

**КОЖНАЗАРОВ А.Д.  
РАЧКОВ И.С.**

# **ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

Алматы, 2015

**УДК 556**  
**ББК 34.7**  
**К 56**

*Печатается по плану Министерства образования  
и науки Республики Казахстан*

*Рецензенты:*

**Абсаметов М.К.** –

профессор, доктор геолого-минералогических наук,  
академик КазНАЕН,

**Жапарханов С.Ж.** –

профессор, доктор геолого-минералогических наук

**Кожназаров А.Д., Рачков И.С.**

**К 56** Гидрогеология. Учебник. – Алматы: «Ценные бумаги»,  
2015 – с. 312, табл. 28 и рис. 93.

В учебнике приведены основные сведения о круговороте воды в природе, параметры поверхностных и подземных стоков, водные свойства пород, химический состав вод, грунтовые артезианские, трещинные карстовые воды.

Детально рассматриваются динамика движения подземных вод, методика гидрогеологических исследований для различных целей. Все вопросы рассматриваются и решаются задачами на основе конкретных примеров.

Цель предлагаемого учебника – прививать студентам практические навыки по проектированию отдельных видов работ. Для студентов и специалистов геологических специальностей.

**УДК 556**  
**ББК 34.7**

© Кожназаров А.Д., Рачков И.С.

## Введение

С каждым годом возрастает роль и значение гидрогеологической науки в решении различных народнохозяйственных задач, расширяются горизонты ее теоретических достижений и практического применения. На современном этапе развития общества гидрогеология из науки, изучающей природные процессы, становится наукой, управляющей этими процессами в интересах наиболее эффективного решения важнейших народнохозяйственных задач, и, в частности, задач наиболее рационального и комплексного использования водных, земельных, минерально-сырьевых и других природных ресурсов.

Успешное и эффективное решение специалистами-гидрогеологами поставленных перед гидрогеологической наукой народнохозяйственных задач невозможно без овладения научными основами и принципами обоснования рационального комплекса исследований и методики их проведения.

Выполнение важнейших народнохозяйственных задач специалистами-гидрогеологами невозможно без знания основных методов и приемов изучения гидрогеологических условий, без овладения методикой проведения гидрогеологических исследований.

Расширение знаний о подземной гидросфере, необходимость решения сложных и многообразных проблем освоения геологической среды привели к выделению следующих основных научных направлений в гидрогеологии:

1. Общая гидрогеология рассматривает происхождение, размещение, движение подземных вод и процессы их взаимодействия с горными породами, изучает особенности физических свойств подземных вод, находящихся во взаимодействии с поверхностными водами Земли. Становление и развитие этого направления гидрогеологии связано с трудами В.И.Вернадского, Ф.П.Саваренского, А.Ф.Лебедева, О.К.Ланге, Н.И.Толстихина, Г.Н.Каменского, А.М.Овчинникова, Г.В.Богомолова.

2. Гидрогеохимия занимается изучением формирования химического состава подземных вод различного происхождения. Как научное направление она возникла на стыке геохимии и гидрогеологии: основная роль в формировании ее научных основ принадлежит В.И.Вернадскому, А.Е.Ферсману, А.И.Семихатову, Г.Н.Каменскому, В.А.Приклонскому, А.М.Овчинникову. Развитие гидрогеохимии в нашей стране способствовало разработке

гидрогеохимического метода поиска полезных ископаемых, основанного на регистрации в подземных и поверхностных водах следов химических элементов.

3. Динамика подземных вод исследует движения подземных вод в горных породах с целью количественной оценки этого процесса и управления им в нужном направлении. Основы данного раздела гидрогеологии заложены А.Дарси, Ж.Дюпюи, Н.Е.Жуковским, Н.Н.Павловским, Ф.Форхгеймером. Велик вклад в развитие динамики подземных вод Ф.М.Бочерева, Н.К.Гириного, В.М.Шестакова, В.А.Мироненка, Я.Бэра, Де Уиста, Ж.Фрида и других современных исследователей.

4. Криогидрогеология изучает происхождение, условия залегания, распространения многолетнемерзлых пород. Значительная распространенность толщ многолетнемерзлых пород в пределах нашей страны потребовала постановки специальных исследований и разработки теоретических основ криогидро-геологии, отраженных в трудах М.В.Львова, Н.И.Толстихина, М.И.Сумгина, П.Ф.Швецова, В.А.Кудрявцева.

5. Региональная гидрогеология исследует закономерности условий залегания, распространения и формирования подземных вод отдельных регионов, разрабатывает принципы гидрогеологического картирования и районирования геологических сред с учетом их многообразия. Становление этого направления связано с трудами С.Н.Никитина, Н.Ф.Погрехова, Ф.П.Саваренского, А.Н.Семихатова, И.К.Игнатовича, Н.И.Толстихина, В.А.Кирюхина.

6. Горнопромышленная гидрогеология изучает подземные воды в связи с освоением месторождений твердых полезных ископаемых для обоснования инженерных мероприятий по предупреждению вредного влияния подземных вод на функционирование объектов горного производства. Не менее важна разработка мероприятий по охране подземных вод от истощения и загрязнения.

К основным задачам гидрогеологического обеспечения горных работ относятся:

установление общих закономерностей техногенного режима подземных вод при строительстве и эксплуатации горно-добывающих предприятий:

изучение фильтрационных процессов, определение фильтрационных параметров и оценка условий питания водоносных

горизонтов, дренируемых в ходе горных работ или подлежащих охране:

прогноз водопритоков в горные выработки, обоснование направления дренажных мероприятий и определение параметров дренажных систем, контроль эффективности дренажных мероприятий:

изучение и прогноз механических процессов, развивающихся в обводненных массивах горных пород при ведении горных работ.

