilon} = (h-s)^2 + (a+b)^2 \frac{Q}{\varepsilon}.$$

Этими соображениями пользуются при работах по понижению уровня грунтовой воды помощью дренажных канав, когда требуется решить, насколько понизится уровень грунтовой воды на пространстве между дренами в зависимости от стояния воды в дренах, и как близко должна быть расположена одна дрена от другой.

Если извлекать грунтовую воду колодезем, а не каналом, то вокруг колодца тоже понижается уровень воды, но тем слабее, чем дальше от колодца.

Если мы имеем дело с бассейном грунтовой воды, то поверхность пониженного зеркала воды имеет форму концентрической воронки с колодезем в центре (рис. 42).

В случае потока грунтовой воды воронка депрессии деформируется: ее радиус R_1 вверх по течению (по потоку) укорачивается, а вниз по течению R_2 удлиняется (рис. 43). При расчетах учитывают радиус, направленный поперек потока, R .

Если, при извлечении количества Q воды из колодца, радиус которого r , уровень воды в нем падает от первоначальной величины H до величины h , т. е. понижается на величину s (другими словами $H - h = s$) а радиус воронки депрессии достигает величины K , то связь между указанными величинами представляют следующей формулой:

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

Но величину $H^2 - h^2$ можно преобразовать введя значение s для $H - h$, а именно:

$$\begin{aligned} H^2 - h^2 &= (H + h)(H - h) = \\ &= [2H - (H - h)](H - h) = \\ &= 2Hs - s^2. \end{aligned}$$

Следовательно формулу расхода воды из колодца можно написать так:

$$Q = \frac{\pi s (2Hs - s^2)}{\ln R - \ln r}.$$

Очевидно, что расход Q увеличивается при увеличении коэффициента фильтрации ϵ и при увеличении понижения уровня воды в колодце s .

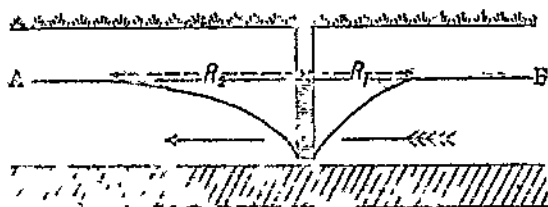


Рис. 43. Схема воронки депрессии в потоке грунтовой воды.

Уровень воды в колодце до начала откачки из него воды. Если мы, откачивая воду, понизим уровень воды в колодце на 1 м, то этому понижению будет соответствовать количество откачиваемой воды a ; понизив уровень воды в колодце еще на 1 м, получим воды на b более, т. е. $a + b$, причем b будет меньше a ; понизив

Q прямо пропорционально ϵ — коэффициенту фильтрации водопроницающей породы. Соотношения Q и s можно ясно представить себе, составив график по следующему способу. Верхнюю точку вертикальной прямой примем за уровень

уровень воды еще на 1 м, а всего на 3 м, получим еще прибавление воды с, но с будет меньше b. При дальнейшем понижении уровня воды в колодце расход не только перестанет прибавляться, но с некоторой глубины будет убывать. Отложив по вертикали ниже нулевой точки понижения через равные доли соответственно 1 м, а от этих точек по горизонтали величины а, а + b, а + b + с и т. д. и соединив концы этих отрезков, получим кривую, представляющую параболу. Перегиб параболы будет соответствовать глубине, ниже которой уровень воды в колодце понижать не следует (рис. 47, А).

Так как увеличение воронки депрессии стоит в связи с понижением уровня в центре ее (т. е. в колодце) и следовательно с расходом воды из колодца, то очевидно, что колодцы, из



Рис. 44. Схема действия забора воды из колодца в потоке грунтовой воды.

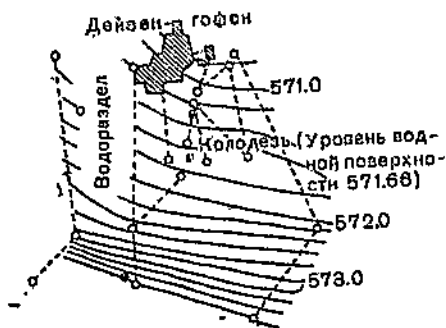


Рис. 45, 46. Расположение гидронизогин до и при откачке воды из колодца.

которых хотят откачивать воду, одновременно должны быть удалены друг от друга на расстояние $2R$. На рис. 45 и 46 можно видеть характер развития воронки депрессии в групповом потоке. Сопоставьте рис. 46 с рис. 48.

При расчете восходящих (артезианских) вод пользуются следующими формулами:

$$Q = \frac{\pi s 2\pi i}{\ln R - \ln r}$$

откуда

$$s = \frac{Q \ln (R - \ln r)}{\pi 2\pi i},$$

где m — мощность водоносного слоя, а остальные буквенные выражения те же, что и выше (рис. 50).

Из этих формул видно, что если мы построим график расхода, как мы делали для грунтовых вод, то мы получим не параболическую кривую, а прямую, так как величины Q и s прямо пропорциональны. Другими словами при понижении уровня воды на каждый следующий метр мы получим постоянную величину прироста расхода. Например при понижении на 3 м расход равен q , при понижении на $3 + 1$ м расход равен $q + a$, при понижении на $3 + 2$ м расход равен $q + 2a$ и т. д.; а есть удельный расход артезианского колодца (рис. 47, Б).

R (радиус депрессии пьезометрического уровня) достигает у артезианских колодцев нескольких километров; поэтому значение r (радиуса колодца) здесь еще меньше, чем в случае грунтовых вод.

Таким образом очевидно, что каждый колодец захватывает воду с некоторой площади, размеры которой определяются размерами радиуса воронки депрессии R . Ясно, что если мы соорудим второй колодец на расстоянии менее $2R$, то наши колодцы будут перехватывать воду друг у друга. Если же расстояние между колодцами более $2R$, например $2R + a$, то полоса a будет находиться вне воздействия каждого колодца. Это надо иметь всегда в виду,

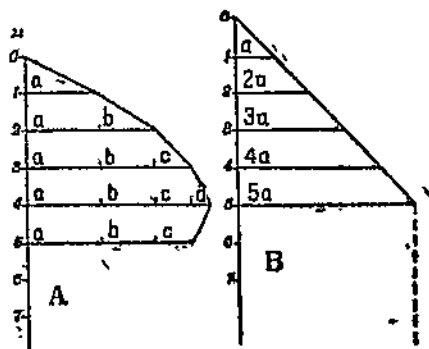


Рис. 47. Кривая расхода воды: А—из нисходящего потока и Б—из восходящего.

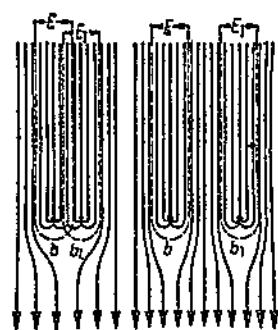


Рис. 48. Схема действия на поток грунтовой воды колодцев, расположенных друг от друга на расстоянии менее $2R$ (слева) и более $2R$ (справа).

если нужно закладывать густую сеть колодцев для получения большого количества воды.

Сравнивая расходные формулы для грунтового и артезианского колодцев, видим, что они отличаются множителем в числителе правой стороны: $2Ns - s^2$ — для грунтового колодца и $2ms$ — для артезианского. Значение этих множителей видно из следующей таблички, в которой принято $N = m = 30$, а s последовательно 1, 5, ..., 25.

S	$2H_s - s^2$	$2ms$
1	59	60
5	275	300
10	500	600
15	675	900
20	800	1 200
25	875	1 500

(Постройте график, отложив на одной из ординат величины s , а на другой две другие величины.)

Из приведенных выше расходных формул определяется и коэффициент фильтрации ϵ , если известны мощность водоносного горизонта (H для грунтового колодца или m для межпластового) и радиус воронки депрессии R .

Для фонтанирующих колодцев понижение уровня s опреде-

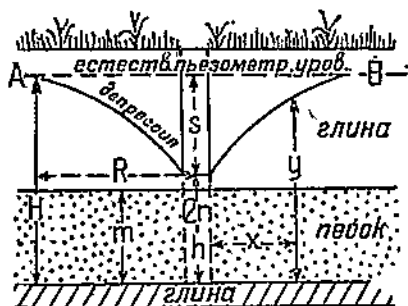


Рис. 49. Схема развития депрессий пьезометрического уровня в восходящем потоке.

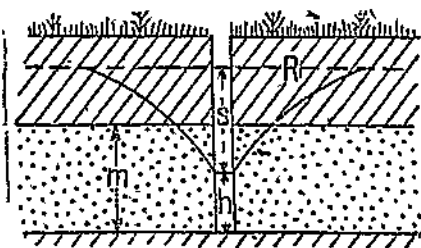


Рис. 50. Схема вторжения пониженного уровня воды в колодце под водоупорную кровлю; в этом случае кровля расхода получит параболическое строение.

ляется исходя из той высоты, на которой вода остановилась бы в наращенных буровых трубах. В этом случае H и h устанавливают по отношению к поверхности земли.

Иногда обсуждают вопрос о том, что выгоднее — иметь один колодец большого диаметра или несколько колодцев с малым диаметром. Ответ на это мы имеем в расходной формуле колодцев, где в знаменателе правой стороны показано $\ln R - \ln r$; радиус колодца по сравнению с радиусом воронки депрессии очень мал — первый измеряется сантиметрами, а второй десятками и сотнями метров, а иногда и тысячами метров, притом мы имеем здесь дело с логарифмами этих величин.

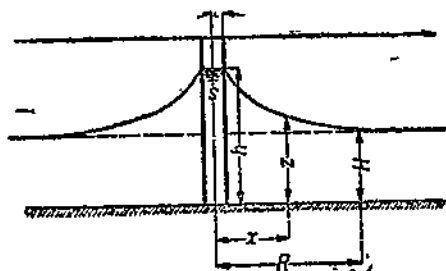


Рис. 51. Схема поглощающего колодца.

Практики утверждают, что 3 колодца с $r=0,20$ м дают столько же воды, сколько 1 колодец с $r=2$ м; 2 колодца с $r=0,25$ м дают столько же воды, сколько 1 колодец с $r=4$ м, конечно, при прочих равных условиях.

Поглотительные, или абсорбирующие, колодцы — это колодцы, берущие воду, а не дающие ее. Расчет количества воды, которую может поглотить такой колодец, ведется по расходу для колодца формулам. Отличие заключается в следующем:

а) движение подземной воды направлено от колодца, а не к нему;

б) депрессионная кривая обращена вогнутостью вверх, как нижняя ветвь параболы; воронка депрессии опрокинута;

в) расход колодца Q есть величина отрицательная;

г) вместо понижения уровня воды в колодце s мы имеем его повышение — s , т. е.:

$$Q = - \frac{\pi k (2Hs + s^2)}{\ln R - \ln r}.$$

Поглощающие колодцы устраиваются для удаления, сточных вод, для осушения, для понижения уровня грунтовых вод под сооружениями.

Жильные воды

Подземные воды в трещинных породах, как указывалось ранее, в своих движениях подчиняются закономерности Шези, т. е. скорость течения этих вод выражается формулой $v = k\sqrt{i}$, где v — скорость течения подземной воды, i — уклон, по которому течет вода, и k — произведение из поперечного сечения подземного потока на смоченный периметр трещины. В силу этого трещинные или жильные воды обычно рассматривают отдельно от тех подземных вод, которые залегают в породах зернистых и которые подчинены в своих движениях закономерностям Дарси.

Жильные воды могут быть и грунтовыми, и межпластовыми нисходящими, и межпластовыми восходящими (артезианскими).

Если водоносная порода, богатая трещинами, залегает у самой земной поверхности, покоясь на водоупорном ложе, то питание подземной воды здесь происходит путем инфлюации (втекания), а не инфильтрации (просачивания). Собирающаяся над водоупорным ложем вода в этом случае будет являться аналогом грунтовой фильтрационной воды. Она также может представлять либо подземный бассейн, либо подземный поток.

Жильные грунтовые воды отличаются от фильтрационных грунтовых вод, во-первых, тем, что на режиме их чрезвычайно резко сказываются гидрометеорологические влияния: они обладают очень резкими колебаниями уровня грунтовых вод; во-вторых, температурный режим их в связи с этим, даже если они залегают на значительной глубине, также испытывает довольно резкие колебания; наконец, загрязнение этих вод как взвешенными веществами, минеральными и органическими, так и микроорганизмами происходит весьма легко. Поэтому жильные грунтовые воды считаются весьма неблагоприятными с санитарной точки зрения в качестве источника снабжения питьевой водой населения.

Жильные грунтовые воды могут постепенно перекрываться водоупорной толщей и перейти в межпластовый жильный поток. Если этот межпластовый жильный поток выклинится в овраге или в речной долине, то он будет иметь нисходящий характер межпластового жильного потока со свободным стоком. Если же сток жильной воды из водоносного пласта будет каким-нибудь способом закрыт, то возникнет межпластовый восходящий поток.

У межпластовых жильных вод нисходящих, и тем более у восходящих, *T* выравнивается, но легкость загрязнения и связанные с этим возможности эпидемических заболеваний при пользовании такой водой остаются. Поэтому для целей водоснабжения жильная межпластовая вода рекомендуется только тогда, когда путем геологических исследований установлено, что эти воды поступают в трещинную породу, предварительно профильтровавшись через породу зернистую, где они очищаются от взвешенных примесей и от микроорганизмов.

Жильные воды протекают иногда в столь значительных трещинах, что в них может существовать и более крупная фауна. Например в водах силурских известняков близ Ленинграда были замечены мелкие рыбки. Такие же явления известны и из других районов Франции, Германии, Алжира и др. Иногда вместе с артезианской водой из колодцев выбрасываются не только мелкие рыбки, но и мелкие крабы, моллюски и части растений.

Конечно при пользовании подобной водой для целей водоснабжения необходимо постоянное бактериологическое наблюдение за ней, а в надлежащих случаях и ее постоянная очистка от взвешенных примесей.

Если воды залегают в трещинных породах, более или менее поддающихся растворению, то в конечном итоге получают целые системы подземных ходов, пещер и пр. \

В результате размывающей и растворяющей деятельности подземных вод вырабатывается сложная карстовая система. Если карстовые потоки выклиниваются в приморских областях ниже уровня воды морской, то воды их смешиваются с водой морской и опресняют ее. На побережьях Адриатического моря известны места, где на дне морском, иногда на глубине нескольких сот метров, выбиваются родники пресной воды. Так как удельный вес пресной воды меньше, нежели соленой морской, и так как смешение пресной и морской воды идет постепенно, то пресная вода поднимается до водной поверхности, изменяя соленость морской воды и ее цвет, так что на поверхности моря в тихую погоду вырисовываются те участки, в которых на дне выступают родники.

Если под уровень моря спускаются трещины малых сечений, находящиеся в соединении с крупными трещинами, выбрасывающими воду несколько выше поверхности моря, то потоки в крупных трещинах играют роль как бы водного насоса, который вытягивает по мелким трещинам морскую воду, впитывая ее в себя, осолоняется так, что родник, выступающий выше уровня моря, оказывается несущим солоноватую воду. Такие потоки, представляющие смесь морской и пресной воды, носят название морских мельниц.

В породах, которые поддаются растворению с трудом, как например граниты, кварциты, кварцевые песчаники, трещины с течением времени увеличиваются в размерах очень мало, причем количество трещин по направлению вглубь становится все мень-

ше, и самые трещины точно так же становятся все уже — порода трещиноватая постепенно переходит в солидную массивную скалу. Здесь уже нет возможности для образования потоков, подобных карстовым, которые характерны для известняковых массивов.

Трещинные (жилые) воды при попытках использования их колодцами представляют иногда значительные затруднения потому, что буровые скважины иногда проникают глубоко в массив, минуя водоносные трещины, проходящие почти рядом с буровой скважиной. Ряд скважин, заложенных по соседству друг с другом, могут встретить воду на разных глубинах, но уровень воды во всех скважинах устанавливается обычно один и тот же. Если

какая-нибудь скважина проникает на довольно большую глубину, не встречая водных жил, а известно, что соседние колодцы воду встретили, то для получения воды из такой скважины делают искусственные трещины путем взрывания динамитных патронов в забое скважины. Образовавшиеся от взрыва трещины могут встретить водоносные трещины, и таким образом безводная скважина может получить воду.

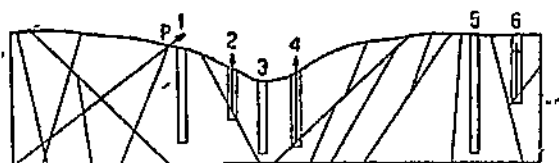


Рис. 52. Схема жилых вод. P — восходящий родник, 1, 3, 5 — безводные колодцы, 2, 4, 6 — колодцы с восходящей водой.

Однако не все породы одинаково благоприятны для таких экспериментов. Некоторые породы, например песчаники, часто при взрыве не дают далеко в сторону идущих трещин, а разбиваются в рыхлую массу, которая скорее затампонирует уже существующие трещины, нежели откроет доступ воды в скважину.

А. А. Краснопольский выводит следующие формулы для вычисления расхода для:

а) грунтового колодца:

$$Q = 2\pi k H \sqrt{\frac{s}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}};$$

б) артезианского колодца:

$$Q = 2\pi k a \sqrt{\frac{s}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}}$$

Н. М. Победоносцев для определения коэффициента скорости фильтрации по данным откачки предлагает следующую формулу:

$$K_0 = \frac{HR^2}{4t} \sqrt{\frac{3}{r(H^2 - h^2)}}.$$

В этих формулах t — время (продолжительность) откачки, ε — процент трещиноватости, a — периметр щели, остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

ГЛАВА XVI

Родники или источники

В некоторых случаях можно наблюдать, что на поверхности земли проступает подземная вода. Иногда эта вода сочится сплошной скатертью из песчаных слоев, иногда она выходит на поверхность в виде сформировавшегося ручейка или жилы. Выходы подземных вод на поверхность земли носят название родников или источников. Из этих родниковых вод получают в дальнейшем ручейки или ключи («студеный ключ играет по оврагу»). Выступать на дневную поверхность могут и грунтовые воды и межпластовые-нисходящие и межпластовые-восходящие (артезианские), причем совершенно безразлично, каково происхождение данных вод — вадозное или ювенильное.

Случаи выхода подземных вод на дневную поверхность весьма разнообразны, поэтому существуют попытки классификации этих выходов или родников и источников. Чаще всего родники делят на 2 больших группы: на родники или источники нисходящие и родники или источники восходящие.

В свою очередь нисходящие родники могут быть разделены на довольно большое количество групп. Среди этих групп нисходящих источников на первом месте следует упомянуть родники, выходящие на склонах речных долин и в оврагах. Если в склонах речной долины или оврага обрывается водоносная толща, имеющая наклон в сторону этой долины, то здесь и создаются благоприятные условия для выходов подземных вод. Такие родники или источники можно называть эрозионными, потому что они обязаны своим происхождением размывающей деятельности поверхностных потоков.

Если склоны долины или оврага покрыты наносами, то наносы могут замаскировать выход подземной воды, которая прокладывает себе путь по склону под наносами. Очень часто, если толщина наносов не особенно велика, подземная вода промачивает их и тогда место замаскированного выхода подземной воды отмечается на склоне более яркой зеленой растительностью.

Если водоносная толща лежит на более или менее правильно залегающем водоупорном ложе, то и источники, приуроченные к границе водоносной водоупорной толщи, будут выступать по более или менее правильной линии вдоль всего склона.

В зависимости от того, насколько богата обрывающаяся на склоне оврага или долины водоносная толща водой, зависит и обилие воды в источниках или родниках. В некоторых случаях в результате подобного выхода подземных вод на склонах появляются очень мощные родники, дающие большое количество воды. Если водоупорное ложе в месте размыва его оврагом или рекой образует синклинальный прогиб, то родники будут выступать на обоих склонах оврага или долины. Если же овраг или долина прорезывает крыло складки, то тогда родники будут приурочены только к тому склону долины, который срезает поднимающуюся часть крыла. Если же прорезается замок антиклинальной складки, то естественно оба склона оврага будут сухими. Если водоупорное ложе образует синклиналиеподобный прогиб, в котором вмещается водопроницаемая и водоносная толща, то в пределах прогиба водоупорного ложа может накапливаться вода

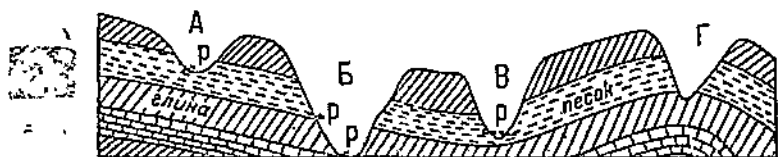


Рис. 53. Схема нисходящих родников.

до тех пор, пока не будет заполнена вся толща водоносной породы, погруженная в прогиб. После этого при дальнейшем накоплении воды вода будет изливаться в виде родников или источников по границе налегания водоносной толщи на водоупорную (рис. 53).

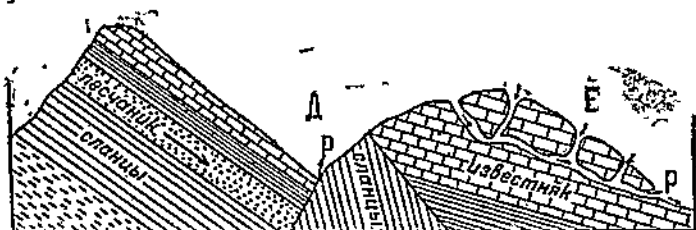


Рис. 54. Схема восходящего (Д) и карстового (Е) источников.

В карстовых областях развиты своеобразные пещерные источники, которые часто представляют выходы на дневную поверхность целых потоков, дающих в секунду до 20 м³ воды и более. К этой группе источников принадлежат так называемые воклюзские источники. Наиболее известные из них находятся в Крайне (Югославия), Боснии, Далмации, Вюртемберге и в других местах. В речных долинах источники часто проступают там, где наносы реки резко суживаются непроницаемыми для воды выступами коренных берегов.

Восходящие источники представляют естественные выходы напорной воды, которая может подниматься либо под влиянием гидростатического давления, либо под влиянием газов и паров.

Под влиянием гидростатического давления поднимаются источники тогда, когда водоупорная кровля прорезана какой-либо трещиной, например плоскостью сброса.

Газы, которые могут вызывать напор и выход воды на поверхность, чаще всего бывают представлены углекислотой или метаном. Углекислые источники представляют явление довольно обычное. Так как углекислота, находясь в воде, повышает значительно растворимость углекислых солей, то такие воды обычно выделяют обильно известковистые туфы вокруг своих выходов. Воды, поднимающиеся под газовым давлением, имеют вид кипящих водоемов благодаря выделяющимся пузырькам газа.

Пары воды играют роль только в вулканических областях. Источники, выбрасываемые парами воды, носят название гейзеров. Гейзеры извергаются периодически. Очень часто гейзер сопровождается трещинами, которые выделяют различные газы.

Механизм деятельности гейзеров объясняют таким образом: в местах развития гейзера земля чрезвычайно сильно нагрета, поэтому находящаяся на некоторой глубине вода нагревается до температуры выше 100° . Так как та вода, которая находится в колодце гейзера, ведущем в глубину в горячие недра, представляет столб воды, гидростатически давящий на более глубокие части воды, то благодаря наличию такого давления вода на глубине не вскипает и при температуре в 100° . Только когда вода перегреется, достигнет температуры на несколько градусов выше 100 (на сколько градусов выше 100 — это зависит от давления водяного столба в чаше или кратере гейзера), тогда происходит бурное выделение паров, и вода выбрасывается фонтаном.

Наиболее известны гейзеры, имеющиеся на острове Исландии, в Йеллоустонском парке САСШ, в Новой Зеландии и других местах.

Г Л А В А XVII

Оползни и плывуны

Оползни

Как на один из примеров, при которых на практике приходится сталкиваться с геологической деятельностью подземных вод, вызывающей неустойчивость грунтов, можно указать на образования оползней на берегах оврагов, рек и т. п.

Оползневые явления в некоторых местах проявляются в столь крупном масштабе, что вызывают иногда крупные бедствия для местного населения. Убытки, причиняемые оползнями, в некоторых случаях достигают очень крупных сумм, исчисляемых сотнями тысяч рублей. Как пример таких пунктов, в которых оползни представляют обычное явление, требующее затраты значительной энергии для борьбы с ними и для ликвидации возникших от их проявления осложений, можно указать на оползни Нижегородского, Ульяновского, Саратовского Поволжья, морского побережья в Одессе.

Сущность геологического явления здесь заключается в том, что вследствие чередования в обрыве берега реки или взморья слоев водоупорных глинистых и водопроницаемых воды, собирающиеся на водоупорном ложе, стекают к подножью обрыва, вызывая явления суффозии, а вместе с тем и неустойчивости налегающей на водоупорное ложе серии слоев.

С течением времени, в процессе очень медленного, но неуклонного смывания поверхности глинистого водоупорного ложа, последняя (поверхность) получает уклон в сторону обрыва. Выше лежащая толща откалывается от массива и скользит по пластичному смоченному основанию к подножию обрыва. В зависимости от мощности пластов, слагающих данный обрыв, оползни могут захватывать более или менее значительную массу берега. В некоторых случаях оползни проявляются на протяжении нескольких километров, захватывая вглубь берега пространства до 100 м и более. Расположенные в оползневой зоне сооружения, здания, сады и огороды смещаются вместе с оползающей массой, причем как сооружения, например полотно железной дороги, так и здания при этом разрушаются.

По исследованиям А. П. Павлова можно наметить два основных типа оползней: оползни деляпсивные — падающие, которые соскальзывают по наклонному, смоченному водой, пластичному водоупорному ложу к подножью обрыва, смещаясь более или менее однородно всей своей массой. Достигнув подножия обрыва, смещающаяся масса останавливается, причем в этой смещенной массе почти не заметно нарушения напластования, но наклон пластов этой смещенной массы будет всегда в сторону берега, так как плоскость скольжения такого оползня представляет кривую, близкую к параболической¹.

Другой тип оползней — оползни детрузивные, или толкающие. Эти оползни проявляют себя тогда, когда поверхность скольжения оползней в нижней своей части происходит ниже поверхности земли в данном месте. В этом случае смещающаяся масса может сдвинуться, только сдвинув ту толщу, которая лежит у ее основания и образует для нее как бы упор. Таким образом смещающаяся масса при своем движении смещает и расположенные ниже ее на ее пути перед ней массы. Иногда эти массы представляют собой ранее соскользнувшие деляпсивные оползни. Вот этот элемент толкания оползневой массой вызывает деформацию и в теле самих смещающих масс и в тех толщах, которые до начала движения представляли для них упор. В силу этого поверхность детрузивных оползней бывает сильно измята, разбита трещинами, причем деформации этой оползающей массы захватывают ее почти всю в целом.

Линия отрыва оползающей массы наверху часто дает циркоподобные очертания, обращенные вогнутой стороной в сторону долины реки или в сторону оврага. У местного населения такие циркообразные оползневые формы рельефа часто носят название «ендова», «ендовище» — названия, даже фигурирующие иногда на подробных топографических картах и весьма удачно передающие сущность характера рельефа (ендова — ковш, чаша).

Гораздо сложнее морфогения оползней в тех случаях, где мы имеем дело с жесткими массами, как например на побережьях Черного моря в Крыму. Здесь водопроницаемой породой являются раскарстованные известняки яйлы, а водоупорной толщей, по которой сползают вышележащие толщи, — плотные глинистые сланцы. В этих условиях очень трудно подметить морфогенические закономерности. Примером этого рода сложных оползневых явлений может служить Ялтинский район.

Особый тип смещений, близких по своему характеру к оползням и в первой стадии своего движения соответствующих деляпсивным оползням, являются горные завалы. Основание оторвавшейся и скользящей вниз массы расположено высоко над

¹ Этому типу оползней можно придать название „оскользень“ в отличие от настоящих „детрузивных“ оползней.

талывегом долины. Упав на тальвег, соскользнувшая масса дробится от удара и наподобие плотины перегораживает горную долину, причем верхние слои завала могут быть переброшены к противоположному склону долины. Прекрасным примером такого завала может служить усойский завал, происшедший на р. Мургабе на Памире весной 1912 г. Завал похоронил под собой деревушку Усой и перегородил долину на протяжении 5 км, а вершина его оказалась поднятой над дном на 600 м. Теперь выше завала образовалось озеро глубиной до 500 м, затопившее долину р. Мургаба приблизительно на 75 км (Серезское озеро по имени затопленной деревушки Серез).

Так как причиной возникновения оползней являются подземные воды, производящие явления суффозии, то основной мерой борьбы с оползаниями берегов является по существу борьбой с подземной водой. Удаление подземной воды, другими словами прекращение явлений суффозии подземной водой, есть средство борьбы с оползнями. Эта борьба производится устройством различных систем дренажа, что уже является предметом компетенции гидротехника.

Плывуны

В гидротехнической практике существует термин «плывун», или жидкий песок. Под этим термином подразумевается обычно песок, выносимый подземными потоками. Так как живые силы водного потока зависят от его скорости, то естественно, что, чем мельче песок, тем более медленный поток будет его уносить. Типичным пливуном считают мелкий песок, диаметр которого колеблется около 0,1 мм. Однако при значительном гидростатическом давлении и следовательно при порядочной скорости движения подземного потока передвигаться может и более крупный песок диаметром до 1—2 мм, если он равнозернист.

Общеизвестно например засасывание песка в буровые трубы, причем песок этот не всегда так уж мелок. Когда буровая желонка извлекается из скважины, то она действует подобно насосу и вызывает энергичное втягивание воды в скважину и увлекает за собой песок. Очень мелкие пески выносятся водой самоистекающих фонтанирующих скважин.

Как уже указывалось, греньельская скважина, дававшая вначале очень много воды, выносила за собой муть, и для того чтобы получить чистую воду, пришлось нарастить трубы скважины, благодаря чему уменьшилась подача воды из скважин, но зато вода стала подаваться чистой — поток ослабел и не в силах уже был выносить песчинки.

Если происходит длительное вынесение песков из недр земли, то естественно вокруг скважины образуется полость. Если эта полость не имеет достаточно прочной кровли, то вокруг скважины произойдет провал.

Мелкие пески часто насыщают промежутки между гальками и булыгой. Если эксплуатируется вода из галечниково-песчаных толщ, то вначале происходит довольно сильное выделение песка в колодец или в буровую скважину. Чтобы избежать таким образом засорения песком колодца, приходится стенки его снабжать фильтрами, которые не пропустили бы пески в колодец. В некоторых случаях встречаются столь злостные пльвуны, что они проникают сквозь тончайшие фильтры, так что в конечном итоге почти невозможно избавиться от мути.

Пройти значительную толщу мелкого пльвуна буровой скважиной бывает иногда почти невозможно, потому что с каждым подъемом инструмента из скважины происходит ее заплывание пльвуном. Для того чтобы пробурить толщу пльвуна, часто применяют способ бурения скважины с промывкой, т. е. нагнетанием в скважину воды, которая, возвращаясь на поверхность, выносит песок, и одновременно с этим опускают обсадные трубы. Однако такой способ бурения не всегда все же успешен.

В заграничной практике в этих случаях с большим успехом применяют замораживание толщи пльвуна посредством охлаждающих жидкостей, вводимых в буровые трубы, и тогда бурят собственно мерзлую толщу льда с песком. Таким же методом проходили шахты в пльвунах района Курской магнитной аномалии.

Вместо замораживания в настоящее время практикуется инъекция в скважины связывающих (цементирующих) веществ, битумов и т. п.

Пльвун — песок настолько жидкий, что он засасывает попадающие на него более тяжелые, чем вода, предметы. Однако если удастся извлечь из пльвуна воду, то он уже становится довольно плотным и может служить как более или менее надежное основание для сооружений.

В литературе известна крупная катастрофа, которая произошла из-за того, что в буроугольной копи близ г. Брюкса при обрушении кровли угольного пласта в шахту получила сверху доступ масса жидкого песка. Пльвуном были заполнены все штреки, из которых вырабатывался каменный уголь. Пустоты, получившиеся на месте вытекшего в штреки песка, существовали не очень долго. Их потолки вскоре стали рушиться, и на поверхности земли появились провалы и воронки, в которые провалились целые здания и даже отчасти полотно железной дороги.

Случай, когда пльвун, встреченный буровым колодцем, вследствие гидростатического давления выступил на поверхность, отчего на глубине от поверхности около 62 м образовались пустые пространства, в которые прогнулись вышележащие пласты, в результате чего было разрушено 14 домов, — имел место в Познани в г. Шнейдемюле.

Г Л А В А XVIII

Поиски подземных вод

Целесообразное использование подземных вод возможно только в том случае, если эти подземные воды в достаточной мере исследованы как в отношении происхождения их, так и в отношении их режима и баланса и наконец качества. Одним из первых моментов гидрогеологического исследования является установление наличия подземных вод в данном районе.

Умение изыскивать воды культивировалось уже в древние времена. Во все века существовали специалисты-водоискатели, которые умели разбираться в природе данной области и находить наиболее удобные для использования подземных вод места. В большинстве случаев эти водоискатели пользовались различного рода естественно-историческими признаками, которые указывали на наличие в данной местности подземных вод.

Эти признаки и в настоящее время используются водоискателем, и существует целый ряд народных примет, дающих довольно хорошие руководящие указания при поисках воды. Эти приметы основаны на учете очень разнообразных данных.

Так например, наблюдая растительный покров данной местности и зная, какие растения относятся к группе сухолюбивых и какие, наоборот, представляют группу влаголюбивых растений, можно, руководствуясь наличием и распределением влаголюбивых, указать места, в которых подземные воды ближе всего залегают к поверхности земли.

Животный мир также дает иногда указания на наличие близкой к поверхности подземной воды. В равнинах часто можно наблюдать, как в отдельных пунктах непосредственно после захода солнца роятся в большом количестве целые стаи мошкеры. Обычно мошкеры как раз роются в таких пунктах равнины, где подземная вода всего ближе к поверхности и где после захода солнца скорее всего появляются небольшие облака тумана. Если жаркий день сменяется холодным вечером, то обычно туман на такой равнине появляется в виде отдельных комкообразных облачков, возникающих как раз в пунктах наибольшей влажности, именно в тех пунктах, где наблюдалось роение мошкеры.

Наблюдения над геоморфологией точно так же дают часто хорошие материалы для суждения. Изучая склоны долин, иногда

довольно легко выделить на этих склонах участки, деформированные оползнями. В настоящее время быть может эти оползни уже в значительной мере сnivelированы и почти незаметны для глаза, едва сказываясь в рельефе, но возникнуть они могли только благодаря наличию подземной воды.

Наличие на склонах речных долин и балок полос с более обильной яркой растительностью в то время, когда всюду растительность уже завяла, может подтвердить такого рода наблюдения.

Если, находясь на одном склоне долины, наблюдать другой склон, то можно заметить на поверхности этого склона некоторые прогибы, иногда очень мало сказывающиеся в рельефе. Эти прогибы обусловлены подземным подмывом (суффозией) и намечают как раз те направления на склоне, по которым наиболее целесообразно располагать колодцы.

Наиболее надежным и общим способом установления гидрогеологических условий какого-нибудь района является прежде всего его тщательное геологическое изучение. Выяснение стратиграфии и литологии района часто дает ключ и к установлению гидрогеологических условий этого района. Для гидрогеологических целей геологические изучения пополняются специальными гидрогеологическими и разведочными работами, которые необходимы для того, чтобы получить конкретные данные, могущие лечь в основу точных подсчетов для практических соображений.

Одним из основных видов геологической разведки является бурение. Бурение позволяет сравнительно легко и удобно проникнуть довольно глубоко в недра земной коры и таким образом вскрыть ее строение, но само по себе бурение довольно дорогой способ разведки.

Притом же, если бурение производится инструментом небольшого диаметра, то образцы горных пород, добываемые таким инструментом, бывают очень сильно деформированы, и по ним не всегда можно получить достаточно ясное представление о строении исследуемого грунта. Если разведка должна быть углублена не очень сильно, то лучше пользоваться шурфами. Шурф — это по существу копанный колодец. Шурфы делают либо продолговатые, либо квадратные, либо круглые (дудки). Для мелких шурфов лучше всего продолговатая форма. Одна из узких стенок такого шурфа делается вертикальной, а противоположная спускается вглубь ступеньками через полметра или через 1 м. Глубокие шурфы лучше всего делать круглыми, так как стенки таких шурфов наиболее устойчивы. Но если шурфы надо крепить, то устройство круглой крепи представляет некоторые затруднения. Поэтому круглый шурф или дудку обычно делают в глинистых или лёссовидных породах, в которых без крепления можно углубиться на несколько десятков метров. В осыпаящихся породах, требующих крепления, проще делать шурфы квадратные, в поперечнике около 1 м.