Проведение специальных гидрогеологических исследований по прогнозу и контролю загрязнения и истощения подземных вод и обоснование мероприятий по охране водных ресурсов геологической среды.

Перечисленные задачи решаются с использованием натуральных наблюдений и экспериментов, аналитических расчетных методов, методов геологической и гидрогеологической аналогии, математического и физического моделирования фильтрационных процессов.

Научно-методические основы горнопромышленной гидрогеологии разработаны Д.И.Щеголевым, С.В.Троянским, С.П.Прохоровым, М.В.Сыроватко, М.С.Газизовым, В.А.Мироненко, Ю.А.Норватовым.

Основная цель настоящего учебника – дать систематическое изложение основ гидрогеологических исследований с учетом высказанных выше положений. По своему содержанию он разделен на три части: в первой, включающей пять глав, рассмотрены общие принципы изучения месторождений подземных вод и охарактеризованы основные виды современных гидрогеологических исследований; во второй – динамика подземных вод и в третьей части освещены особенности и методика проведения гидрогеологических исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач.

Авторы учебника поставили своей целью дать систематическое изложение научных основ методики гидрогеологических исследований и основных принципов обоснования и проведения рационального комплекса исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач (водоснабжения, орошения, гидротехнического, промышленного и гражданского строительства, поисков, разведки и разработки месторождений минеральных, промышленных и термальных подземных вод, нефти и газа, твердых полезных ископаемых и т.д.) с

учетом современных достижений гидрогеологии и требований практики в области подготовки специалистов-гидрогеологов.

Учебник составлен в соответствии с действующей программой по курсу для студентов специальности «Гидрогеология и инженерная геология».

При составлении учебника широко использованы действующие методические разработки по вопросам проведения гидрогеологических исследований, а также опубликованные работы Г.Н.Каменского, А.И.Силина-Бекчурина, Г.В.Богомолова, П.В.Гордеева, В.А.Шемелиной, В.К.Шуляковой, Е.С.Карпышева, Н.М. Овчинникова, В.А.Завалея.

# ЧАСТЬ 1. ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ

## Глава 1. Круговорот воды в природе

(материалы Г.В.Богомолова)

Подземные воды нельзя изучать изолированно от вод в атмосфере и на поверхности земли. Вода из атмосферы поступает на поверхность земли в виде осадков: дождя, снега и, в меньшей мере, росы и туманов. При этом одна часть осадков стекает по поверхности земли в реки, несущие свои воды в океаны и моря, а другая просачивается через почву и насыщает нижележащие слои горных пород, пополняя запасы подземных вод.

Подземные воды также находятся в непрерывном движении, участвуя в питании рек, озер и болот; во многих местах они выходят на дневную поверхность в виде источников.

Общее количество воды в океанах, морях, реках и озерах достигает 1,4 млрд.км<sup>3</sup>. Площадь водной поверхности составляет 70,8% всей поверхности земного шара. Если всю воду, содержащуюся в океанах, морях, озерах и реках, равномерно распределить по поверхности земного шара, она образует слой толщиной 3795 м.

Под влиянием солнечного тепла происходит испарение воды с поверхности океанов, морей, озер и рек, а также с суши и непосредственно с поверхности подземных вод, находящихся на той или иной глубине. Испарившаяся влага, охлаждаясь в верхних слоях атмосферы, конденсируется и снова выпадает в виде дождя и снега.

Таким образом, круговорот воды в природе можно представить в виде следующей зависимости:

$$O = C + V_{ис} + V_{ин} \quad (1)$$

Где:  $O$  - атмосферные осадки;

$C$  - сток

$V_{ис}$  - испарение;

$V_{ин}$  - часть осадков, просачивающаяся в грунт (инfiltrация).

Эта зависимость в общем виде характеризует водный баланс отдельных участков земной поверхности. Входящие в нее величины и соотношения между ними не постоянны и зависят от климата, рельефа, характера растительности и геологических условий.

Количество воды, стекающее по дневной поверхности в открытые водоемы и водотоки, зависит от рельефа местности, растительности, состава горных пород и климатических условий. В районах с сильно расчлененным рельефом сток будет больше, чем в районах со спокойным рельефом сток будет больше, чем в районах со спокойным рельефом. Лесная, кустарниковая и травянистая растительность задерживают сток и увеличивают испарение. В районах с сухим и жарким климатом большая часть осадков также испаряется.

В районах, сложенных водонепроницаемыми породами (глины и т.д.), величина поверхностного стока больше, чем в районах развития водопроницаемых пород (пески, известняки закарстованные и т.п.)

О величине стока в бассейне той или иной реки судят по расходам воды в заранее выбранных сечениях реки, где производят замеры горизонтов воды и скоростей течения. Зная водное сечение реки в том или ином пункте, а также скорость течения, определяют расходы воды  $Q$  в реке по формуле

$$Q = F \cdot v \text{ м}^3, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь водного сечения реки в  $\text{м}^2$ ;

$v$  – скорость течения воды в м/сек.

Объем ежегодного стока со всей поверхности земли достигает 37 тыс.  $\text{км}^3$ , в том числе в пределах СССР – около 16 млрд. т различного материала как в виде растворов, так и механических примесей. Река Амазонка приносит ежегодно в океан около 6109 т взвешанных частиц. Твердый сток Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи составляет 91%, реки Хуанхе – 66%. Годовой расход ее твердого стока равен 920 млн.  $\text{м}^3$ .