Вскрыв буровыми скважинами или шурфами зеркало подземной воды и углубившись в водоносный слой, необходимо установить наблюдение над режимом грунтовой воды. С этой целью специальные наблюдатели посещают в определенные, заранее обусловленные сроки намеченные наблюдательные пункты и производят необходимые наблюдения, которые сводятся к замеру глубины стояния воды в сооружении, к измерению ее температуры, к взятию проб воды для анализа и к установлению метеорологических условий в момент наблюдения — барометрического давления температуры воздуха, облачности, осадков, ветра и т. д.

Если в данной местности уже существуют колодцы, то иногда можно воспользоваться и ими для наблюдения, но, пользуясь существующими колодцами для наблюдения, надо быть очень осторожным. В некоторых случаях из колодцев выбирают много воды, поэтому наблюдатель не может быть уверенным в том, что замеряемый им уровень воды в колодце есть уровень нормальный, а не пониженный.

Для количественной характеристики подземных вод необходимо произвести наблюдения над направлением подземного потока, скоростью его движения, свойствами и условиями залегания породы водоносного слоя, а в некоторых случаях произвести пробную откачку из колодцев с учетом количества откачиваемой воды.

Гидрогеологические наблюдения должны охватывать значительный период времени, для того чтобы можно было установить последовательность изменений в режиме подземного потока. Нормально такие исследования должны производиться не менее одного гидрологического года и лучше всего от начала первого под'ема грунтовых вод до начала под'ема грунтовых вод в следующем году. Так как условия питания подземного потока часто зависят от климатических элементов, которые из года в год непостоянны, то было бы целесообразно гидрогеологические наблюдения вести в течение нескольких лет, подобно тому как ведутся наблюдения гидрологические, но практически этого почти никогда сделать нельзя.

Часто приходится ограничиваться небольшим отрезком времени, иногда всего несколькими месяцами в году, для наблюдений. Естественно, что такие наблюдения будут иметь отрывочный характер, и вывод из них надо всегда делать с осторожностью. Гидрогеологические исследования, заключающиеся в систематических наблюдениях и исследованиях подземного потока, носят название *стационарных исследований*.

Изучение общей гидрогеологической обстановки района, рельефа, слагающих местность пород и т. п. носят название гидрогеологической *съемки*. В зависимости от заданий гидрогеологическая съемка может быть более или менее обстоятельной. Различают следующие виды гидрогеологических *съемочных исследований*: маршрутные, общие, детальные и специальные.

Каков бы ни был характер задания, прежде чем приступить к полевому гидрогеологическому исследованию, необходимо привести ряд подготовительных работ. Эти работы сводятся к учету и изучению уже имеющихся материалов различного характера, касающихся областей, в которых предполагено исследование. В первую очередь сюда относятся учет и изучение картографического материала. Даже для маршрутного исследования необходимо собирать возможно полный материал, который мог бы дать представление о рельефе исследуемой местности.

Наиболее мелким масштабом карт, который считается пригодным для гидрогеологических работ, является масштаб 10 верст в дюйме, или 4 км в 1 см. Чем крупнее масштаб карт, тем лучше они передают рельеф. Наиболее пригодными для исследования являются те карты, которые выполнены при помощи линий равных высот, или изогипс, так как эти карты дают не только общее представление о рельефе, но и об относительных превышениях одних пунктов над другими, тогда как карты, выполненные штриховкой или растушровкой, дают по существу только общее представление о рельефе.

Кроме карт необходимо собрать весь тот материал, который может дать представление о высотных условиях данной местности. Часто этот материал бывает выполнен, исходя из различных условных высот. Поэтому, прежде чем сопоставлять такие разрозненные данные, необходимо их увязать между собой, найдя для них общую основу. Нахождение этой общей основы, введение поправок, которые помогли бы весь разнородный высотный (гипсометрический) материал свести в одно целое, требуют иногда очень больших усилий.

Далее необходимо учесть и тот литературный материал, который касается данной области. При этом нужно иметь в виду не только специальную геологическую и гидрогеологическую литературу, но и литературу географическую, статистическую, экономическую и т. д., потому что и в этих сочинениях очень часто встречаются весьма ценные геологические и гидрогеологические данные, которые могут быть очень полезны для исследователя.

Если есть возможность ознакомиться с музейным материалом, происходящим из данной местности, необходимо его не только осмотреть, но по возможности и изучить, так как этот материал даст более конкретное представление о том, каково литологическое сложение этого района. Большую ценность представляют в этом смысле материалы различных бурений, шурфов, раскопок и пр. Иногда и на месте работ у частных лиц — любителей естествознания — можно встретить коллекцию горных пород и окаменелостей. Их всегда точно так же нужно внимательно просмотреть и изучить.

Вторым моментом является подготовка к выполнению полевых работ. Эта подготовка заключается в рациональном снаряжении. Обычно снаряжение разделяют на техническое, материальное

и личное. Под техническим снаряжением подразумевают всякого рода инструменты, буровые комплекты, горные компасы, anerоиды, фотографические аппараты и пр. Под материальным подразумеваются всякого рода вспомогательные материалы — реактивы, фотографическая бумага, чертежные принадлежности, канцелярские принадлежности и пр. Под личным снаряжением подразумевают экипировку исследователя.

Если работы производятся в мало доступной местности, то приходится еще подумать и о хозяйственном снаряжении, куда входят всякого рода провиант, посуда, палатки и другие походные принадлежности. Все снаряжение должно быть своевременно заготовлено, осмотрено и опробовано. Все, что находится в плохом состоянии, должно быть отремонтировано и выверено. Снаряжение в значительной мере зависит от особенностей того района, в котором будет протекать работа. Снаряжение для работ в равнинном районе, более или менее равномерно заселенном, или в горном, мало доступном районе, или в полупустынных степях, будет конечно различно. Заранее надо обдумать, что нужно взять для того, чтобы работа протекала успешно. Снаряжаясь для полевых работ, полезно посоветоваться с людьми, которые уже в аналогичной области работали. Большое значение имеет также опрос местных жителей и краеведов перед работами и во время работы о всех сторонах природы исследуемого района. Путем расспросов можно получить часто очень интересные сведения о ключах, колодцах, каменоломнях, буровых скважинах и т. п. Без указания местных жителей такого рода сведения часто могут быть пропущены и особенно при работах маршрутного или общего съемочного характера.

Полевые маршрутные работы, называемые иногда также рекогносцировочными, производятся с целью получить ориентировочный материал общего характера; он охватывает обыкновенно довольно крупные площади, на период полевой работы в 4—5 мес. площадь рекогносцировки может достигнуть 10—15 тыс. км².

Целью подобного рода исследования является прежде всего общий учет и регистрация геологических и гидрогеологических материалов. Обычно подобные исследования сопровождаются в самой минимальной степени разведочными, буровыми и шурфовыми работами; в результате их дается только карта маршрута, а не сплошная карта всего исследованного района.

Съемочные исследования общие (обзорные) и детальные могут вестись в различных масштабах. Для общих (обзорных) исследований обычен масштаб 10 и 5 верст в дюйме, или 4 и 2 км в 1 см; для детальных — 3, 2, 1 верста в дюйме, или 1 200, 800, 400 м в 1 см. В зависимости от масштаба работ определяется и та площадь, которую может исследователь обработать в течение полевого периода. При 10-верстной гидрогеологической съемке, которая иногда называется обзорной, месячная норма

может быть принята примерно от 600 до 800 км². При одномоментной съемке эта площадь должна быть не более 75 или 100 км² в месяц. Чем детальнее съемка, тем полнее сопровождается она разведочными работами.

При работах в масштабе 10 или 5 верст в дюйме (4 или 2 км в 1 см) обычно не производят наблюдений над режимом грунтовых вод — эти исследования носят учетный характер. Детальные исследования сопровождаются наблюдениями над режимом грунтовых вод. В состав последних исследований входят также и некоторые опыты над грунтами и грунтовыми водами в поле.

При всех этих работах в результате их дается сплошная карта района — геологическая и гидрогеологическая. Поэтому чрезвычайно важно при выполнении этих работ самым тщательным образом обдумать направление маршрутов, которые будут проводиться в течение всей работы. Эти маршруты должны быть распределены таким образом, чтобы они дали возможность ознакомиться с наибольшим количеством пунктов района при наименьшей затрате времени. Изучаемые пункты должны быть в достаточной мере густо и равномерно рассеяны по всей площади.

Для того чтобы облегчить дальнейшую обработку полевых записей при геологических и гидрогеологических работах, обычно принимают в основу описаний местности определенный порядок, которого по возможности придерживаются в течение всей работы. Так например рекомендуется обнажение описывать всегда сверху вниз. Овраги и балки рекомендуется описывать также, начиная от вершины до устья. Если при работе в поле иногда и приходится обойти ряд балок, начиная от устья к вершине, то все же по окончании дневной работы желательно в дневнике провести в чистовом виде описания в раз принятом порядке.

Регистрацию и описание родников, колодцев, буровых скважин удобнее вести по готовым бланкам. Существуют уже разработанные типы бланков. Можно рекомендовать тот тип бланков, который выработан и опубликован в бюллетенях Среднеазиатского государственного университета кабинетом гидрогеологии этого университета (1929).

Все образцы и горных пород, и ископаемых, и вод должны тщательно этикетироваться, причем этикетки желательно иметь заготовленные по определенному образцу, так, чтобы в них можно было заносить по трафарету только самое необходимое.

По существу полевые работы по своему содержанию распадутся на следующие отделы. Первый отдел — это описание района как топографическое, так и геологическое и гидрогеологическое. Здесь исследователь самым тщательным образом сверяет карты, находящиеся в его распоряжении, с истинным рельефом местности, выясняет закономерность в распределении различных типов рельефов в районе в зависимости от геологических, физико-географических и гидрогеологических фактов. Далее следует

Планишет

Местонахождение

Название источника

Источники №

1. 193. г. час. мин.

2. Δ аперонда. ° воздуха

Фирна. №

3. Изменение дебита

4. Дебит

5. Способ замера

6. Прозрачность

7. Цвет

8. Вкус

9. Запах

10. Выделение газов

11. ° воды

12. Реакция воды

13. Образец №

14. Жесткость

15. Плотн. ост. Cl

16. SO₄17. HCO₃18. CO₂

19. в мг/л

20. Анализ

21. Подпись

16. Употребление воды: время.

17. Тип источника: восходящий, нисходящий

18. Каптаж

19. Рельеф и условия выхода

20. Омоложение хим. осадков

21. Геологический разрез и доломит. свед. см. на обороте.

Планшет Местонахождение

Название колоды

Колодезь №

1. ... 189 ... Г. ... члс ... мин. ...	17. Употребление воды: время	цель
2. Δ ... $^{\circ}$ аперонда ... $^{\circ}$ возд. ... № ...	18. Характер крепления	19. Оборудование
3. Высота устья над поверхн. земли ... м.	20. Когда и кем сооружен	21. Рельеф
4. Глубина до воды ... м 5. Слой воды ... м		22. Расстояние до ближ. реки, арка и водоема их характеристика
6. Колебания уровня		23. Геологический разрез и дополнит. сведения см. на обороте.
7. Дебит ...		
8. Прозрачность ... 9. Цвет ...		
10. Вкус ... 11. Запах ...		
12. $^{\circ}$ воды ... 13. Реакция воды ...		
14. Образец № ... 15. Жесткость ... SO_4 ...		
16. Плотн. ост. ... CO_3 ... в мг/л		
Аналитик ...		

Подпись

геологический обзор, для которого необходимо изучить и описать возможно подробнее существующие в районе выходы горных пород как естественные по берегам рек, балок и оврагов, так и искусственные — в канавах, карьерах, дорожных выемках, каменоломнях, рудниках, колодцах и пр.

Количество обнажений, которое исследователь в состоянии описать, зависит от детальности работы, от того, какую площадь геолог должен заснять за полевой период. Чем детальнее съемка, тем полнее должны быть произведены регистрация и изучение имеющихся разрезов или обнажений. По возможности полно следует собрать образцы, которые характеризовали бы как литологический состав отложений данного района, так и их палеонтологическое содержание. Особенно тщательно следует отнестись к отбору образцов воды, которые должны быть проанализированы либо здесь же в поле, либо впоследствии в лаборатории. Образцы воды должны быть взяты в заранее заготовленные бутылки, чисто вымытые в дистиллированной воде. Перед взятием проб воды эти бутылки следует еще раз хорошенько ополоснуть в той воде, которая будет взята для анализа. Бутылки должны быть закупорены хорошей, чистой пробкой. Иногда рекомендуют заливать пробку сургучом.

В последнее время в аптекарском деле для заливки пробок пользуются особым составом, который можно очень рекомендовать к употреблению и в геологической практике. На бутылке должна быть наклеена этикетка, на которой указывается время и место взятия воды и подпись лица, взявшего пробу. Кроме того к горлышку бутылки необходимо привязать плоскую щепку, на которой был бы поставлен номер, под каким эта проба записана в полевой книжке наблюдателя, и его инициалы.

При геологическом описании необходимо особенное внимание обратить на изучение всех физико-геологических явлений, которые исследователь может встретить в данном районе. Сюда относятся явления поверхностного размыва, подземного размыва (суффозии), оползни, провалы, воронки, явления развевания песков, аккумулятивные (наносные) процессы, совершающиеся как в пределах речных долин и русел, так и на междуречных пространствах — на водоразделах и склонах.

Гидрогеологическое описание будет заключаться в регистрации естественных (родники, выходы и пр.) и искусственных (колодцы, буровые скважины, шурфы и пр.) выходов подземных вод, описании условий, в которых наблюдаются эти выходы, и практического использования их для тех или других целей.

Вторая часть гидрогеологических исследований будет заключаться в исследованиях, носящих опытный характер. Сюда будут относиться полевые химические испытания воды, наблюдения над направлением и скоростью подземного потока, опыты над гидрогеологическими свойствами слагающих местность пород, опыты над просачиванием воды в породу, над явлениями оседания по-

роды, определение ее влагоемкости, пористости и пр.; испытания при помощи откачки воды мощности водоносных горизонтов и их расхода в колодцах, шурфах, скважинах, родниках и т. д.

Если в состав исследования входят и стационарные работы, то они должны заключаться в наблюдениях над режимом грунтовых вод. Сюда входят наблюдения над колебаниями уровня воды, изменениями температуры воды, изменениями ее химического состава, выяснение влияния климатических условий на колебания грунтовых вод, выяснения источников питания подземных вод, выяснения результатов осушения или орошения, вызывающих либо понижение уровня грунтовых вод, либо наоборот его повышение за счет так называемых возвратных оросительных вод. (Под именем возвратных оросительных вод подразумеваются те воды, которые при орошении просачиваются в глубину, повышают уровень грунтовых вод и вызывают усиленное питание родников, а в некоторых случаях даже являются причиной местных заболачиваний.)

Результат исследований представляется в виде отчетов.

Обычно различают два типа отчетов. Первый тип — это так называемый информационный технический отчет. Он является сводкой сведений о фактически произведенных в поле исследованиях, о силах, при помощи которых было произведено исследование, о сроках и суммах, которые были на эти исследования затрачены. К таким отчетам иногда присоединяют предварительное заключение по намеченным для исследователей перед началом работ вопросам. Иногда прилагаются карты, на которых отмечают отработанные площади, наносят геологические и гидрогеологические маршруты, нивелировочные ходы, которые производились для увязки выходов геологических образований и водоносных горизонтов, и в связи с предварительными заключениями намечают некоторые данные картографического порядка, также имеющие значение предварительной информации; этот отчет представляется сейчас же по окончании полевых работ, часто до начала обработки материалов.

Обработка материалов заключается в описании всех собранных материалов, в анализе взятых образцов пород полезных ископаемых (руд и т. п.), воды, в составлении графиков наблюдений над режимом грунтовых вод, графиков результатов анализов, результатов полевых опытов по откачке колодцев, по наблюдению над просачиванием воды в грунт и т. п. Ученый материал — родники, колодцы и т. п. — обычно сводится в таблицы, на которых отмечают местоположение пунктов, высотные отметки и некоторые характерные особенности, например расход из колодца, глубину залегания водоносного горизонта, некоторые результаты анализа. Особые таблицы составляются для результатов механи-

ческих анализов грунтов и химических анализов вод. На графиках обыкновенно комбинируют результаты наблюдений над режимом подземных вод, изменением их химического состава и некоторые гидрометеорологические факторы.

В зависимости от длительности наблюдений карт разрабатывается большее или меньшее количество; минимум обычно составляет карта: 1) геологическая и 2) гидрогеологическая. На геологической карте наносят стратиграфические данные, некоторые физико-геологические явления — провалы, оползни и сведения о наблюдающихся в районе полезных ископаемых (рудах, строительных материалах); на гидрогеологической карте отмечают глубину залегания водоносных горизонтов, химический состав вод, направление потоков грунтовых вод и кроме того обычно наносят все наблюдавшиеся искусственные и естественные выходы грунтовых вод. Иногда при помощи гидроизогипс наносят поверхность подземных вод в районе.

При детальном исследовании и геологические и гидрогеологические карты могут быть разбиты на ряд дополнительных карт. Так например выделяют карты, дополняющие рельеф, например прилагают карты барометрических точек и нивелирных отметок. Затем разделяют на ряд отдельных карт карту физико-геологических явлений, например представляют карту размыва и развевания, карту неустойчивых склонов (оползней), провалов и т. п., карту строительных материалов. И гидрогеологическую карту разбивают точно так же на ряд дополняющих друг друга карт, а именно: карту выходов естественных и искусственных грунтовых вод, карту водоносности грунтов, ряд пластовых карт отдельных водоносных горизонтов и т. п.

Собранные при исследовании образцы нумеруются, этикетировываются и сохраняются в таком виде, чтобы они могли быть всегда использованы при дальнейших исследованиях.

Текст отчета обычно строится из следующих глав:

введение, в котором излагается цель работы, программа работ, время выполнения и обстоятельства, сопровождавшие полевую и камеральную работу;

литературный очерк, в котором излагаются существовавшие до начала работ в литературе данные, касающиеся исследованного района, с указанием на те поправки, которые вытекают из ознакомления исследователя с районом;

оро-гидрографический очерк района, дающий представление о геоморфологии района;

геологический очерк, в котором даются стратиграфическое, литологическое, тектоническое и палеонтологическое описание района;

гидрогеологический очерк, являющийся основным в отчете. В этом очерке даются сводки учтенных фактических данных, описания полевых и лабораторных опытов и анализов и гидрогеологическая сводка всех материалов. Эта глава представ-

ляет наиболее важную часть гидрогеологического отчета и естественно должна быть написана таким образом, чтобы собранный материал в ней был представлен и разработан исчерпывающе.

Наконец последней главой является заключение, в котором вкратце суммируются добытые данные и излагаются ответы на поставленные программой вопросы.