Воды поверхностного стока оказывают размывающее действие на почвы и грунты. Этот процесс носит название водной эрозии. В некоторых странах (Пакистан, Иран, Испания, южные районы Франции и др.) она приносит огромные убытки, уничтожая во многих случаях верхний культурный слой почвы. В северных и северо-западных районах Западного Пакистана водной эрозией охвачена площадь порядка 600 тыс.  $\text{км}^2$ . В бассейнах отдельных рек (Индус Куррун) в результате водной эрозии сносится от 1000 до 4000 т грунта с 1  $\text{км}^2$  ежегодно.

При характеристике стока следует различать коэффициент стока и модуль стока.

*Коэффициентом стока  $\alpha$*  называется отношение годового количества осадков  $\gamma$ , идущих на сток, к общему количеству осадков  $X$ , выпавших за год,

$$\alpha = \frac{y}{x}$$

Общий модуль стока включает модули поверхностного и подземного стока. В зимнее время, а также при длительном отсутствии осадков река получает питание в основном за счет подземных вод, которые выносят большое количество растворенных солей (химическая суффозия). При больших скоростях движения подземная вода выносит из массива горных пород мельчайшие частички (механическая суффозия), которые увеличивают общий твердый сток в открытые водоемы. Во время весенних паводков и сильных ливней модуль подземного стока составляет лишь небольшую часть общего модуля стока.

Модуль стока можно вычислить по количеству осадков, идущих на сток. Если, например, величину стока для реки Оки выше города Орла принять равной 114 мм, то среднегодовой модуль стока будет равен

$$\beta = \frac{114 \cdot 1000}{1000 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 3,6 \text{ л/с, км}^2 \quad (3)$$

где  $1000^2$  – площадь водосбора в  $\text{км}^2$ ;

$\frac{114}{1000}$  – высота стока, выраженная в метрах.

При оценке величины стока и разделения его на поверхностный и подземный необходимо знать размеры бассейнов поверхностного и подземного стоков. Площадь бассейна поверхностного стока реки можно определить по топографической карте, составленной в горизонталях, размеры площадей подземного стока зависят от геологического строения района, и могут быть иногда определены только по материалам геологических исследований.

Можно выделить следующие случаи соотношения рельефа поверхности с характером залегания водоносных пород:

1. Бассейны поверхностного А-Б и подземного а-б стока совпадают (рис.1), при этом река имеет поверхностный и подземный сток с двух сторон.

2. Бассейн поверхностного стока А-Б не совпадает с бассейном подземного стока а-б (рис.2). Бассейн подземного стока правого склона больше поверхностного. Иногда подземный сток может быть направлен в бассейн другой реки (рис. 3 и 4).

Размеры бассейнов многих крупных рек исчисляются сотнями тысяч и миллионами квадратных километров. Например, площадь бассейна Оби составляет около 2,8 млн.км<sup>2</sup>, Енисея – 2,7 млн.км<sup>2</sup>.

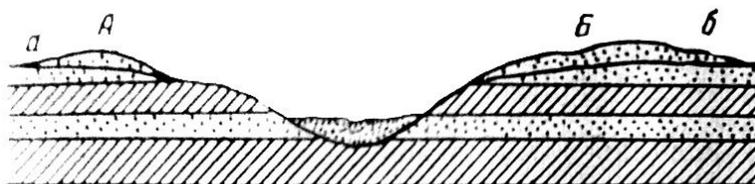


Рис. 1. Совпадающие бассейны поверхностного и подземного стока.



Рис. 2. Несовпадающие бассейны подземного и поверхностного стока.

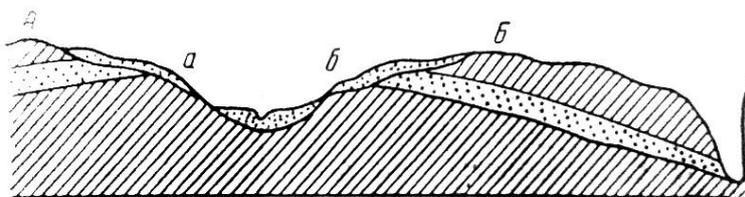


Рис. 3. Сток поверхностного (АБ) и сток подземного (аб) бассейнов направлен в разные стороны



Рис. 4. Сток поверхностного бассейна (АБ) направлен к реке, сток подземного бассейна (а) – от реки.

Лены – 2,4 млн.км<sup>2</sup>, Волги – 1,5 млн.км<sup>2</sup>, Днепра – 0,5 млн.км<sup>2</sup>, Амазонки – 7,0 млн.км<sup>2</sup>, Конго – 3,7 млн.км<sup>2</sup>, Миссисипи – 3,25 млн.км<sup>2</sup>, Ганга – 1,8 млн.км<sup>2</sup>, Дуная – 0,82 млн.км<sup>2</sup>, Рейна – 0,22 млн.км<sup>2</sup>, Амура – 2,05 млн.км<sup>2</sup>, Евфрата – 0,14 млн.км<sup>2</sup>, Вислы – 0,19 млн.км<sup>2</sup>, Эльбы – 0,15 млн.км<sup>2</sup> и т.д.

Вполне понятно, что точно определить взаимоотношения между бассейнами поверхностного и подземного стока и их размерами на таких площадях чрезвычайно трудно. Только в немногих районах, хорошо изученных в геологическом отношении, удается это сделать.

В большинстве случаев определение подземного стока в реки производится гидрологическими методами. В частности для этих целей используют гидрограф реки.

Гидрографом называется кривая изменения расхода реки во времени

$$Q = f(t) \quad (4)$$

где  $Q$  – расход воды в м<sup>3</sup>/сек,  
 $t$  – время.

Грунтовое питание на гидрографе реки в средней полосе выделяется в виде плавной кривой, почти прямой, проведенной по ординате последнего зимнего расхода перед весенним паводком, и далее по ординатам летней межени, конца осеннего паводка и зимних расходов. Таким образом, принимается, что во все указанные периоды весенней, летне-осенней и зимней межени реки питаются в основном за счет грунтового (подземного) стока. Над этой кривой выделяются повышенные части гидрографа, характеризующие снеговое, дождевое и ледниковое питание.

На рисунке 5 приведены гидрографы рек Шилки и Терека. Площадь каждого заштрихованного участка равна общему объему воды, получаемому рекой за счет соответствующего источника.

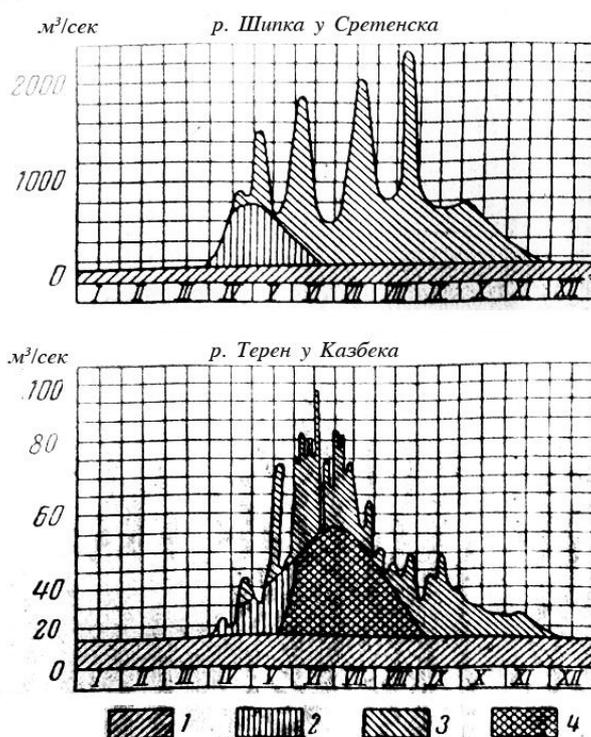


Рис. 5. Гидрографы рек (по М.А.Великанову): 1 – грунтовое питание; 2 – снеговое питание; 3 – дождевое питание; 4 – ледниковое и высокогорное питание.

Иногда производят более подробное расчленение гидрографа с выделением в составе подземного питания отдельно глубокого питания – за счет стока из глубоких водоносных горизонтов – верхнего питания – за счет первого от поверхности горизонта грунтовых вод. Такое расчленение было сделано для бассейна Волги Б.В.Поляковым.

Таблица 1

Река	Питание в %		
	грунтовое	снеговое	дождевое
Северная Двина	29	49	22
Бухтарма	26	51	23
Алдан	21	79	79
Вилюй	8	92	92
Яна	9	91	91
Колыма	11	89	89
Днепр	30	52	18
Сож	42	51	7

В таблице 1 показано соотношение между различными источниками питания по некоторым рекам СССР, установленное М.И.Львовичем на основе изучения их гидрографов. Из таблицы следует, что подземное питание во многих случаях играет существенную роль в общем стоке реки.

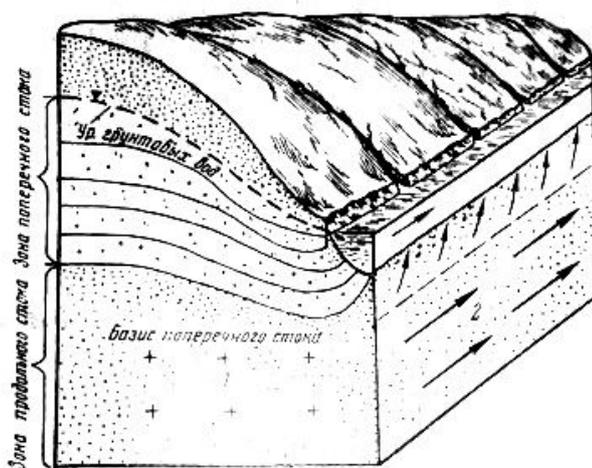


Рис.6. Схема зон поперечного и продольного стока грунтовых вод в долине реки: 1-направления движения продольного стока вниз по уклону долины, 2-направления движения в сечении, перпендикулярном долине.

Учитывая, что периоды межени реки питаются в основном подземными водами, можно приближенно определить величину подземного стока непосредственно из данных гидрометрических наблюдений. Для этого выбирают на реке два пункта и производят в них замеры расходов воды. Разность расходов воды в выбранных сечениях, деленная на расстояние между сечениями, определяют размер питания реки на изучаемом участке

$$q = \frac{Q_1 - Q_2}{l} \quad (5)$$

где  $q$  – приток воды к реке с 1 м длины берега в л/сек

$Q_1$  – расход в нижнем сечении в л/сек

$Q_2$  – расход в верхнем сечении в л/сек

$l$  – расстояние между сечениями в м.

Если на участке  $l$  река имеет притоки, то расход последних следует вычесть из разности  $Q_1 - Q_2$ .