Специальные гидрогеологические работы предпринимаются по конкретным заданиям, диктуемым обычно производственными организациями. Эти задания могут носить довольно разнообразный характер. Так например возможны специальные исследования устойчивости грунта под сооружением; благонадежности косогоров при проведении железнодорожных трасс; оценка условий перехода через овраги и речные долины железнодорожных трасс в связи с устройством в них мостов, эстакад или других сооружений; освещение условий возведения плотин, которые имеют своей целью либо создание водохранилищ, либо получение гидросиловой энергии; исследования, связанные с сооружением водопроводов, орошением или осушением более или менее крупных массивов.

Уже один сокращенный перечень этих работ указывает на их разнообразие, следствием чего являются также и разнообразные методологические подходы при выполнении исследований, диктуемых этими заданиями. Обычно перед началом гидрогеологических специальных исследований подобного рода на совещаниях гидрогеологов и инженеров-производственников вырабатывается специальная программа исследований, которая должна лечь в основу работ.

Специальные исследования производятся по карте не менее полуверстного масштаба. Иногда основой для таких исследований служат плановые съемки в масштабе нескольких десятков метров в сантиметре, причем самые планы выполняются задающими исследования организациями.

Так как специальные гидрогеологические исследования принимаются по поводу конкретных предположений и часто должны лечь в основу непосредственного проектирования или строительства, то в связи с этим материалы, добываемые этими исследованиями, должны быть чрезвычайно подробными, тщательно обработанными, а выводы и заключения должны носить окончательный характер.

Стационарные исследования имеют своим заданием изучение баланса и режима подземных вод в течение более или менее длительного срока. Обычно считается нижшим пределом этих исследований один гидрологический год, но по существу стационарные гидрогеологические исследования должны были бы вестись на типичных участках, подобно исследованиям гидрометеорологическим, систематически из года в год. Однако больше одного года стационарные исследования редко удается осуществить.

Очень часто стационарные исследования захватывают только часть гидрологического года. При этом все же нужно стараться захватить ту часть гидрологического года, которая давала бы представление о более или менее законченном отрезке в режиме грунтовых вод. Таким образом желательно, чтобы эти кратковременные стационарные исследования все-таки захватывали либо период от весеннего подъема до осеннего понижения уровня грунтовых вод, либо от начала осеннего понижения до начала весеннего повышения и т. д.

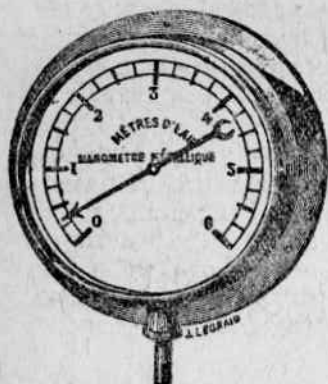


Рис. 55.

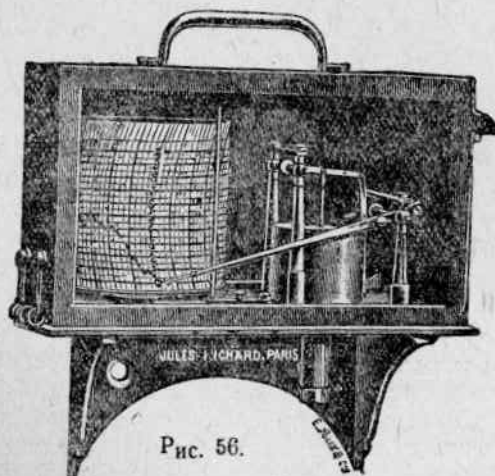


Рис. 56.

Рис. 55. Гидростатический лимниграф. 55 справа: металлический ящик, содержащий гуттаперчевый мешок с воздухом, присоединяющийся при помощи трубки к манометру (слева). Рис. 56. Самописец к нему.

Элементом изучения при стационарных и гидрогеологических исследованиях являются все стороны режима грунтовых вод, так же как и изменения химического состава этих вод и те факторы, которые могут явиться возможными источниками питания и причинами колебания грунтовых вод. В связи с этим стационарные гидрогеологические исследования требуют специального оборудования наблюдательных пунктов соответствующими приборами. Кроме того часто стационарные исследования усложняются систематическими испытаниями мощности водоносного потока, наблюдениями над изменениями в направлении движения подземных вод и изучением скорости их движения.

Результаты стационарных наблюдений сводятся в ежемесячные отчеты, а по окончании этих работ или при многолетних исследованиях ежегодно или в иные заранее обусловленные сроки даются сводные отчеты, сопровождаемые сводными таблицами наблюдений за отчетный период и графиками.



Рис. 58.



Рис. 57 и 58. Ручной лимниграф. 57—закрытый, 58—открытый

На рис. 55, 56, 57 и 58 представлены самопишущие приборы, позволяющие получать очень точные данные о характере колебаний уровня грунтовых вод.

Рис. 57 и 58 представляют пример прибора, основной частью которого является пустотелый поплавок, движения которого передаются самописцу.

Рис. 55 и 56 представляют прибор, основной частью которого является гуттаперчевый наполненный воздухом баллон, заключенный в чугунную коробку с отверстиями; баллон при помощи трубки соединен с манометром, движения стрелки которого могут регистрироваться самописцем (рис. 56).

Г Л А В А XIX

Полевое определение скорости грунтовой воды индикаторами

Г. И. Архангельский

Общее определение скоростей движения воды в водопроницаемых (галечниковых, гравелистых, песчаных, супесчаных, суглинистых и др.) грунтах производится или в естественной обстановке подземного потока (опыты с красками, солями и др.), или в условиях искусственно создаваемых увеличенных напоров (откачки).

В первом случае имеют место ничтожные по абсолютной величине скорости, во втором — они резко возрастают.

Мерой или единицей сравнения водопропускной способности грунтов служит «коэффициент фильтрации», представляющий собой скорость движения воды в грунте при единичном уклоне, называемом еще напорным градиентом. Последний равен отношению высоты водяного столба, создающего напор, к длине столба породы, через который идет просачивание.

Величина коэффициента фильтрации зависит от механического состава грунта, порозности его и температуры воды — этих трех главных факторов, учет которых является обязательным моментом при определении скоростей движения подземной воды.

Участки, где ставятся опытные наблюдения над скоростями движения подземной воды, редко представляют собой площади, сложенные совершенно однородным грунтом; обычно имеются частые изменения характера грунтов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Особенно часто указанные факты наблюдаются в пределах речных долин, где наличие различных по материалу линз, прослоев и т. п. в основной водонасыщенной породе есть обычное явление.

Поскольку исследования имеют задачей осветить строение и особенности часто большого района, а результаты наблюдений в отдельных пунктах идут для общей характеристики его, то опытный участок должен быть наиболее типичным в его пределах, т. е. слагаться возможно однородными, характерными для всего района грунтами, обладать простотой рельефа и целенностью поверхностных площадей.

Подробная геологическая разведка и общее геологическое изучение района должны таким образом предшествовать постановке опытных работ.

Опытные исследования водопроводимости различных грунтов осуществляются в основе тремя приемами:

1. Наблюдением над скоростями прохождения различных индикаторов (краски, соли и т. п.), вводимых в подземный поток между двумя пунктами (колодцы, шурфы, буровые скважины).

2. Измерением количеств притекающей к пункту откачки подземной воды в зависимости от степени понижения естественного уровня ее (в колодце, шурфе, буровой скважине).

3. Измерением количеств поглощаемой грунтом воды, приливающей в скважины или шурфы.

Первый прием дает местную скорость в порах грунта, при откачке же захватывается значительная масса грунта и большая площадь и получающиеся значения скоростей ближе стоят к истинным величинам последних. Предпочтение следует таким образом отдавать способу откачек, сопровождая его другими приемами определения скоростей движения подземной воды, а основным условием наиболее полной характеристики водопроницаемости грунтов исследуемого района считать необходимость постановки повторных однотипных опытов в различных участках его.

Общая схема постановки наблюдений над скоростями движения подземного потока сводится к улавливанию вводимых в поток различного типа индикаторов в шурфах или буровых скважинах, располагаемых по направлению потока ниже пункта загрузки. Каждая группа опытных пунктов — загрузочный и улавливающие — используется при однотипных индикаторах практически один раз (для одного наблюдения).

Ценность же опытов возрастает пропорционально количеству получаемых самостоятельных замеров в одинаковых условиях. Последнее достигается или комбинацией различных по эффекту индикаторов (краски — соли) в одной группе, или заложением нескольких групп загрузочных и наблюдательных пунктов, причем следует внимательно отмечать изменения характера водонасыщенных пород (особенно их пористости).

Для характеристики движения подземной воды на большом участке заложение ряда опытных групп и повторность наблюдений в них обязательны.

Определение направления движения подземной воды

Существует несколько способов определить направление движения подземного потока. Наиболее простым приемом, не требующим иногда специальной закладки шурфов или буровых скважин, является использование имеющихся колодцев. Если в колодец, достаточно хорошо изолированный от поверхности

(с крышкой при глубине более 5 м), посыпать пробочных или легких древесных опилок, то через некоторое время они собьются к одной из стенок колодца. Если затем у противоположной стенки опустить контрольный поплавок и он будет принесен туда же, где скопились и опилки, то, зная отправную и конечную точку его пути, можно с достаточной точностью установить и ориентировать направление подземного потока.

Если для района, где предполагается постановка опытов по изучению движений подземной воды, имеется уже готовая карта гидроизогипс, то в любом пункте нормальное к гидроизогипсам направление укажет, куда движется грунтовой поток. Не следует забывать однако, что хорошая карта с гидроизогипсами учитывает конфигурацию поверхности подземного потока лишь на определенный момент и что направление подземного потока во времени может резко меняться. При благоприятных условиях карта гидроизогипс дает материал и для примерной величины уклона зеркала подземных вод в различных пунктах открытого гидроизогипсами участка!

При отсутствии указанных возможностей развивают свою сеть шурфов или, если грунтовые воды залегают на большой глубине (более 7—10 м) от поверхности, сеть буровых скважин (диаметром от 50 до 100 мм). Характер самого водонасыщенного грунта также влияет на выбор типа вскрытий. Основные три пункта — 1, 2, 3, которыми определяется положение зеркала грунтовой воды, располагаются в вершинах по возможности равностороннего треугольника, внутри которого целесообразно поместить потом и группу тех выработок, где будут производиться наблюдения над скоростями движения подземной воды. Стороны треугольника берутся равными 50—100 м в зависимости от характера поверхности и общей величины участка работ. После того как шурфы или скважины 1, 2, 3 вскроют подземную воду (на 0,5—1,00 м) и уровень ее в выработках успокоится, нивелируют его. Близ устьев скважин или в стенках шурфов забиваются достаточно крепкие колья (хорошо с гвоздем в них), на которые ставятся рейки и от которых затем замеряется расстояние до горизонта воды. Последние замеры производятся в возможно короткий промежуток времени (одновременно) с помощью рулетки (с протканым металлическими проволоками полотном) или тонкой проволоки, к концам которых подвешивается груз (300—400 г) или специальные водяные свистки или колокольчики и др.; точность замера не менее 0,5 см.

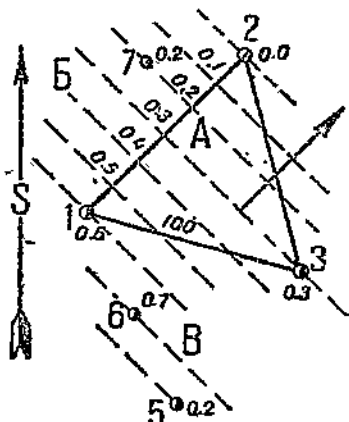


Рис. 50. Схема определения направления подземного потока.

При близком стоянии уровня грунтовой воды к поверхности (1—1,5 м) в шурфы опускаются обычные водомерные рейки (длиной 2—2,5 м), задавливаются нижним концом в дно и скобой притягиваются к одной из стенок; нивелировочная рейка ставится прямо на голову водомерной рейки, вычитанием ее длины высчитывается отметка ее нулевого деления, и затем каждый непосредственный отсчет по ней горизонта воды будет сразу давать его отметку.

Условную отметку самого низкого уровня воды в шурфе или скважине приравнивают обычно к нулю и получают превышение уровней в двух других пунктах треугольника. После накладки и ориентировки (например по горному компасу) последнего на бумаге в определенном масштабе сторона треугольника, противоположная вершине, со средней по величине отметкой, делится на пропорциональные отрезки. Точка на этой стороне, имеющая отметку третьей вершины треугольника, соединяется с последней прямой линией, которая и определит фронт подземного потока; перпендикуляр к ней в сторону вершины с малой отметкой дает направление подземного потока.

Уклон последнего получается, если взять в масштабе чертежа отрезок перпендикуляра, указывающего направление потока между двумя гидроизогипсами (проведенными параллельно линии I—III через точки с одинаковыми отметками на сторонах треугольника) и разделить на длину его (в метрах) разность их отметок (тоже в метрах). Пусть уклон равен $i = 0,2 : 33,3 = 0,006$ (рис. 59 и 60).

Величину полученного таким образом уклона следует считать действующей и на самой опытной группе, если она расположена между теми гидроизогипсами, которые использованы в предыдущем подсчете.

Если опытная группа выносится в Б или В из контура треугольника 1, 2, 3, следует заложить дополнительные шурфы или скважины 5, 6, 7, как показано на рисунке, и сравнить даваемые ими отметки уровня воды с протягивающимися от основного треугольника гидроизогипсами. Пусть поток грунтовой воды движется совершенно прямолинейным фронтом в северо-восточном направлении (45°) с однообразным уклоном около 0,006.

Пункты 1, 2, 3 и др., послужившие при определении направления и уклона подземного потока, не уничтожаются, а служат контролем за положением уровня подземной воды во все время производства опытных работ.

Закладка наблюдательных пунктов

Перед и во время операций по определению направления движения грунтовой воды исследователь знакомится с геологическим разрезом изучаемого участка, с характером водонасыщенных и покрывающих их сухих пород и с глубиной залегания зер-

кала подземной воды от дневной поверхности. Эти данные определяют основные вопросы при разбивке или закладке каждой опытной группы, которые сводятся к: а) расположению наблюдательных пунктов, б) определению числа их, в) расстоянию между ними и г) выбору самого типа наблюдательной выработки.

а) Общая схема расположения наблюдательных пунктов при изучении движения грунтовой воды сводится, как было уже указано, к закладке их по наиболее вероятной линии движения подземного потока. Когда направление последнего тем или другим приемом установлено, вопрос о расположении пунктов тем самым является решенным.

Здесь условимся, лишь тот пункт (шурф, скважину или колодец), который располагается вверху по течению потока и куда потом вводятся различные вещества, называть загрузочным, а расположенный ниже его — улавливающим.

б) Число наблюдательных пунктов зависит от степени точности определения направления подземного течения и при тщательности и подробности (большое число и густота пунктов, вскрывших подземную воду) произведенных для этого работ сводится к одному загрузочному и одному улавливающему шурфам или скважинам. При отсутствии точных данных о направлении потока закладывается несколько улавливающих пунктов, обычно 2 или 3. Для контроля целесообразно заложить несколько улавливающих пунктов и при точно известном общем направлении потока, так как пути отдельных струй на малых участках нивелировкой конечно учтены быть не могут.

в) Расстояние между пунктами (I и III) определяется степенью водопроницаемости пород, т. е. косвенно тем временем, которое потребуется на проведение одного опыта, силой индикатора и характером самих водонасыщенных пород (их однородностью, плавучестью или устойчивостью).

В породах легко водопроницаемых — крупнозернистых песках, гравии, галечниках — целесообразно закладывать улавливающие пункты от загрузочного на расстоянии от 3 до 5, иногда до 7 м; в породах, медленно проводящих воду, — мелкозернистых песках, супесках, суглинках, лёссе — расстояние сокращают до 0,75—1,5 м при условии, что породы эти достаточно устойчивы, т. е. что между наблюдательными пунктами остается совершенно ненарушенным целик породы указанных (0,75—1,5 м) размеров. В противном случае расстояние между пунктами (I—III) увеличивается, причем замеряется деформация целика со стороны улавливающих и загрузочной выработок.

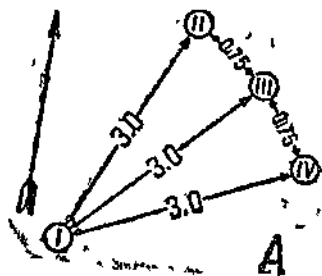


Рис. 60. Схема расположения опытных шурфов.

В группе самих улавливающих пунктов, которые располагаются обычно веером по отношению к загрузочному на указанных выше радиусах, расстояния между ними берутся от 0,5 до 0,75 м в мелкозернистых породах и 1—1,5 м — в крупных песках и галечниках.

г) В качестве наблюдательных пунктов при опытах могут быть использованы колодцы или шурфы и буровые скважины.

Выбор типа выработок определяется характером водопродвижающих пород — их механическим составом, устойчивостью или плавучестью, глубиной залегания подземных вод от поверхности и конечно материальной и технической (крепёжный лес, буровой инструмент, трубы, фильтры, специальные приборы и т. п.) обеспеченностью в каждом отдельном случае.

При больших глубинах залегания подземной воды от поверхности — более 10—15 м — приходится практически останавливаться на буровых скважинах. Последние приходятся диаметром в 100—150 мм, закрепляются обсадными трубами, а ниже горизонта воды опускается сетчатый фильтр в 1—2 м длиной. При производстве наблюдений в более глубоких слоях подземного потока обсадными трубами крепятся верхние горизонты его, а фильтр ставится на желаемой глубине. При проходке скважины должно быть обращено внимание на строгую вертикальность их, иначе нельзя будет точно учесть расстояния между ними в нижних частях.

При небольшой глубине залегания горизонта подземной воды, особенно в пределах 2—5 м, с одинаковым успехом можно использовать и шурфы и буровые скважины.

Шурфы делаются круглыми или с прямоугольным сечением; в рыхлых породах они крепятся (досчатой забивной крепью, венцами, щитами из хвороста и др.), в породах устойчивых — стенки оставляются открытыми. Площадь поперечного сечения должна быть практически возможно малой (1—1,5 м²). При прямоугольном сечении обращенные к целику стенки шурфов должны быть ориентированы перпендикулярно к направлению потока для точности будущего замера расстояния между загрузочными и улавливающими пунктами.

Преимущества шурфов перед скважинами заключаются в возможности более подробного ознакомления с водонасыщенными породами, удобстве и большей точности взятия образцов породы и воды для анализов и меньшем влиянии вводимых масс индикаторов на изменения уровня воды. Скважины благодаря меньшему объему воды в них более точно отмечают момент появления индикатора. Оборудование мелких скважин таково же, как и в описанном выше случае; при стойких породах вследствие отсутствия деформаций целиком можно обсадку не производить.