Разность расходов реки, замеренных в периоды межени в указанных сечениях, деленная на площадь прилегающей части подземного бассейна (определяется на основе геологической съемки и разведочных работ), дает *модуль подземного стока*.

Если реки вскрывают водоносный пласт на небольшую глубину, то модуль подземного стока, определенный по расходу реки, будет являться заниженным, так как часть подземного потока движется ниже уреза и в нее не поступает (рис.6).

## Глава 2. Испарение

Водяные пары в воздухе образуются в результате испарения влаги с водной поверхности, с поверхности почвы, снега или льда, с растительного покрова. Испарение происходит в течение всего года.

Кроме испарения с дневной поверхности, происходит также испарение внутри почвы и под почвенным покровом. По данным В.А.Ковды, это испарение происходит крайне медленно, наблюдается оно до глубины в 30-40 м.

Большой удельный вес в общем количестве испаряющейся влаги составляет так называемая транспирация, т.е. процесс поглощения и переноса влаги корневой системой и тканями растений из почвы к дневной поверхности. Здесь влага испаряется вместе с осадками, выпадающими непосредственно на растения. Транспирация и испарение

с растительного покрова обычно превосходят величину испарения с обнаженной почвы.

Опыты показали, что отдельный экземпляр кукурузы за вегетационный период пропускает через себя в Северной Америке 100-180 кг воды, в Тбилиси – 75 кг и Ленинградской области – 20 кг. Клеверное поле, дающее урожай 4500 кг/га, требует транспирационной воды  $1395 \text{ м}^3$ , или 139,5 мм осадков, а буковый лес –  $2138 \text{ м}^3$ , или 213,8 мм осадков.

При испарении происходит потеря тепла и температура воздуха понижается. Для перехода 1 г воды в пар расходуется

$$687 - 0,708 t \text{ кал,}$$

где  $t$  – температура испаряющей поверхности. Следовательно, на испарение 1 г льда, имеющего температуру  $0^0$ , затрачивается 687 кал.

В некоторых районах Северной Африки (Сахара) большое влияние на испарение оказывает сухой ветер (Сирокко), дующий с пустыни к Средиземному морю. Он приносит гибель растениям, животным и людям, не выдерживающим интенсивного испарения.

Следует различать испарение и испаряемость. Испарением называется фактическая величина испарения с поверхности земли. Под испаряемостью же понимают способность водной поверхности испарять то или иное количество воды в единицу времени.

Количество испаряющихся воды ( $q$ ) в единицу времени с какой-нибудь поверхности можно определить из следующей зависимости

$$q = KS \frac{E - e}{H} \quad (6)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности;

$S$  – площадь испаряющей поверхности;

$E$  – упругость паров, насыщающих воздух при температуре испаряющей поверхности, в мм вод.ст.;

$e$  – упругость паров, фактически находящихся в воздухе, в мм вод.ст.;

$H$  – давление воздуха в мм вод.ст.

Величина испаряемости всегда больше величины испарения.

Испарение возрастает при повышении температуры и увеличении недостатка насыщения воздуха водными парами. В пустынных районах пары воды воздуха, обычно являющиеся защитным экраном земли днем от перегрева солнечными лучами, а ночью – от чрезмерного охлаждения, почти отсутствуют, благодаря чему создаются благоприятные условия для испарения.

В таблице 2 приведены величины испарения и испаряемости для различных ландшафтных условий.

Испаряемость и испарение в различных ландшафтных зонах (по А.А.Борисову)

Таблица 2

Ландшафтные зоны	Испаряемость в мм/год	Испарение в мм/год
Тундра	200-300	70-120
Тайга	300-600	200-300
Смешанный лес	400-850	250-430
Степь	600-1100	240-550
Полупустыня	900-1000	180-200
Пустыня	1500-2000	50-100
Субтропики	800-1300	300-750

Испаряемость в Узбекской Республике изменяется от 1350 мм в год (Фергана) до 2539 мм (Ширабад), в Центральном Казахстане испаряемость достигает 1300 мм, в Мургабском оазисе (Туркменская ССР) – 2230 мм в год, а в районе Бомбея (Индия) – 3750 мм.

Самая высокая испаряемость – 4019 мм в год – наблюдалась в Африке (к северо-западу от Хартума) и Саудовской Аравии – 3100 мм.

Со всей поверхности земного шара в результате испарения ежегодно уходит в атмосферу 511 тыс.км<sup>3</sup> воды, из которых с поверхности океанов и морей испаряется 449 тыс.км<sup>3</sup>, с суши – 62 тыс.км<sup>3</sup>. Для борьбы с потерей воды с водной поверхности в разных странах применяются различные способы.

Очень часто величину испарения  $U_u$  приближенно определяют по разности между количеством осадков  $O_c$  и величиной стока  $C$ .

$$U_u = O_c - C \quad (7)$$

Следует, однако, иметь в виду, что в районах недостаточного увлажнения подобные расчеты испарения могут дать значительные ошибки. В этих случаях необходимо вводить в указанное соотношение соответствующие поправки, учитывающие географические и климатические условия, в которых находятся бассейн.

### Глава 3. Понятие о подземных водах

Вода в земной коре находится во всех трех физических состояниях: парообразном, жидком и твердом. По отношению к горным породам вода, содержащаяся в земной коре, может быть подразделена на связанную и свободную.

Связанная вода находится в тесном взаимодействии с частицами породы и удерживается в них молекулярными силами, которые по своим размерам превосходят гравитационные силы, т.е. силы тяжести. Свободная вода в отличие от связанной передвигается в порах и пустотах породы под действием силы тяжести.