При проходке шурфов и буровых скважин берутся образцы водоносных пород для производства механического анализа и определения величины порозности с возможной тщательностью.

Для определения скорости движения подземной воды употребляют целый ряд различных веществ¹:

1) вещества, растворимые в воде, присутствие коих в последней определяется химическими или физическими способами: хлористый натрий, хлористый кальций, хлористый аммоний, азотнокислый калий, соли лития и железа;

2) вещества, растворимые в воде и сообщающие ей окраску: марганцевокислый калий, фуксин, конго, метиленовая синька, анилиновые краски (вредные), флуоресцеин;

3) вещества, взвешенные в воде и открываемые помощью микроскопа: крахмал, мука и др.;

4) культуры бактерий, присутствие которых определяется способами бактериологического анализа;

5) пахучие вещества, как керосин, хлороформ и др.

Главные требования, которые необходимо предъявлять при выборе веществ, служащих «индикаторами движений», сводятся к следующему:

1) они должны входить в водоносный пласт и двигаться в нем с той же скоростью, с какой движется и вода;

2) они должны быть легко и быстро обнаруживаемы в образцах воды;

3) они не должны разлагаться или вообще приходить во взаимодействие с теми веществами, которые содержатся в воде или в водоносной породе;

4) они должны быть безвредны.

Наиболее часто употребляются индикаторы химической группы (1) и краски (2), но, как указано выше, целесообразно в каждой группе наблюдательных пунктов использовать различные вещества, так как повторность и множественность наблюдений в одинаковых условиях увеличивают ценность получаемых результатов.

Из среды химических индикаторов следует выбирать такое вещество, какого нет совсем или имеется минимальное количество в природной воде; тогда даже небольшие дозы его будут легко обнаруживаться чувствительным к нему реактивом.

Выбор красок определяется в значительной мере характером водоносных пород: большинство красок в глинистых породах резко изменяет интенсивность окраски или обесцвечивается совершенно. Наиболее стойкой из них является флуоресцеин; он обесцвечивается только в присутствии большого количества органических кислот (в торфяных группах)².

Флуоресцеин полнее других удовлетворяет и первое требование к индикаторам, т. е. он наиболее инертен, тогда как прочие

¹ Сликтер. Подземные воды, 1912.

² Сликтер. Там же.

краски иногда значительно опережают подземный поток и дают искажение скорости до 30. Флуоресценция представляет собой розовый или красный порошок, очень трудно растворяющийся в воде. Поэтому его сначала растворяют в любой щелочи (едкая щелочь, нашатырный спирт, мыльный раствор и др.) или в спирте и потом уже вливают в воду; в отраженном свете флуоресценция имеет характерный зеленый цвет.

Дозировка наиболее употребительных индикаторов может быть представлена в следующем виде (табл. 26).

Таблица 26

Название индикатора	Количество в кг	Расстояние между наблюд. пунктами в м.
Хлористый натрий	10—15	5—7
Хлористый аммоний	5—10	3—5
Хлористый литий	3—5	2—5
Хлористый лантан	0,010—0,015	2—5
Анилиновые краски	0,2—0,3	2—5
Флуоресценция	0,001	2—5
"	0,002	5—7

Производство опыта

В результате вышеописанных подготовительных работ опытный участок должен иметь примерно такой вид:

1. Наблюдательные шурфы — I загрузочный и II, III, IV — улавливающие, расположенные ют I в северо-восточном направлении согласно определенному выше направлению в расстоянии 3 м с промежутками 0,75 м.

2. Контрольные шурфы 1, 2, 3, по которым ведется наблюдение за колебанием горизонта подземной воды (для определения уклона I).

Перед началом опыта должна быть организована служба наблюдения за уровнями и температурой подземной воды, установлен порядок и приемы производства самого опыта и приготовлено необходимое оборудование.

1. Наблюдения за уровнями грунтовой воды в контрольных шурфах производятся или по водомерным (занивелированным) рейкам, опущенным в шурфы, или замеры производятся рулеткой с колоколом или свистком от (занивелированного) колышка в устье шурфа; замеры производятся через 1—2 часа во все время опыта; данные замеров заносятся в журнал (табл. 27, графа 5).

2. Температура воды замеряется в I и III шурфах через 1—2 часа во все время опыта: простые ванные термометры с обернутыми ватой нижними концами (где ртутный шарик) могут быть

Журнал опытов по определению скоростей движения подземной воды

Местность.....Участок.....Группа А

Дата.....

Наблюдатель.....

1	2	3			4	5			6	7		8
№ опыта (индикатор)	Время наблюдения	Опытные пункты			Продолжит. опыта, сутки	Уровни в контрольных пунктах			Уклон	Темпер. воды		Добавления
		I	II	III		1	2	3		I	III	
Опыт № 1 { Флюоресценция	Начало загрузки											
	15/V 1931 . 1800	н	е	т	I—III 1 сут.	3,21	2,91	2,61	0,006	15	15	1. Водонос. порода — крупнозерн. песч.
	1900	—	—	—		3,20	2,80	2,80	—	—	—	2. Пористость его 40% способ ее определения — прибор Колецкого.
	2300	—	—	—		3,21	2,61	2,91	—	14,5	15	3. Контр. пункты 1—2 = 100 м.
Опыт № 2 { Хлорид натрия	16/V 1931 . 1730	—	—	—		—	—	—	—	15	15	4. Опыт. пункты I—III = 3 м.
	1800	—	—	—		—	—	—	—	—	—	5. Нарушений целика нет.
	1815	—	—	—	Слабо	—	—	—	—	—	—	
	1830	—	—	—	Следы	—	—	—	—	—	—	
Опыт № 2 { Хлорид натрия	Начало загрузки											
	16/V 1931 . 2000	56	58	54	I—III 22 ч. 30 м.	3,20	2,80	2,90	—	15	15	№ 1 $v = 3,04, 0 = 1,2$ м/сутки $K = \frac{1,2}{0,006} = 200$ м/сутки
	2400	—	—	—		3,22	2,62	2,92	0,006	14,5	15	
	17/V 1931 . 1700	57	59	55	= 0,94 сут	3,21	2,61	2,91	—	15,5	15	
	1700	57	66	56		—	—	—	—	—	—	
	1800	58	80	80		—	—	—	—	—	—	№ 2 $v = 3,2, 0,4 = 1,28$ м/сутки $K = \frac{1,28}{0,006} = 213$ м/сутки
	1800	59	106	80		—	—	—	—	—	—	
	1900	58	90	70		—	—	—	—	—	—	
	17/V 1931 . 2000	57	65	62		—	—	—	—	—	—	
$n = 3 : 22 \text{ ч. } 30 \text{ м} \times 24 = 3,2 \text{ м/сутки}$												

Наблюдатель.....

постоянно опущены в воду и выниматься лишь для отсчета; последние заносятся в журнал (графа 7).

3. В зависимости от выбранного индикатора устанавливается порядок работ.

А. Краски

а) До разворачивания пакетика с краской берется из шурфа небольшая ($100-150 \text{ см}^3$) порция воды в колбу или пробирку, закупоривается и убирается от опытных шурфов.

б) В возможно малом количестве воды готовится концентрированный раствор краски и вводится в загрузочный шурф и одним, двумя движениями мешалки смешивается с водой шурфа; в журнале отмечается момент загрузки (2); загрузочный шурф (особенно при неглубоком залегании горизонта воды) закрыт.

в) Отбор проб из улавливающих шурфов производится маленькими (20 см^3) металлическими (с грузиком под дном) стаканчиками, опускаемыми или на шпигате или на толстой проволоке (при близости воды от поверхности): перед взятием пробы вода в шурфе или скважине перемешивается. Желательно в каждом шурфе (I, II, III, IV) иметь свой стаканчик. Вода из стаканчика переносится в пробирку и в одинаковых условиях освещения и белом фоне сравнивается со взятым до опыта образцом воды; данные сравнения заносятся в журнал (3).

г) Пробы воды берутся после загрузки через промежутки в 4—5 час. и за 7—10 час. до конца опыта интервалы уменьшаются до 30 и 15 мин.; вероятный момент прихода краски рассчитывается из следующих данных: скорость движения воды при обычных уклонах 0,001—0,007.

в грубозернистых песках и галечниках	1,5—2—3 м/сутки
„ мелкозернистых песках и супесях	0,5—1 „
„ суглинках, лёссе	0,1—0,3 „

д) Отдельные моменты прихода краски соответственно интенсивности окрашивания отмечаются условно: следы, слабо, сильно (3).

е) Конец опыта отмечается в журнале полной датой и чертой (2).

Б. Соли

а) До введения соли в загрузочный шурф титруют пробу воды и данные заносят в журнал в графе начала загрузки (2).

б) Загрузку солей производят или в сухом состоянии (для легко растворимых солей, как хлористый аммоний) в мешках из металлической сетки или в виде концентрированного раствора; момент введения соли заносят в журнал. Если объем вводимой массы велик, то отмечают высоту подъема уровня воды в шурфе

в момент восстановления уровня. Можно избежать подъема уровня, если перед самым вводом в шурф раствора соли (например ведро) такой же объем воды изъять из него.

в) Операции взятия проб, интервалы между ними — те же, что и в опыте с красками.

г) Определение количества соли в воде производится непосредственно у шурфов; титрованный раствор реактива, бюретка, мензурки и пробирки с колбочками должны быть приготовлены заблаговременно. Данные анализа даются обычно в мг/л.

д) Наблюдения заканчиваются вслед за переломом концентрации в сторону уменьшения ее после максимума; в журнале — полная дата и черта.

К журналу опытов в каждой группе прилагается план участка и разрезы через загрузочный и улавливающие пункты с показанием водоносной породы, горизонта воды (с датой на нем) и оборудования наблюдательных пунктов (крепь, глубина воды и т. п.). Особенно тщательно в разрезе должен быть изображен целик породы, через который проходила вода (деформации его с верхней и нижней сторон, размер).

Большим недостатком при указанных способах определения скоростей движения подземной воды является необходимость отбора проб и введения иногда большого объема индикатора. Эти операции нарушают нормальный уклон подземного потока и искажают величины скоростей его движения.

Слихтером предложен способ определения скорости подземного потока, при котором это неудобство почти устранено и необычайно облегчено производство самих наблюдений. Принцип этого способа основывается на увеличении электропроводности воды, когда в нее вводится какая-либо соль; обычно употребляется хлористый аммоний. Последний в сухом виде в количестве 1, 2, 3 кг в металлическом мешке продолговатой формы (поперечные размеры его определяются диаметром скважины) вводится в загрузочную скважину в один или несколько приемов, и тогда каждый раз моменты погружения отмечают в журнале. Оборудование загрузочной и улавливающих скважин состоит из обычных обсадных труб диаметром 3—5 см, переходящих ниже горизонта воды в дырчатые фильтры, покрытые снаружи мелкой (0,5—1 мм) сеткой. Длина фильтров определяется той глубиной, до которой желают произвести исследования водопроницаемости грунта. Внутрь улавливающих скважин опускаются медные или латунные (диаметр 0,3—0,4 см) стержни, изолированные пробками от обсадных труб. Расположение загрузочного и наблюдательных пунктов и расстояния между ними таковы же, как и при описанных выше красочных или других приемах; за счет малых диаметров скважин и малого нарушения во время прохода водопроницаемых пород расстояния в стойких породах можно иногда несколько уменьшить, восполнив указанное соблюдение пунктов лихим опытом.

Электрическая цепь составляется так (рис. 61).

1) обсадная труба улавливающей скважины — амперметр, батарея элементов, стержень; движение подземной воды обнаруживается резким повышением силы тока в то время, когда электролит достигнет улавливающей скважины;

2) обсадная труба улавливающей скважины — амперметр, батарея элементов, обсадная труба загрузочной скважины; при такой цепи постепенное движение воды от одной скважины к другой можно видеть по движению стрелки амперметра, а окончательный приход раствора электролита к нижней скважине отмечается по резкому повышению силы тока.

При наличии обеих кривых процесс прохождения раствора становится наиболее наглядным, так что указанные переключения обязательны. Аналогичные операции проделываются при наличии нескольких улавливающих пунктов с каждой парой, например I-II, I-III и I-IV.

Амперметры, которыми пользуются при опытах, или обычные, требующие постоянного присутствия наблюдателя для замыкания цепи, или самопишущие, т. е. соединенные с коммутаторными

Коммутатор батареи

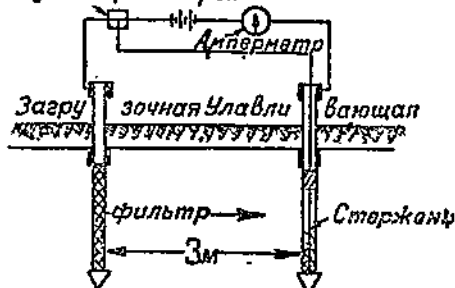


Рис. 61. Схема расположения аппаратуры.

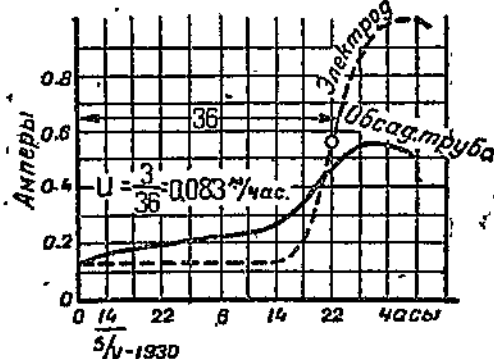


Рис. 62. График записи движения раствора в потоке.

часами, дающими контакт в зависимости от желания исследователя. При пользовании простым амперметром (с чувствительностью на 5—10 А) берут батарейки сухих элементов, а механизация работы сводится к устройству в удобном месте доски переключений, к которой подходят изолированные провода от обсадных труб и стержней улавливающих пунктов (можно одновременно наблюдать и над несколькими опытными группами).

Данные отсчетов заносятся в журнал, и на основании этих записей вычерчиваются кривые прохождения электролита. Моментом прихода электролита берут среднюю точку на участке кривой от места подъема до наибольшей высоты ее.

При пользовании железными или латунными стержнями и фильтрами приходится сталкиваться с явлениями усиленного

химического воздействия воды, выражающегося обычно в окислении этих металлических частей. Трубы и стержни после каждого опыта требуют очистки, а сетка, обтягивающая фильтр, разрушается совершенно. Металлические электроды можно заменить угольными, соединив их с изолированными проводами варом или парафином в очень компактную шашку, и закладывать ее затем непосредственно в грунт.

Описанный прием Слихтера дает возможность проводить опыт, не нарушая естественных уклонов в грунтовой воде, облегчает производство самих замеров и упрощает исследования скоростей в различных горизонтах водопроводящего пласта.

Обработка опытов

Первая обработка данных опытов производится в поле — вычисляется скорость движения воды в порах грунта:

$$u = \frac{l}{T},$$

где l — расстояние между запружочными и улавливающими пунктами, T — время прохождения индикатором указанного пути.

Значение этой величины позволит немедленно упростить наблюдения в аналогичных грунтах, т. е. вести частый отбор проб на более коротком промежутке времени.

Если представляется возможность определить в поле порозность водоносной породы, то там же производятся окончательные подсчеты, или же они производятся после необходимых исследований в лабораторной обстановке.

Скорость движения по всему сечению водоносного пласта v получается по формуле:

$$v = u \cdot p = \frac{l}{T} p,$$

где p — порозность водоносной породы и коэффициент фильтрации K :

$$K = \frac{v}{i},$$

где i — уклон подземного потока, получаемый по наблюдениям над горизонтами в контрольных пунктах. Он представляет отношение:

$$i = \frac{h}{l},$$

где h — разность отметок горизонта воды в двух пунктах, расположенных по направлению движения подземного потока на расстоянии l .

В указанные подсчеты вводятся поправки, если уклоны на протяжении опыта изменялись, и поправки на влияние температуры, если она резко колебалась во время опыта, или если полученный

коэффициент фильтрации желают сравнить с другим, определенным в иной температурной обстановке.

Получаемые описанными приемами скорости движения подземной воды носят узко местный характер и лишь с рядом оговорок могут служить для характеристики водопроницаемости грунтов на значительных по площади участках.

Масса грунта, которая оказывает влияние на получаемые во время опыта скорости, по сравнению с исследуемыми площадями обычно ничтожна и измеряется единицами метров.

Конкретная величина, получаемая во время опытов, — скорость движения воды в порах грунта — тоже носит в большинстве случаев случайный характер и обусловлена наличием больших пор, торных ходов, по которым и приносятся первые порции красящих или химических веществ, которые не позволяют отмечать прихода массы воды, движущейся по всему сечению между наблюдательными пунктами. Указанное подтверждается тем, что после прохода первых порций краски или солей масса их долго не уменьшается, и это возможно объяснить таким образом, что большие ходы, пронесши попавшую в них краску, затем начинают высасывать ее из мелкопористых участков, где продвижение ее совершается гораздо более медленными темпами.

Наконец активность самих веществ, играющих роль «индикаторов движения», явления диффузии, делают получаемые величины еще более неопределенными.

Поэтому отдельные отрывочные определения скоростей подземного потока указанными приемами будут иметь лишь узко местное значение, и лишь множественные однотипные опыты с повторностью и использованием различных типов индикаторов дают надежные результаты для характеристики и больших участков.

Г Л А В А XX

Определение расхода колодца путем откачки

«Единственным надежным способом для определения гидравлических свойств остаются методы полевых опытных определений этих свойств в условиях их естественного залегания (*in situ*).

«Определенные этим путем для всех характерных грунтов достаточно точные численные гидрогеологические характеристики служат критерием для численной оценки и всех других определений (лабораторных и вычислений по механическим анализам), единственным достоинством которых являются их сравнительная множественность и относительная, недороговизна» (Н. М. Победоносцев).

Испытание водоносных горизонтов путем откачки тем более необходимо, что установление их водопроницаемости лабораторными способами, а особенно теоретические подсчеты по различным формулам (Дарси, Газен, Крюгер и др.) дают очень приближенные результаты, причем различные друг от друга.

Испытанию откачкой могут подвергаться и грунтовые и межпластовые воды. Испытания могут быть кратковременные и длительные. Во всяком случае надо помнить, что в каждый данный момент подземные воды находятся в состоянии неустойчивого равновесия, движение их обычно неустановившееся.

Грунтовые воды обычно испытывают откачкой из шурфов или копаных колодцев, реже из буровых скважин.