Связанная вода имеет большое значение при изучении минералопетрографического состава и инженерно-геологических свойств горных пород, но она не может быть отнесена к категории собственно подземных вод, под которыми следует понимать, главным образом, свободные гравитационные капельно-жидкие воды, скапливающиеся и движущиеся в горных породах. Эти воды служат источником водоснабжения многочисленных населенных пунктов и промышленных предприятий или сырьем для промышленности (при содержании йода, брома и т.д.). Вместе с тем подземные воды во многих случаях наносят вред хозяйственной деятельности человека, вызывая подтопление зданий, заболачивание ценных территорий, затрудняя разработку месторождений полезных ископаемых и т.д., вследствие чего с ними приходится вести борьбу.

Обладая различной степенью минерализации, подземные воды являются средой для многообразных химических реакций. Растворяющая способность подземных вод обуславливает разрушение горных пород, металлов и солей, их перенос и концентрацию, с образованием месторождений различных полезных ископаемых: железа, марганца, карбонатов, гипса и т.д.

Подземные воды активно участвуют в магматогенных и пневматологических реакциях, протекающих в глубинных частях земной коры, а также в образовании гидротермальных месторождений, метаморфизме горных пород и метасооматических процессах.

Общее количество подземных вод не установлено. Данные различных авторов в этом отношении весьма разноречивы. Так, если количество подземных вод условно выразить в виде слоя, то различные исследователи оценивают его мощность в 30 м, 70 м,

250 м, 450 м, 1000 и даже 2300 м, или в единицах объема, соответственно, от 0,0015 до 1,2 млрд км<sup>3</sup>. Эти цифры расходятся между собой более чем в 800 раз. Объясняется это расхождение тем, что современное состояние наших горных пород, в пределах которой возможно присутствие подземных вод, а также определить количество пор и пустот, в которых воды скапливаются и передвигаются.

### 3.1 Теории происхождения и формирования подземных вод

Существуют различные теории происхождения подземных вод. Одной из наиболее ранних является так называемая инфильтрационная теория, объясняющая образование подземных вод просачиванием (инфильтрацией) в породы атмосферных осадков. Эта теория впервые была выдвинута в XVIII в. французским физиком Мариоттом и несколько позднее русским академиком М.В.Ломоносовым. М.В.Ломоносов дал геохимическую трактовку инфильтрационной теории, подчеркнув связь между химическим составом горных пород и циркулирующими в них подземными водами. Подземные воды он рассматривал как сложные природные растворы, состав которых изменяется в процессе взаимодействия подземных вод с горными породами.

Инфильтрационная теория долгое время господствовала и была общепринятой. Однако по мере накопления фактов о распространении и составе подземных вод в различных природных условиях выявились ее слабые стороны. Например, было установлено, что во многих пустынных и полупустынных областях, где атмосферных осадков выпадает небольшое количество, на некоторой глубине от поверхности в горных породах все же содержится влага. Расхождения наблюдаемых фактов с инфильтрационной теорией возникали и при рассмотрении химического состава подземных вод, особенно в глубоких горизонтах; химические анализы показывали, что сухой остаток в этих водах содержит элементы, существенно отличающиеся по своему составу от элементов, составляющих водосодержащие породы.

Это, естественно, не могло не вызвать возражений против инфильтрационной теории; в конце XIX и начале XX вв. были выдвинуты новые теории. В 1887 г. Немецкий гидролог О.Фольгер высказал мысль, что подземные воды образуются в основном не в результате

инфильтрации, а путем проникновения в горные породы воздуха и последующего сгущения (конденсации) заключенных в нем водяных паров. Таким образом появилась новая – конденсационная гипотеза происхождения подземных вод.

Конденсационная гипотеза О.Фольгера была подвергнута резкой критике со стороны ряда ученых. Последние указывали на ее искусственность и неправдоподобность хотя уже по одному тому, что при конденсации водяных паров в грунтах выделилось бы такое количество тепла, при котором началась бы испарение воды и накопления подземных вод не могло бы произойти. Невозможно также представить себе наличие в воздухе, проникающем в породу, такого количества паров воды, чтобы из них могла образоваться вся масса подземных вод в земной коре.

В начале XX в. русский агроном А.Ф.Лебедев опытным путем изучил механизм передвижения воды в породах, и дал классификацию видов воды (см. главу IV, стр. 54). Лебедев показал, что конденсация влаги действительно происходит, но в породу проникает не воздух, как это предполагал О.Фольгер, а только заключенные в нем пары воды (вследствие различной упругости заключенного в них водяного пара), переходящие в жидкое состояние при определенных температурных условиях. Однако количество подземных вод, образовавшихся в результате конденсации водяных паров, как правило, составляет лишь небольшую долю от общих запасов подземных вод.

В начале XX в. довольно широкое распространение получила *ювенильная теория* образования вод, предложения австрийским геологом Э.Зюссом. Согласно этой теории, подземные воды своим происхождением обязаны парам воды и газообразным продуктам, выделяющимся из расплавленной магмы в глубоких недрах земли; поступающая в более высокие зоны земной коры, они конденсируются и дают начало так называемым *ювенильным водам*.

Все воды, поступающие в земную кору из атмосферы, с которой они связаны постоянным круговоротом, в отличие от ювенильных, Э.Зюссом названы *вадозными*.

Теория ювенильных вод до настоящего времени остается весьма слабо обоснованной фактическими данными. Надо полагать, что если такие воды и могут поступать в верхние слои земли, то в весьма малых количествах. Обширный фактический материал, собранный в районах вулканической деятельности, показывает, что водяные пары на больших глубинах образуются в результате проникновения атмо-

сферных осадков в глубокие слои земли, где они нагреваются атмосферных осадков в глубокие слои земли, где они нагреваются до +100° и поднимаются вверх.

Наконец, следует отметить еще одну теорию, известную в литературе под названием теории *о реликтовом происхождении вод*. Согласно этой теории, подземные воды глубоких зон представляют собой остаточные воды древних бассейнов, захороненные в отложившихся в них породах и сохранившие свой первоначальный облик до настоящего времени. Эта теория встретила резкие возражения со стороны большинства советских ученых, как противоречащая основам марксистской диалектики, рассматривающей явления в их взаимозависимости, движении, развитии и изменении.

В настоящее время советские ученые заняты разработкой вопросов формирования различных типов подземных вод и закономерностей их распределения в земной коре.

Формирование подземных вод – сложный естественный процесс, начинающийся на стадии диагенеза осадков и продолжающийся в обстановке эпигенеза. Содержание тех или иных компонентов в породах подземных водах является отражением геологической истории развития земли.

По мнению Г.Н.Каменского, в формировании неглубоких горизонтов грунтовых вод преобладающее значение имеет инфильтрация атмосферных осадков, поглощение поверхностного стока, процессы конденсации водяных паров. В зависимости от литологии и состава водовмещающих пород и климата подземные воды неглубоких зон могут быть пресными или солеными.

В осадочных породах подземные воды могут впервые появляться в процессе отложения этих осадков за счет проникновения в них вод морских бассейнов. В дальнейшем эти воды подвергаются изменениям при диагенезе осадков (диагенезе – совокупность процессов преобразования рыхлых осадков в осадочные горные породы и последующего их изменения в условиях повышенной температуры и давления). Вместе с тем морские воды могут поступать в породы и путем инфильтрации во время трансгрессии. После отступления моря на суше происходит инфильтрация атмосферных осадков, в результате чего первоначально образовавшиеся соленые морские воды под воздействием различных факторов изменяют свой состав и опресняются. Распределение этих вод подчиняется определенной гидрохимической

зональности, складывающейся исторически в ходе развития данного района.

Подземные воды, заключенные в земной коре и передвигающиеся в породах различной водопроницаемости и литологического состава, весьма резко реагируют на изменение структурного плана, перемещаясь от положительных структурных форм к отрицательным.

В результате этого на отдельных этапах развития структур в водоносных пластах изменяются не только скорости водообмена, температурный режим, направленность поверхностного и подземного стока, но и химический состав воды. Поэтому изучение тектонических форм и их развития на отдельных этапах тектогенеза представляет одну из главнейших задач для правильного понимания формирования подземных вод. Представляется бесспорным, что в каждом цикле тектогенезе существовал свой определенный тип подземных вод, характеризовавшихся не только своей минерализацией, но и определенным соотношением различных газов, редких и рассеянных элементов и органических веществ.

Различные физико-геологические явления, имевшее место на Земле в течение длительных этапов ее геологической истории, создавали весьма различные условия питания, распределения, циркуляции и разгрузки подземных вод.

В формировании подземных вод, так же как и горных пород, большую роль играли условия осадконакопления и континентальные перерывы, которых насчитывается свыше десяти.

Переход пресных вод в соленые и обратно был вполне закономерным в течение различных геологических эпох, и та закономерность в химическом составе подземных вод по глубине (пресные, сульфатные и хлоридные, которую мы сейчас наблюдаем, является следствием изменения активности водообмена, литолого-петрографического состава пород и заключенных в них различных типов природных вод в течение длительной истории геологического развития.

Под воздействием движущихся подземных вод происходит не только растворение пород и вынос из них различных минеральных компонентов, но и полное их изменение вплоть до образования новых типов пород таких, например, как каолин и др.

Изучение вторичных пород и минералов, образующихся в земной коре под воздействием подземной воды, — одна из важных задач.

А.И.Силин-Бекчурин указывает, что образование пресных и соленых вод в засушливых районах земного шара подчинено определенной гидрохимической закономерности, заключающейся в том, что по мере движения от более увлажненных районов к менее увлажненным происходит постепенное нарастание минерализации вод неглубоких водоносных горизонтов и переход пресных гидрокарбонатных вод в сульфатные и далее в хлоридные, с минерализацией 50 г/л и более. Засоление происходит в результате выноса солей из пород во время инфильтрации атмосферных осадков, движения подземного потока и выщелачивания солей в процессе обменно-адсорбционных явлений.

В глубоких зонах земной коры в зависимости от характера геологической структуры, высоты области питания и разгрузки могут образовываться как пресные, так и соленые воды. В пустынных районах, примыкающих к горам, пресные воды могут залегать между солеными на глубинах в несколько сот метров.

По вопросам образования подземных вод существуют и другие представления. Так, В.А.Сулин и М.Е.Альтовский считают, что воды прежних морских бассейнов не сохранились в породах, а сильно минерализованные воды в глубоких слоях образовались из вод инфильтрационных за счет накопления в них растворенных солей в результате подземного испарения. И.К.Зайцев полагает, что образование глубоких минерализованных вод происходило в бассейнах типа лагун в условиях резкого континентального климата.