Самый простой случай, когда имеют один шурф или колодец и откачка из него производится короткий срок — несколько часов. Опыт производится таким образом:

1. Устанавливается объем шурфа (глубина, ширина, длина, диаметр) в подводной части.
2. Понижается откачкой уровень на какую-нибудь возможно большую глубину и количество откачанной воды A тщательно замеряется.
3. Устанавливается объем B освобожденной от воды части шурфа, и эта величина вычитается из A .
4. Разность $A - B$ делится на число часов (минут, секунд) откачки; получается в очень грубом приближении величина потока воды в шурф или колодец в единицу времени.
5. С момента прекращения откачки ведут наблюдения за вос-

становлением уровня воды, отмечая нарастание уровня через равные промежутки (10, 30 мин. и т. д.). {

6. Вычисляют объем притекающей воды в колодец а за каждый отдельный (равный) промежуток времени, б за все время до полного восстановления уровня и строят график (кривую) заполнения шурфа — получают контрольные данные для величин п. 4.

Для получения более точных результатов пользуются системой шурфов — один опытный шурф, из которого производится откачка в центре, и крестообразно от него наблюдательные шурфы. Необходимо не менее двух наблюдательных шурфов. Для закладки шурфов пользуются следующими соображениями. Линии шурфов должны располагаться вдоль и поперек потока. Следовательно предварительно по системе из 3 шурфов выясняется направление потока.

Если надо ограничиться малым количеством шурфов, то располагают их поперек потока: а) либо два наблюдательных шурфа в одну сторону от центрального, б) либо по два наблюдательных по обе стороны от центрального на расстоянии 10 и 25 м от него.

Если можно шурфы прибавить, то ставят: а) вверх по потоку 3 шурфа через 5, 10, 20 м, б) вниз по потоку 4 шурфа через 5, 10, 20, 40 м, в) поперек потока в каждую сторону по 5 шурфов через 5, 10, 25, 40, 80 м (расстояния между шурфами примерные и могут значительно меняться).

Откачка производится так: а) понижают уровень в центральном шурфе на некоторую величину (например 0,5 м) и поддерживают этот уровень несколько часов, пока в наблюдательных скважинах не прекратится движение уровней; б) после этого замеряют, поддерживая тот же уровень, раза 2—3 через полчаса расход в течение 5 мин. каждый раз; в) усиливают откачку и понижают уровень еще на 0,5 м (или на другую величину, но лучше на ту же, что и в первый раз) и поддерживают новый уровень, наблюдая за движением уровней в остальных шурфах; г) опять так же замеряют расход; д) в третий раз понижают уровень и замеряют расход, как указано выше.

Наблюдательные шурфы заменяют часто буровыми скважинами.

Из опыта получают величины понижения уровня (s_1, s_2, s_3), расходы, соответствующие этим уровням (Q_1, Q_2, Q_3), радиусы воронок депрессии соответственно R_1, R_2, R_3 ; радиус шурфа известен. Применяя формулы расхода воды из трунтового колодца, вычисляют коэффициент водопроводимости.

Следует заметить, что результаты получаются разные в зависимости от того, достиг шурф до водоупорного слоя (полный или совершенный колодец) или нет (неполный или несовершенный колодец); поступает вода в шурф: 1) только через стенки, 2) только через дно или 3) и через стенки и через дно.

Если откачку ведут из глубоких буровых скважин (в грунтовых или межпластовых водах), то вследствие дороговизны более двух наблюдательных скважин не ставят (метод Тима).

Кроме использования известного метода Г. Тима Н. М. Победоносцевым предложены два других приема, основанных на работах германских гидрологов Шульце и Зихардта.

«Докт.-инж. Шульцем разработана теория¹ вычисления величины радиуса влияния R при откачке воды из буровых скважин в зависимости от коэффициента водопроницаемости k , мощности водоносного слоя H , коэффициента пористости грунта p и длительности откачки t . Теоретически исправленная и преобразованная мною применительно к определению радиуса влияния в зависимости от величины дебита Q , эта формула имеет вид:

$$R = \sqrt{\frac{3Qt}{\pi p H}}$$

Так как величина коэффициента пористости p изменяется для песков в весьма ограниченных пределах примерно от 0,30 до 0,45, то входящая в правую часть формулы (1) величина квадратного корня из этой величины может изменяться в пределах всего от 0,5 до 0,7. И следовательно, если мы примем для коэффициента пористости p среднюю величину 0,4, то погрешность при вычислении величины радиуса влияния не превышает 15%, что вполне допустимо, тем более, что в дальнейшем при пользовании величиной радиуса она в более ответственных случаях входит под знаком логарифма.

Формула (1) предложена мною к использованию при вычислении коэффициентов водопроводимости грунтов применительно к условиям составления схематического проекта Волгостроя. Дело в том, что аллювиальные отложения Волги обладают большой геологической мощностью. Бурение их ведется на глубину 20 м и более (в среднем 35—40 м), при этом статический столб воды скважины достигает также 20 м или более. Толща аллювия Волги, как правило, в каждом пункте состоит из ряда более или менее водопроницаемых слоев. Исследованию пробной откачкой подвергаются слои с большей водопроницаемостью, как наиболее опасные с точки зрения развития именно в них наибольших скоростей фильтрации. В пределах исследуемого слоя ставится фильтр известной длины l . Так как течение воды в аллювии наиболее затруднено в вертикальном направлении, то мы принимаем движение воды к фильтру только в пределах толщи l , относя дополнительный (меньший) приток воды сверху и снизу к этой толще в запас прочности, учитывая необходимость покрытия этим неизбежного сопротивления фильтра.

¹ Формула Шульце имеет вид: $R = \sqrt{\frac{3Hkt}{p}}$.

Таким образом наш первый прием состоит в использовании результатов пробных откачек воды из одинаковых буровых скважин при помощи следующей системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{3Q t}{\pi p H}}, \\ k &= \frac{R (\ln R - \ln r)}{2 \pi m s} \end{aligned} \right\} (1)$$

Второй предложенный нами прием заключается в использовании эмпирической формулы, данной докт.-инж. В. Зихардтом.

Для предельной величины дебита $Q_{\max}$ буровой скважины,

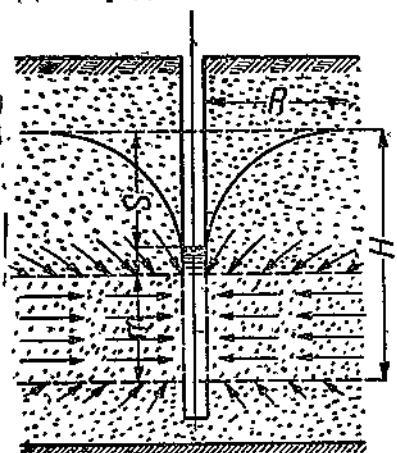


Рис. 63. Схема движения воды в откачиваемую скважину применительно к формуле (А).

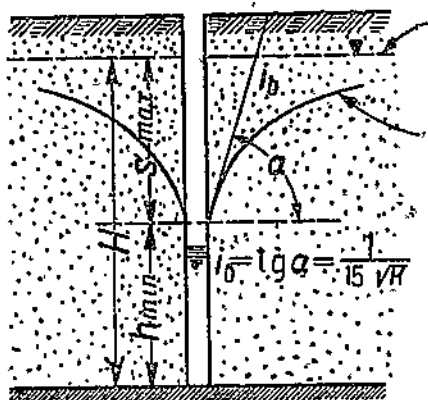


Рис. 64. Схема положения грунтового потока применительно к формуле (2).

проведенной диаметром d в зависимости от коэффициента водопроницаемости k :

$$Q_{\max} = \pi d h \sqrt{\frac{k}{15}}, \quad (2)$$

где предельная высота столба в буровой скважине h .

Формула (2) дает возможность, зная предельный дебит $Q_{\max}$, диаметр d буровой скважины и минимальную высоту столба h притекающей к колодезу воды, определить коэффициент водопроницаемости k :

$$K = \frac{225 Q_{\max}^2}{\pi^2 b^2 h^2}. \quad (3)$$

Иногда по техническим условиям разведочных работ бывает трудно получить максимально предельную величину дебита. Поэтому формула (4) может быть преобразована на основе полученной пробной откачкой величины дебита при известном понижении

нии уровня воды в скважине S , зная, что величина дебита при больших понижениях пропорциональна корню квадратному из величины понижения, т. е. что $Q_{\max}:Q = \sqrt{S_{\max}}:\sqrt{S}$ и что $S_{\max} = 42 H$ (по Козени) и $S = 0,58 = H$.

$$k = \frac{28,5 Q^2}{a^3 H S}. \quad (4)$$

Для более точных определений коэффициентов водопроницаемости грунтов, а также для определения коэффициентов живого сечения грунта и скоростей течения грунтовых вод в условиях Волгостроя мы применяем два других известных метода: метод Форхеймера, для которого требуется пара буровых скважин, опущенных на один и тот же водоносный слой, до одной и той же глубины, и отстоящих друг от друга в пределах радиуса влияния, и второй метод Тима, для которого необходимы минимум три скважины, опущенные на один и тот же слой и той же глубины и расположенные по одной прямой линии, в пределах радиуса влияния той крайней скважины, из которой производится откачка.

Определения коэффициентов водопроницаемости ведутся при этом по известным формулам:

$$k = \frac{Q (\ln a^2 - \ln r)}{\pi (b^2 - h^2)} \quad (5)$$

для системы двух скважин, отстоящих друг от друга на расстоянии a , с высотой столба воды в опытной скважине h , в наблюдательной b , считая от подошвы до водоупорного ложа (или от горизонта подошвы фильтра опытной скважины) и

$$k = \frac{Q (\ln a_2 - \ln a_1)}{\pi (b_2^2 - b_1^2)} \quad (6)$$

для системы трех скважин, из которых первая, ближайшая, отстоит от опытной скважины в расстоянии a_1 , вторая в расстоянии a_2 с высотами столбов воды в первой наблюдательной скважине b_1 , во второй b_2 , считая от водоупорного ложа (или от горизонта подошвы фильтра опытной скважины).

При производстве опытной откачки в обоих случаях следует вести непрерывные наблюдения за уровнями воды в наблюдательных скважинах до момента начала их понижения вследствие откачки воды из опытной скважины. Тогда, пользуясь формулой (1), имеется возможность определить так называемую активную пористость p грунта по формуле:

$$p = \frac{3 Q t}{\pi H R^2}, \quad (7)$$

а отсюда вычислить и коэффициент живого сечения ϕ грунта:

$$\phi = \frac{2 Q t}{\pi H R^2}. \quad (8)$$

Зная же коэффициент живого сечения грунта φ и коэффициент его водопроводимости k , определяем коэффициент скорости фильтрации K_0 в грунте:

$$K_0 = \frac{k}{\varphi}. \quad (9)$$

Гидравлический показатель n грунта определяется как обратная величина коэффициента m в формуле Смркера:

$$n = \frac{\lg Q_2 - \lg Q_1}{\lg S_2 - \lg S_1} \quad (1)$$

где Q_1 и Q_2 — дебиты, полученные при откачке при двух различных небольших понижениях S_1 и S_2 уровня воды в опытной скважине.

Методы Форхгеймера и Тима требуют обязательного доведения откачки до стационарного состояния уровня воды во всех скважинах системы, что сопряжено с большой длительностью, а следовательно и с большой стоимостью производства самой откачки, не считая стоимости бурения и оборудования наблюдательных скважин. Вследствие этого применение этих методов значительно более ограничено, чем трех предыдущих. Но они ценны не только благодаря большой точности определений, но и в особенности благодаря возможности определений при них действительных скоростей течения.

Для трещиноватых водоносных пород коэффициент водопроводимости определяется по результатам опытных откачек воды по особым формулам:

1. По методу дебита:

$$k = \frac{Q}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{r(H^2 - h^2)}}. \quad (11)$$

2. По методу автора:

$$k_0 = \frac{HR^2}{4t} \sqrt{\frac{3}{r(H^2 - h^2)}}. \quad (12)$$

$$\varphi = \frac{2Qt}{\pi HR^2} \quad (13)$$

3. По методу Форхгеймера:

$$k = \frac{Q}{2\pi} \sqrt{3 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{a} \right) \frac{1}{b^2 - h^2}}. \quad (14)$$

4. По методу Тима:

$$k = \frac{Q}{2\pi} \sqrt{3 \left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} \right) \frac{1}{b_2^2 - b_1^2}}. \quad (15)$$

Для сухих пород, залегающих глубоко, применяем метод поглощающих колодцев путем нагнетания в буровые скважины воды. Методы расчетов аналогичны предыдущим. (По рукописи Н. М. Победоносцева.)

Г Л А В А XXI

Примерные задания общих (обзорных) гидрогеологических исследований в масштабе 4-у 2 км в 1 см

Основной задачей общих гидрогеологических исследований (съемок) является выяснение геологического строения, тектоники и стратиграфии там, где они не выяснены, и на основании их изучения водоносных горизонтов, выяснение их количества, свойств и качеств воды и ее приблизительного дебита, установление основных типов источников и практических способов наиболее рационального их использования.

Общие гидрогеологические исследования производятся по заранее установленному плану работ, согласованному с общим направлением мелиорации края, но, раз начавшись в каком-либо районе, должны охватить весь бассейн реки или иной физико-географической единицы.

Площадь исследования для одной партии в полевой период может колебаться около 2 000—3 000 км² в зависимости от сложности рельефа и геологического строения. Примерный состав партии: 1 гидрогеолог, 1 техник-гидрогеолог, 1 коллектор, 2 рабочих.

Полевые работы производятся в течение 4 месяцев, а в случае отсутствия геологической основы прибавляется еще 2 месяца на геологическую съемку.

Гидрогеологические исследования производятся по картам двухкилометрового масштаба на основании нижеследующего:

1. Производится топографическое описание района.
2. Изучаются поверхностные наносы, их мощность.
3. Производится барометрическая нивелировка обнажений.
4. Изучаются склоны, степень их выветривания и обнаженности.
5. Изучается гидрографическая сеть района.
6. Дается описание берегов, аллювиальных наносов, террас.
7. Изучаются взвешенные осадки текущих вод.
8. Производится подсчет по средним данным метеорологических станций, количества выпадающих осадков и расхода воды поверхностных потоков по данным гидрометрии.
9. По возможности определяется процент стока и просачивания атмосферных осадков.

10. Изучаются свойства подземной воды в различных местах, выясняется степень и причины минерализации.

11. Производится геологическое описание обнажений с нивелирной увязкой доминирующих горизонтов с петрографической и палеонтологической характеристиками горных пород.

12. При бедности района обнажениями производится расчистка склонов, шурфовка, разведочное бурение, для чего необходимы надлежащая организация и оборудование партий.

13. Изучаются тектоника и стратиграфия районов.

14. Составляются сводный геологический разрез и геологические профили.

15. Полутно отмечаются полезные ископаемые и строительные материалы.

16. Выясняется количество водоносных горизонтов.

17. Дается петрографическая характеристика с указанием палеонтологического возраста.

18. Определяется водосборная площадь каждого водоносного горизонта и выясняется приблизительный запас воды.

19. Изучаются условия залегания и тока подземных вод.

20. Описываются выходы подземных вод естественные с разделением на типы, определяется их дебит (по возможности).

21. Определяются свойства и качества воды путем полевого анализа воды; и берется проба для полного анализа воды.

22. Определяется причина минерализации засоления вод.

23. При описании выходов источников проводится их высотная увязка барометром.

24. Колодцы и скважины описываются с промерами до дна и до воды, приводится высотная отметка устья, определяются дебит, изменения его, выясняются колебания его уровня.

25. Производятся полевые анализы воды колодцев и берется проба для полного анализа.

26. Описывается оборудование колодцев, производится статистико-санитарное обследование, выясняется степень загрязненности, причины ее и способы устранения.

27. Отмечаются места, пригодные для рационального использования подземных вод, подлежащие детальным исследованиям.

Отчетность

Собранные материалы обрабатываются в специально оборудованной лаборатории, библиотеке и других базах.

Отчетов представляется два: предварительный (информационный) через 2—3 декады по возвращении с поля и полный к началу следующего полевого периода или к другому заранее обусловленному сроку.

1. В первой части полного отчета даются общие описания и научные данные.

2. Во второй части приводятся общие выводы практического характера.

3. К отчетам прилагаются: {

- 1) геологическая карта 5- или 10-километрового масштаба,
 - 2) карта поверхностных отложений,
 - 3) карта с указанием выхода подземных вод и колодцев,
 - 4) карта соленых и пресных вод,
 - 5) карты глубины залегания грунтовых вод (для равнинных районов);
 - 6) таблица анализов,
 - 7) список родников, колодцев, шурфов и буровых скважин с указанием высотной отметки, дебита и минерализации,
 - 8) графики и диаграммы; альбом фотоснимков. }
-

Г Л А В А XXII

Примерные задания детальных гидрогеологических исследований масштаба 800 м в 1 см

I. Гидрогеологические съемки 10-километрового масштаба, давая широкое освещение по вопросам гидрогеологии больших площадей, не могут понятно дать исчерпывающих данных для ответа на конкретные вопросы, какие дают детальные исследования (съемки) в масштабе не менее 800—1 200 м в 1 см.

Площади такого исследования для одной партии может колебаться около 400—1 000 км². Примерный состав партии: 1 гидрогеолог, 1 техник-гидрогеолог, 1 техник-разведчик, 2 коллектора, число рабочих — по потребности.

Конкретные вопросы, выдвинутые жизнью или поставленные на основании общих исследований, могут быть различны: главные из них направлены будут конечно на возможное увеличение дебита грунтовых (и артезианских) вод для питья, для водопоя и хозяйственных нужд или для орошения.

Для такого использования подземных вод потребуются в дальнейшем производство их каптажа, устройство кяризных систем, устройство донных (подземных) плотин для улавливания подземного тока воды, копаней, хапаков и т. п. или артезианское оборудование.

Детальной гидрогеологической съемки требует также освещение вопроса о возможных последствиях орошения или осушения района, о выборе места для проектировки сооружения и т. д.

Систематические исследования больших площадей в таком крупном масштабе только что начали развиваться в Европейской части Союза, в Азиатской же почти еще не производились. Здесь в отношении гидрогеологии пока еще должен пройти цикл систематических исследований 10-километрового масштаба.

В будущем, когда весь Союз будет покрыт геологической съемкой масштаба 800 м в 1 см (2 версты в 1 дм.) и будут произведены гидрогеологические исследования такого же масштаба, можно будет непосредственно в отчетах получить исчерпывающие ответы на подобные вопросы.

Программы детальных исследований понятно могут сильно варьировать в зависимости от объема и содержания конкретных заданий, но вместе с тем желательно, чтобы эти исследования

приближались к типу систематических исследований масштаба 800 м в 1 см, чтобы исследования эти освещали по возможности наиболее полно все вопросы гидрогеологии и геологии на исследуемых площадях и послужили бы началом будущих систематических исследований крупного масштаба.

Одной из основных задач такого рода исследований нужно поставить составление пластовых карт 2-километрового масштаба.

2. Детальные гидрогеологические исследования 2-километрового масштаба производятся на заранее намеченных планом работ площадях для разрешения определенных конкретных заданий.

В случае отсутствия или недостаточных топографических данных существующих съемок предварительно производятся топографические съемки не менее 1 версты в дюйме (400 м в 1 см).

Для составления точных геологических профилей и разрезов, а также для составления пластовых карт по указаниям гидрогеолога производятся специальные нивелировочные ходы, а также барометрические нивелировки.

Объем разведочных работ определяется как требованиями задания, так и наличием естественных и искусственных (колодцы, карьеры и пр.) разрезов.

Детальные гидрогеологические исследования 2-километрового масштаба производятся согласно нижеследующему:

1. При наличии планового материала в масштабе 1 версты в дюйме (400 м в 1 см) с горизонталями через 10 м по указанию геолога производятся нивелировки для составления точных профилей и разрезов и в нужных местах закладываются временные или постоянные репера.

2. Производится барометрическая нивелировка с отметкой доминирующих горизонтов естественных обнажений и выходов разных горизонтов грунтовой воды и увязываются нивелиром или барометром искусственные обнажения.

3. Подготавливается отчетная гипсометрическая основа 2-километрового масштаба (800 м в 1 см).

4. На основании топографической основы и осмотра района производится подробное геоморфологическое описание района с указанием поверхностных отложений, их мощности и петрографического состава. Изучаются водоразделы и склоны, степень их размыва, развевания и выветривания.

5. Одновременно производится подробное геологическое описание всех естественных и искусственных обнажений, увязываемых с высотными отметками, и составляются геологические профили. Особенное внимание обращается на водоносные горизонты. Наиболее интересные объекты фотографируются.

6. При недостатке естественных обнажений производится шурфование или бурение для изучения точного геологического строения исследуемой площади.

7. Изучаются тектоника, стратиграфия, петрографический состав (особенно водоносных горизонтов) и палеонтологическая характеристика пластов.

8. Попутно отмечаются все полезные ископаемые и строительные материалы.

9. Производится подробное описание всех естественных выходов грунтовой воды с разделением на горизонты, дается литологическая характеристика водоносных горизонтов, определяется их геологический возраст, определяются дебит источников и температура, выясняются изменения уровня подземных вод, производится полевой анализ воды и берется проба для точных анализов.

10. Определяется абсолютная высота выходов подземных вод путём нивелировки или барометрически.

11. Дается подробное описание всех колодцев, шурфов и буровых скважин с промерами до дна и до воды, с высотной отметкой устья; определяются дебит, свойства и качества воды, температура, жесткость и периодические или постоянные изменения.

12. Производится статистико-санитарное обследование колодцев и источников, используемых населением, и выясняется степень их загрязненности и способы их улучшения.

13. Выясняются потребности населения в отношении водопользования и способы их удовлетворения.

14. На основании произведенных исследований составляется проект гидрогеологической мелиорации исследованной площади.

Отчетность

Собранные материалы обрабатываются и составляется полный отчет к заранее обусловленному сроку (обычно к началу полевых работ следующего года).

Отчет состоит из двух частей:

1. В первой части дается описание общих и научных данных.
2. Во второй части — практические выводы и результаты статистико-санитарного обследования.

Приложения к отчету составляют:

1. Гидрогеологическая карта масштаба 800 м в 1 см.
2. Геологическая карта масштаба 800 м в 1 см.
3. Пластовые карты водоносных горизонтов.
4. Карта поверхностных отложений.
5. Карта зеркала грунтовых вод на определенный отрезок времени.
6. Карта колодцев и выхода различных горизонтов грунтовых вод (родников).

7. Карта соленых и пресных вод, а также в необходимых случаях карта физико-геологических явлений (оползни, размыв, развезание и т. д.), строительных материалов, полезных ископаемых и пр.

8. Таблица анализов.

9. Список колодцев и родников.

10. Графики, диаграммы и альбом фотоснимков.

ГЛАВА XXIII

Примерные задания для гидрогеологических исследований при рекогносцировочных эксплуатационных исследованиях ирригационных систем

I. Гидрогеологические исследования в составе рекогносцировочных эксплуатационных исследований ирригационных систем имеют целью:

1. Выявить водные ресурсы данной системы или района в отношении действительных возможных источников питания подземного происхождения.

2. Установить участки речного русла, магистралей и остальной части системы: идентичных по условиям фильтрационных и дренажных свойств, с количественной характеристикой каждого из них (потери, возвратные воды).

3. Установить районы различного стояния грунтовых вод за вегетационный период — на глубине от 0 до 1 м, на глубине от 1 до 2 и 3 м, глубже 2—3 м и их годовой режим.

4. Дать заключения об естественных участках баланса, о грунтовых условиях, как основаниях в местах предполагаемых сооружений, о возможности развития орошения на грунтовых водах и интенсификации их повторного использования.

II. В связи с этим полевые гидрогеологические исследования должны собрать достаточный материал как описательного, так и экспериментального характера для более или менее полного освещения поставленных выше вопросов. Вследствие этого при полевой работе следует придерживаться следующего порядка сбора материалов:

А. Установить геоморфологию района:

- а) описать имеющиеся долины, балки, овраги, промоины и пр.,
- б) описать междолинные пространства.

Б. Установить литологический состав имеющихся в районе выходов (естественных и искусственных) горных пород, описать обнажения и собрать образцы горных пород. Если есть минеральные образования или ископаемые организмы — собрать и их.

В. Нанести на карту имеющиеся обнажения, перенумеровав их.

Г. Зарегистрировать и описать все имеющиеся выходы подземной воды, перенумеровав отдельно родники и колодцы, и нанести их на карту.

Д. Установить наблюдения над колебаниями уровня воды в существующих колодцах и в специально для этого сооруженных шурфах и буровых скважинах.

Е. Взять для химического анализа образцы воды из родников и колодцев (не менее 1 л), на месте определить прозрачность, цвет, вкус, запах, температуру воды. Бутылки хорошо промыть в той же воде и после наполнения плотно закупорить и запечатать сургучом.

Ж. Ознакомиться с арычными системами и выяснить: нет ли связи в колебаниях воды в колодцах (шурфах и скважинах) и арыках.

З. Занивелировать наблюдательные пункты.

И. Произвести пробную откачку воды из колодцев и шурфов, понижая при откачке уровень на различные величины при разных естественных уровнях стояния грунтовой воды.

К. Определить направление и скорости течения подземного потока при разных естественных уровнях стояния грунтовой воды.

Г Л А В А XXIV

Примерные задания для буровых работ при гидрогеологических исследованиях

Буровые скважины должны выяснить условия залегания, характер, взаимоотношения, качества и свойства всех пород и встречаемых вод.

Для этого следует иметь образцы всех пройденных пород и установить присутствие водных горизонтов, определив их: а) мощность, б) качество воды, в) дебит, напор и другие свойства в связи с проходимыми породами.

1. В связи с требуемой глубиной исследования для сооружения:

а) глубина скважины должна превышать глубину заложения фундамента на 10 м (а инструменты должны иметь в длину на 15 м больше), а для изучения фильтрации канала и в других подобных случаях — на 2 м;

б) наименьший диаметр основных скважин желательно иметь не менее 10 мм, для того чтобы получать образцы мелких пропластков, особенно важных в случаях их песчанистого характера и водоносности;

в) в случае ручного бурения, во избежание значительного осложнения работы из-за трюмозкости инструмента, желательно не превосходить диаметра, равного 150 мм.

2. При общей геологической конторе на месте (на базе) необходимо оборудовать лабораторию для производства полевых исследований породы и воды.

а) Исследования пород ведутся: механические — ситовые и отмучиванием (сохраняя все продукты отмучивания и исследуя их в дальнейшем под микроскопом или бинокляром, определяя процентные отношения по крупности зерна) и химические — подвергая в нужных случаях частичным или валовым анализам в лаборатории в центре.

б) Воды испытываются на жесткость: а) постоянную и б) общую и подвергаются анализам на Cl , SO_4 , $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, плотный остаток, Ca , Mg , $\text{K} + \text{Na}$ и др. Желательны точные анализы.

3. На местах буровых работ в конторах обязательно иметь наборы необходимых реактивов и приборов для производства некоторых опытов тут же на месте, чтобы в сомнительных слу-

чаях иметь критерий для взятия больших проб для точных исследований.

Обязательно на каждом месте буровых работ в конторе должны быть: а) лупа, б) геологический молоток, в) термометры максимальный, минимальный и простой, г) термометр ртутный, д) барометр, е) ватерпас, ж) соляная кислота, з) прибор для замера уровня воды в скважине.

Порядок бурения

1. Скважины должны быть заданы на плане и перенумерованы.
2. С плана переносятся на местность с отметкой устья.
3. Каждое устье до начала бурения связывается нивелировкой с ближайшими съемочными точками с установкой вблизи своего репера.

4. В случае скважины на реке все измерения глубины производятся к уровню воды (если бурение производится со льда, то необходимо следить, чтобы измерения производились к уровню воды, но ни в коем случае не к поверхности льда), уровень воды связывается немедленно с показанием гидрометрического поста, устроенного тут же на берегу.

5. Для каждой скважины с момента приступа к ее бурению заводится буровой журнал (подлинник с копиями). Журнал ведется на месте работ.

6. Если скважина задается в валунных отложениях и ею встречаются валуны, сильно затрудняющие углубку скважины, допускается и даже рекомендуется перемена места и подыскание более удобного, по возможности свободного от валунов.

7. Образцы проходимых пород берутся не реже 0,50 м, в случае перемен породы — каждую перемену.

8. При появлении валунов в глинах, по своему характеру подходящих к типу коренных пород, большие валуны следует тут же на месте выделить в отдельные образцы (мелкие), прощупать руками, промыть всю массу, отделив предварительно образцы (п. 7), и все образцы сохранить. Отодвигать валуны в сторону пирамидальным буром допускается только в исключительных случаях, причем следует безусловно взять образцы как самого валуна, так и грунта, в котором он встречен.

9. Обсадные трубы следует держать непосредственно за инструментом, вести бурение очень осторожно, особенно в случае, вызывающем предположение о близком появлении водоносного слоя, чтобы уловить верхнюю границу водоносного пласта.

10. В основных скважинах, пройдя весь водоносный слой, следует его закрепить, желательно фильтром, после того как произведены все наблюдения изолировать новой колонной и идти дальше этой колонной.

11. В водоносном пласте образцы берутся не реже 0,25 м и в каждый подъем инструмента.

12. Пробы воды для анализа берутся в количестве не менее 1 л с каждого водоносного горизонта.

13. При взятии пробы измеряются: а) температура воды, б) уровень, и определяются запах, вкус, цвет, мутность.

14. Все образцы пород сохраняются в стеклянных банках или стеклянных цилиндрах, закрытых пробками, и только в случае недостатка в стеклянной посуде — в деревянных ящиках и мешках.

15. Температура воды измеряется периодически специальным термометром.

16. Периодическое измерение дебита обязательно при переливающейся струе помощью водослива или откачки после осветления струй в течение не менее часа.

17. Уровень воды в скважине определяется ежедневно до приступа к работе и наблюдается его колебание во время работы.

18. Для предупреждения умышленного засорения и вообще порчи скважины в нерабочее время каждая скважина после окончания дневной работы закрывается на замок специальным ящиком.

19. По данным бурового журнала немедленно вычерчиваются разрезы скважины в чистом виде.

20. Все наблюдения за проходимыми породами или встречаемыми водами, ведение бурового журнала, составление разрезов и т. д. возлагаются на гидрогеологических наблюдателей.

21. Все подлинники материалы остаются и хранятся в исследовательской организации впредь до составления полного отчета о работах.

22. Со всех подлинников журналов снимаются копии (помощью копировальной бумаги) и вместе с результатами испытаний доставляются в центральную организацию.

23. Во всех случаях сомнений, недоразумений и т. п. следует немедленно обращаться с запросами в центральную организацию.

Далее приводим для образца схему бурового журнала. Наличие подобного журнала на работе облегчает регистрацию всех моментов работы и обеспечивает достаточную полноту сведений. Часть сведений вносится в журнал после лабораторной обработки материала.

НКЗ — СССР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
СООЗНЫХ ПРЕСОВ
ЗЕРНОВЫХ СОВЕТСКИХ ХОЗЯЙСТВ
ЗЕРНОСОВОХОЗЪЕДИНЕНИЕ

Схема бурового жур-
нала (страница 1-я) РАЗРЕЗ СКВАЖИНЫ

Буровой журнал
разведочн. скважины
№

РИСОУПРАВЛЕНИЕ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
Москва—40, Петровка, 31Б.

Диаметр начальн.
конечный —Комплект

№ Начата
Окончена

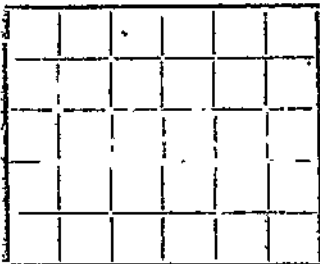
Заложена в
Город район сельсовет
Село владение

Подробно указать место заложения
с обозн. расстоян. и напр. от известн. пунктов

Название ближайшей реки, канала
и расст. я-до от них

Цель сооружения
разведочная, д.я питья, хозяйственных надобностей,
технических целей и пр.

План расположения
скважины
С



Ю
Масштаб

Высотные данные:

Абсолютная высота устья м

" " гор. гр. воды м на 193 г.

" " воды реки м на 193 г.

Превыш. гор. воды скваж. реки м над гор. воды реки скваж. м

Местонахождение пункта, с которым связана

Его абсолютная высота

Расстояние и направление от этого пункта

Способ нивелировки
инструм., барометр, глазом. опр.

Когда и кем произведена

Краткое
название
порода

Глубина
от поверхности
земли

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

Образцы пород		Скважина №		Гидрогеологический разрез: наименование пород, цвет, оттенки, твердость, влажность, однородность, пористость, включения, новообразования; кроме того для песков, галек и др. — размер зерен, степень окатанности, петрографический и минералогич. состав и для цементованных пород — состав цемента	Глубина замера- паста от поверхности породы в м	Мощность пасты- Глубина пасты	Глубина пасты	Установившийся уровень воды	Мощность водо- носного пласта
Глубина взятия	№	Ар- хив- ный №	№						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность пород по рядку заглавия									

Общие замечания

Особенности работы, явления, замеченные при проходке скважины (проскоки инструмента, пробки плывунов, при какой глубине и в течение какого времени они образовались, их высота, оплывание), свойства водоносных пород, способы перекрытия водоносных горизонтов и т. д.

Буровой мастер

Р А Б О Т А И О С Т А Н О В К И

Время	Число рабочих часов		Род оплаты	Пробурено		Закреплено трубами		Глубина скважины к концу смены		Разные работы (подготовка, подгонка и ликвидация труб, разборка и ликвидация, замена инструментов, ремонт, откачка воды и пр.)	Примечания (показания на 100 ударов или оборотов, подсчет стоимости работ)			
	от	до		пог. м	Кол. и диаметр	Внеш. диаметр	Кол. потонных труб	до забоя	закрепленной					
Месцац и дни	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Схема бурового журнала
(страница 4-я)

Пробная откочка

Способ откачки артез. цилиндром, насосом системы

[illegible]

При м е ч а н и е. При самонизинини указать в графе «уровень воды» высоту устья скважины от поверхности земли

НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ОТКАЧКЕ: скорость восстановления уровня воды, через сколько времени отсчитывалась вода, влияние ближайшего колодца и т. п.

Взяты образцы воды:

193...r.

25

IV.

193... r.; №...

و

臨

No. 17.

193.-r.

3

II

193 r: №

25

2

三
二
一

三

№ образцов	Темпер. в °С в стакане	Прозрач. и цвет	Вкус и запах	Реакция	Жесткость Н°		Описание мосты	ПРИМЕЧАНИЯ
					общая	постоянная		
1	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
2	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
3	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
4	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
5	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
6	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
7	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
8	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
9	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
10	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
11	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
12	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
13	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
14	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
15	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
16	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
17	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
18	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
19	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	
20	20	бесцветная	слабый запах	нейтральная	1	1	1	

[illegible][illegible]

Характеристика воды

ГЛАВА XXV

Примерные задания для гидрогеологических и геологических исследований грунтов под постройку сооружений

Исследование грунтов под сооружения должно иметь своей целью: выяснить устойчивость грунтов, установить отсутствие условий, способствующих образованию обвалов, оползней, оплывин, оседания, провалов и размыва. Перечисленные явления имеют в основе сложные взаимодействия горных пород, с одной стороны, и подземных и поверхностных вод — с другой. Для правильного понимания и учета этих явлений необходимы специальные исследования и наблюдения. Кроме того установившееся в природе равновесие грунтов и водного режима может сохраниться при одной нагрузке, но придет в неустойчивое состояние при другой, более значительной; так например в определенных существующих условиях может безопасно возводиться плотина с подпором в 2—3 м, но возведение плотины с подпором в 10—15 м может оказаться делом трудным, рискованным, а иногда и практически неосуществимым. Поэтому всякое исследование грунтов под сооружения должно иметь перед собой совершенно точное задание — размеры, характер и цель сооружения, так как тяжелые здания (особенно те из них, которые подвержены сотрясениям от расположенных в них мощных механических установок), выемки, насыпи, водосборные сооружения, поглощающие колодцы и пр., могут в корне нарушить существовавшее до того равновесие грунтов и их водного режима.

Геологическое и гидрогеологическое исследование грунтов должно следовательно ставить себе следующие задания:

1. Выяснить, нет ли природных или искусственных факторов, создающих неустойчивость грунта.
2. Выяснить степень его естественной устойчивости.
3. Выяснить возможность применения каких-либо мер к устранению неустойчивости или предотвращению ее вредных последствий.

Таким образом в основе лежит по существу изучение природных условий устойчивости грунтов: изучаются рельеф местности, видимые явления смещения земляных масс, геологическое строе-

ние района, распределение и режим подземных вод, размывающая деятельность поверхностных вод и т. д.

Иногда работы по подобному исследованию можно ограничить участком, предназначенным для сооружения, и тогда данные исследования могут полностью войти в материалы для технических проектирований. В иных случаях район работ необходимо расширить, и исследования должны принять характер съемки, в которой регистраций явлений неустойчивости на исследуемой площади будет на первом плане, другими словами, задачей съемки будет выделение на площади работ участков: а) безусловно безопасных, б) условно безопасных, требующих соблюдения мер предупредительного характера и применения укрепительных работ, в) безусловно опасных, которых рекомендуется избегать при производстве строительных работ.

Работами общего порядка будут следующие:

1. Сбор и свodka исторических данных по явлениям неустойчивости из литературы и по опросу на местах.

2. Геологические и гидрогеологические исследования, которые ведутся для изучения геологического строения местности, состава и свойств пород, распределения водоносных горизонтов и условия циркуляции подземных вод, изучения рельефа и современных физико-геологических явлений (оползни, провальные образования, размыв).

3. Работы топографические и гипсометрические, применяемые для целей: точной съемки местности, определения высот, руководящих пунктов, нивелировки профилей.

4. Гидрометрические и метеорологические сводки для точного изучения циркуляции, режима поверхностных и подземных вод и условий водного питания неустойчивых земляных масс.

5. Обследование искусственных сооружений, влияющих прямо или косвенно на устойчивость грунтов.

6. Стационарные наблюдения над явлениями неустойчивости (оползнями и провальными образованиями) и режимом грунтовых вод.

Дальнейшие специальные детальные исследования могут быть развиты в различных направлениях в зависимости от того, какие природные условия характерны для данной местности: преобладают ли явления смещения масс (оползни), провальные явления, явления размыва и т. д.

Исследования на оползнях

Центральная и руководящая роль при выяснении устойчивости оползней принадлежит гидрогеологическим работам. Подробные съемки и разведки исследуемой площади в связи с общим изучением рельефа местности, специальные нивелировки для составления профилей, увязки обнажений, буровых скважин, шурфов, выходов подземных вод должны лежать в их основе.

В состав их входят следующие элементы исследования:

1. Изучение состава напластований (коренных и послетретичных (антропогенных) пород. Особое внимание при этом обращается на водные свойства, связность и механический состав пород и водопроницаемость, влагоемкость, углы естественного откоса и трения в различных условиях влажности.

2. Условия залегания: наклоны слоев как общие, характерные для района, так и местные; полная точная регистрация всех случаев смещенного залегания: положение и размер трещин и плоскостей околжения.

3. Расположение водоносных горизонтов, их питание и обилие водой, величины напоров, условия циркуляции подземных вод в несмещенных оползневых толщах; регистрация и количественный учет всех различного рода выходов подземных вод на поверхность.

4. Явления инфильтрации вод естественного стока и вод искусственных водоемов и водостоков; обследование искусственных сооружений, оказывающих влияние на водный режим и устойчивость породы, — поглощающие колодцы и ямы, сточные каналы, пруды, выемки, насыпи, тяжелые здания.

5. Физико-геологические явления. Размыв оползней, суффозия, выщелачивание. При изучении существующих оползней подробно описываются их формы, фазы развития, степень закрепленности, величина смещения. Путем исследования естественных разрезов и разведок шурфованием и бурением выясняется нахождение древних нивелированных оползней.

6. Для более полного изучения условий водного питания оползневых толщ применяются метеорологические наблюдения по учету атмосферных осадков, испаряемости, условий таяния снегового покрова.

7. Организация постоянных (стационарных) наблюдений: режима грунтовых вод, колебаний химизма воды, степени водонасыщенности пород, расходов ключей, а в связи с этим также режима поверхностного стока, расходов и уровней рек, подмывающих изучаемые берега.

8. Стационарные наблюдения: движений неустойчивых масс, скорости перемещения, моментов наиболее интенсивных движений, зависимости последних от метеорологических и других факторов. Для наблюдений применяется забивка наблюдательных свай, установка реперов, повторное нивелирование важнейших профилей.

Данные исследования помимо подробного описания сводятся в виде карт, разрезов и картограмм, среди которых можно указать следующие:

1) геологические и петрографические карты;

2) карты распределения оползней, явлений суффозии и размыва;

3) геологические разрезы, включающие в себя расположение смещенных масс, положение трещин, плоскостей скольжения, водоносных горизонтов;

4) разрезы и планы поверхностных и подземных сооружений: колодцев (поглощающих и обыкновенных), прудов, сточных канав;

5) картограммы, характеризующие степень устойчивости различных участков исследуемой площади.

Исследования в карстовых областях

При исследовании неустойчивости грунта в карстовых областях, так же как и в области развития оползней, руководящая роль принадлежит гидрогеологическим работам.

Главнейшие элементы исследования здесь следующие:

1. Изучение рельефа с подробной топографической съемкой и регистрацией, описанием и картированием всех элементов рельефа, относящихся к карстовым образованиям и процессам выщелачивания (провальные воронки, блюдца), а также других физико-геологических явлений (размыв, оползни).

2. Выяснение на основе общего геологического исследования нахождения и условий залегания пород, подверженных выщелачиванию (гипсы, известняки, доломиты, соленосные породы), их состава этих пород.

3. Точное установление стратиграфического положения и границ распространения главнейших массивов, в которых заложены карстовые образования. Состав, строение и водопроницаемость покрывающих и подстилающих пород.

Выяснение главных линий распределения воронок.

4. Карстовые воды, условия их циркуляции, питания и режим. Соотношение с водами поверхностными. Количественное и качественное изучение вод карстовых источников.

5. Поверхностные воды. Распределение их и режим в связи с наличием карста. Явления поглощения в провальных воронках.

6. Стационарные наблюдения по гидрометеорологии, а также по режиму карстовых вод (расход карстовых источников), над действием поглощающих воронок; гидрометрические наблюдения.

7. Наблюдения над развитием современных карстовых явлений. Рост провальных образований, появление новых. Собираание относящихся сюда сведений.

8. Нивелировочные работы: гипсометрические съемки, нивелировки профилей, определения высот важнейших пунктов.

На основании результатов всех перечисленных работ и наблюдений составляется заключительное суждение о фазе развития карста, степени выщелоченности массива, современной динамике карста и также суждение о состоянии устойчивости различных его участков.

В результате работ вместе с описательным материалом дают следующие картографический и плановый материалы:

- 1) карты: геологические и гидрографические, поверхностных вод и выходов подземных вод, провальных образований, размыва;
- 2) разрезы, характеризующие геологическое строение и условия залеганий пород, подверженных выщелачиванию;
- 3) картограммы по оценке степени устойчивости различных участков района.

Примечание. Масштаб карт определяется степенью детальности работ и характером задания.

Размыв

Явления размыва, как фактора неустойчивости грунта, обычно изучаются в связи с другими явлениями, создающими неустойчивость, в особенности в связи с оползнями, которые почти всегда развиваются одновременно с размывом; но могут быть и специальные исследования по размыву, возникающие в тех случаях, когда создается опасность для существования или правильного действия каких-либо сооружений, или когда предпринимаются изыскания для проектирования каких-нибудь строительных работ в местности с более или менее сильным развитием явлений размывания.

Главнейшие явления размыва, с которыми в практике приходится иметь дело, — это образование оврагов, подмыв берегов и связанные с ними обвалы. Явления эти усложняются, как было уже замечено, нередко деятельностью подземных вод: оползанием и суффозией.

Исследование в области размыва предусматривает изучение следующих вопросов:

1. Рельеф, гидрография и геологическое строение местности. Особенное внимание при этом уделяется поверхностным образованиям и составу размываемых пород, их прочности, водным свойствам.

2. Точный количественный и качественный учет всех явлений размыва и других экзогенных явлений.

3. Выяснение причин развития размыва, естественных и искусственных устройств и снос плотины, изменение базиса эрозии, искусственные мероприятия, оказывающие влияние на прочность поверхностного покрова и на распределение текучих вод (распашка склонов, устройство насыпей).

4. Когда объектом исследования является размывание в небольших вымоинах (главным образом овраги), специальное внимание уделяется поверхностному стоку и выяснению размеров наибольших паводков и характера таяния снегов.

5. В случае, если изучается размывание берегов больших рек, является необходимым ознакомление с режимом реки, колебанием ее уровня и расхода, с жизнью и строением речных долин, с блужданием речных русел.

6. В некоторых, быть может сложных, случаях изучение размыва может вызвать организацию стационарных наблюдений по гидрометеорологии, гидрометрии и над развитием самого процесса размывания.

Характер отчетности тот же, что и в предыдущих случаях.

Контрольные вопросы

Что такое климат?

Каковы признаки климатов морского и континентального?

Какие климаты называются аридными и гумидными?

Отчего зависит количество парообразной влаги в воздухе?

Какими мерами измеряется количество парообразной влаги в воздухе?

На какой высоте от поверхности земли влаги в воздухе больше нет?

Что такое конденсация?

Что такое круговорот воды в природе и каковы основные этапы этого круговорота?

Что такое метеорологические осадки?

Какими мерами измеряются эти осадки?

Как изменяется количество осадков в зависимости от расстояния данного места от моря и от его абсолютной высоты?

Какой величины достигает максимальное количество осадков в пределах СССР и каков минимум осадков?

Как меняются температуры в течение суток и сезона?

Как распределяются осадки в течение года?

Какое значение имеет форма осадков для просачивания?

Какие физико-географические условия местности благоприятствуют стоку и препятствуют стоку?

В каких случаях паводки на реках бывают высокими и кратковременными и в каких случаях они растягиваются на долгий срок?

Какое значение имеет растительность в отношении изоляции осадков от почвы?

Где выпадает больше осадков — над лесом или над степью?

Почему в природе почти нет совершенно неминерализованных вод?

Почему минерализована вода дождя и снега?

Объясните различие терминов минерализованный, минеральный, пресный, жесткий, мягкий?

Укажите пределы растворимости солей в воде, пределы растворимости газов в воде.

Как изменяется растворимость газов и солей при повышении температуры воды?

Какими мерами измеряется жесткость воды?

Какие системы градусов жесткости существуют?

Как велик градус немецкой и французской жесткости?

Какую роль играет жесткость вод при использовании их для питья, для технических целей?

Как определяется при полевом испытании содержание в воде хлора, серной кислоты, угольной кислоты, углекислоты, сероводорода, азотистой кислоты, азотной кислоты, аммиака, железа и жесткости?

Как выражаются результаты химического анализа воды?

В чем сущность полевого испытания воды при помощи капельницы, при помощи таблеток?

Что такое радиоактивные воды?

Какими мерами измеряется радиоактивность воды?
Пересчитайте анализ на стр. 89 на процентный эквивалент и определите их класс по Пальмеру.

Что такое вода, тигроскопическая, капиллярная, ламинарная или пленочная, гравитационная, кристаллизационная и конституционная?

От чего зависит высота капиллярного поднятия воды в породе?

Что такое водопроницаемость, водоупорность, влагоемкость общая или полая, влагоемкость абсолютная, влажность, пористость или скважность?

Как определяется пористость твердых пород, песков, глин?

С какой целью и как производится механический анализ гравия, ситовой и водный?

От чего зависит пористость породы: от величины зерен или от расположения зерен?

Как и для чего находится средний диаметр песка, действующий диаметр песка (или действующая величина песка)?

Что такое коэффициент однородности?

Что такое вязкость воды?

Как выражается формула Дарси?

Как изменена формула Дарси поправками Аллан Газена и Сликтера?

В каких случаях не следует применять формулы Дарси при расчете движения вод в зернистых породах?

Как изображают формулу Дарси Замаини, Людеке?

Какие соображения при расчете движения грунтовых вод высказывают Крюгер, Смеркер?

Подсчитайте скорость движения воды при температуре 8°C и пористости, равной 38%, в грунтах, механические анализы которых приведены на стр. 77, по формулам Дарси, Газена, Сликтера (Замаина), Людеке.

В чем сущность инфильтрационной теории происхождения подземных вод, конденсационной теории, ювенильной теории?

Какие возражения встречают инфильтрационная и конденсационная теории подземных вод?

Какие поправки в теорию Фолькера вносят Метцгер и Лебедев?

Какие характерные особенности ювенильных вод?

Может ли происходить питание грунтовых вод инфильтрацией через почвенную мерзлоту?

Что такое мертвый горизонт?

Изложите классификационные схемы подземных вод Вернадского, Личкова, Жирмунского и Козырева, Ильина.

Какая классификация подземных вод проводится в настоящем курсе?

Что такое зеркало грунтовых вод, ложе и кровля водоносного слоя, мощность водоносного слоя и мощность водоносного горизонта?

Какие воды называются почвенными?

Каковы температурные условия почвенных вод?

В чем выражается влияние сезонных колебаний климата на почвенные воды?

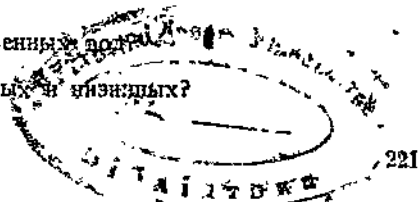
Какая химизм почвенных вод?

Каковы бактериальные условия почвенных вод?

Что такое заболачивание?

В чем различие пород водораздельных и водонасыщенных?

Что такое вечная мерзлота?



Каковы границы ее распространения в СССР?

Что такое талики?

Какие причины ведут к накоплению вечного льда в пещерах?

Могут ли существовать ледяные пещеры в таких областях, где средняя годовая температура выше нуля; могут ли в этих условиях существовать явления вечной мерзлоты?

Каковы бактериальные условия грунтовой воды?

Как установить, имеем мы дело с бассейном или потоком грунтовой воды?

Как определяется направление движения подземного потока?

Как определяется скорость подземного потока?

Как отражается колебание температур воздуха на колебания температуры грунтовых вод?

Каковы бактериальные условия грунтовой воды?

Каковы условия химизма подземных вод?

От чего зависит колебание уровня грунтовых вод?

Что подразумевается под термином режим грунтовых вод?

Дайте характеристику грунтовых вод в каждой из зон Ийина.

Дайте химическую характеристикуazonальных вод.

Чем объясняется залегание пресных вод ниже уровня моря на дюнных островах?

Каковы условия развития грунтовых вод в направлении от водораздела междуречных пространств в речные долины?

В каких отношениях грунтовые нисходящие воды отличаются от нисходящих же межпластовых вод?

Чем обуславливается восходимость межпластовых вод?

Что такое артезианские воды?

Каково различие между воронкой депрессии грунтовых вод и воронкой депрессии артезианских вод?

Каких размеров могут достигать радиусы депрессионных воронок у грунтовых и у артезианских вод?

Какова зависимость радиуса депрессионной воронки от понижения воды в колодце?

Какова зависимость расхода воды из грунтовых и артезианских колодцев от понижения уровня воды в этих колодцах?

Можно ли, располагая графиками расхода воды из колодца, в связи с понижением уровня воды в колодце, сделать заключение о том, какой из данных колодцев более благонадежен?

Какова зависимость между расходом воды и радиусом колодца?

Дайте характеристику межпластовых вод в области развития палеозойских пород на севере Европейской части СССР.

Почему воды из пермских толщ солены?

Почему на севере воды из мезозоя не обладают напором?

Дайте характеристику условий залегания межпластовых вод на пространстве между девонской осью и южнорусской кристаллической полосой.

Почему условия развития межпластовых вод в этой полосе, в области Поволжья и в Приднепровье различны?

Дайте характеристику межпластовых вод Причерноморья.

При организации системы колодцев, на каких соображениях устанавливается расстояние колодцев друг от друга и как по отношению к потоку подземных вод ориентируются колодцы?

Что такое поглощательные колодцы?

Как от формулы расхода колодца, дающего воду, перейти к формуле расхода колодца, поглощающего воду?

Какие воды называются жильными?

Какая формула является в основе расчета движения и расхода жильной воды?

Какие воды называются карстовыми?

Можно ли воды каменноугольного Подмосковного бассейна отнести к водам жильным?

Можно ли к жильным водам отнести сенонские воды южнорусской мурды?

Что такое оползни и от чего они происходят?

В чем различие между оползнями делясными и детрузивными?

Какие оползни называются смешанными?

К чему сводятся мероприятия по борьбе с оползнями?

• Что такое оплывины?

• Что такое пльвуны?

• Отчего пльвуны образуют пробку в буровых скважинах?

Какие внешние признаки указывают на близость к поверхности земли грунтовой воды?

Что такое гидрогеологическая съемка и из каких элементов она состоит?

Какая разница между обзорной и детальной гидрогеологической съемкой?

Какие гидрогеологические исследования носят название специальных?

Какие задания возлагаются на обзорную гидрогеологическую съемку?

Какие задания возлагаются на детальную гидрогеологическую съемку?

Какие задания возлагаются на специальную гидрогеологическую съемку?

В какой мере разведка сопутствует этим трем видам съемок?

Какие исследования носят название стационарных?

Чем стационарные исследования отличаются от исследований съемочных?

Из каких разделов состоит подготовка к полевой гидрогеологической работе?

Из каких разделов состоит окончательный отчет о гидрогеологической работе?

Почему к отчетам прилагаются графики и карты и какие именно?

Краткий перечень дополнительных пособий, рекомендуемых для пополнения данных отдельных глав курса

Общие пособия

- Принц. Гидрогеология. Сельскохозяйств., 1932.
Кене. Учение о подземных водах. Госстройиздат, 1932.
Геффер. Подземные воды, Семикатов. Артезианские и глубокие
воды Европейской части СССР, ГИЗ, 1925.
Червинский. Учебник гидрогеологии. ГИЗ, Ростов-Дон, 1922.

К главе I

- Лоске. Сельскохозяйственная метеорология. Госиздат, 1919.
Оболенский. Краткий курс метеорологии, ГНТИ, 1932.
Сумгин. Краткий курс дорожной геофизики. Госстройиздат, 1931.

К главе II

- Малыаров. Химический состав буровых вод Грозненского района. ИТУ
УСНХ, 1929.
Славянов. Эквивалентная форма выражения анализов воды. Мат. общ.
и пр. геол., вып. 97, 1929.

К главе IV и VIII

- Лебедев. Почвенные и грунтовые воды.

К главе V и VI.

- Домрачева. Физико-механический и химический анализ почвы. ГИЗ,
1930.
Филатов. Почвы и грунты в дорожном деле. Гострансиздат, 1932.

К главе VII и XIV

- Замарин. Расчет движения грунтовых вод. ИВХ, Ташкент, 1928.
Замарин. Движение грунтовых вод под сооружениями. НИИХ, Таш-
кент, 1931.
Краснопольский. Грунтовые и артезианские колодцы. «Горный
журнал», 1912.

К главе XVIII

- Замарин, Архангельский и Решеткин. Полевые исследования
водоподачи грунтов. (Сагипровод, Москва—Ташкент, 1932).
Опробование месторождений полезных ископаемых (ГГРУ, 1931). Раздел
гидрогеологии и инженерная геология содержит 14 статей методического и
инструктивного характера.
Материалы к методологии поисков и разведок полезных ископаемых,
Геолразведиздат, 1932.