### **3.2 Виды воды в горных породах**

Как мы уже указывали, вода в горных породах подразделяется на связанную и свободную. Наличие в горных породах воды влияет на их свойства: сжимаемость, трение, сцепление, просадку, набухание, электросопротивление, звуко- и газопроводность, скорость прохождения сейсмических волн и т.п. Часть связанной воды входит в состав минералов горных пород и образует с ними одно целое. Эту часть связанной воды подразделяют на кристаллизационную воду, входящую в кристаллическую решетку минералов в виде молекул  $H_2O$  (например, гипс содержит 20,9% кристаллизационной воды, бокситы – 26,1%, мирабилит – 55,9 %), и конституционную воду, которая входит в кристаллическую решетку минералов в виде ионов. Конституционная вода входит в состав многих минералов, например диаспора, мусковита и др.

Кристаллизационная вода выделяется из минералов при температуре ниже  $+400^{\circ}$  а конституционная – только при температуре выше  $+400^{\circ}$ , причем водород в ней способен замещаться металлом.

Существуют горные породы, которые при определенных условиях обогащаются водой или теряют ее. Примером могут служить известняки, содержащие окись железа, которая при выветривании образует бурый железняк  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$ , заключающий в себе 25.2% воды. Ряд минеральных соединений – различные слюды, хлорит, тальк и другие – легко поглощают воду.

Процесс обезвоживания, хотя и наблюдается значительно реже, но все же имеет место как в глубоких слоях земли под действием давления и температуры, так и в поверхностных слоях, в зоне избыточного увлажнения. В первом случае водная окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$  переходит в безводный красный железняк – гематит, а в последнем – в закись железа  $\text{FeO}$ .

Связанная вода содержится в горных породах также в виде тонких пленок или так называемых гидратных оболочек, облегающих мельчайшие минеральные частицы, слагающие породы.

Классификацию этих видов связанной воды, а также свободной воды, содержащейся в рыхлых песчано-глинистых породах, впервые разработал А.Ф.Лебедев. По этой классификации в рыхлых песчано-глинистых породах выделяется парообразная, гигроскопическая, пленочная, капиллярная и гравитационная вода.

Рассмотрим основные особенности каждого из этих видов воды (рис.7).

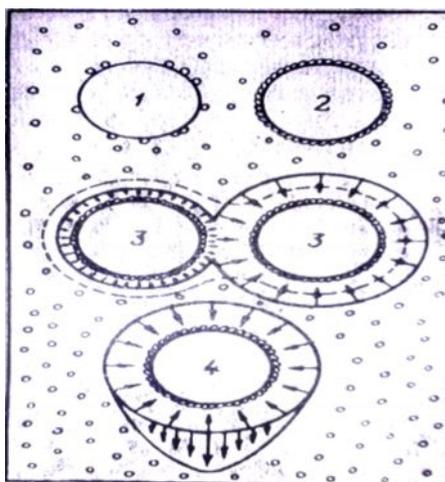


Рис.7. Схема различных видов воды в породе (по А.Ф.Лебедеву):

- 1 – гигроскопическая, 2 – максимальная гигроскопичность,
- 3 – пленочная, 4 – гравитационная.

**Парообразная вода.** Парообразная вода содержится в воздухе, заполняющем пустоты в горных породах. Количество ее зависит от температуры и влажности породы и упругости водяных паров в воздухе. Парообразная вода способна перемещаться от мест с большей упругостью пара к местам с меньшей упругостью. При охлаждении воздуха содержащаяся в породах парообразная вода конденсируется, переходя в капельножидкое состояние. Тем самым создаются условия, благоприятствующие накоплению воды в грунтах.

**Гигроскопическая вода.** Это вид воды удерживается на поверхности породы молекулярными и электрическими силами сцепления и перемещается только при переходе в парообразное состояние. Количество гигроскопической воды в породе не постоянно и зависит от влажности, температуры и давления воздуха, окружающего породу. Она содержится в значительном количестве в мелкозернистых и глинистых породах (до 15-18 %) и в меньшем в крупнозернистых (около 0,5%). Ниже приводятся средние количества гигроскопической воды для некоторых пород, выраженные в процентах по отношению к весу сухой породы.

Породы	Количество воды в %
Песок из сеноманских отложений.....	0,36
Пылеватый песок неогенового возраста.....	4,61
Покровный суглинок четвертичный.....	6,53
Лесс эоловый.....	7,90
Глинистый песчаник сантонского яруса.....	10,34
Глина оксфордского яруса.....	13,73
Глина третичная.....	17,66

Для определения количества гигроскопической воды в породе свежий образец породы взвешивают, затем высушивают при температуре +105-110° до постоянного веса. Разность в весе свежего и высушенного образца дает количество гигроскопической воды, выраженное в процентах.

**Пленочная вода.** Так же, как и гигроскопическая, она облекает частицы породы, но не в виде отдельных частичек воды, а в виде пленки. Толщина пленки исчисляется долями микрона. Пленочная вода удерживается на поверхности частиц к другой, как жидкость, в результате выравнивания толщины пленки.

По А.Ф.Лебедеву, перемещение пленочной воды в породе может быть представлено следующим образом (рис.8). если две соприкасающихся породы А и Б одинакового радиуса окружены пленками

воды различной толщины, то на частицу воды  $x$ , находящуюся от центра притяжения зерна  $B$  на меньшем расстоянии, чем от центра зерна  $A$ , большее влияние будет оказывать центр  $B$ . Вследствие этого частица воды  $x$  переместится в сторону зерна  $B$ . Такое передвижение частиц будет продолжаться до тех пор, пока толщина водной пленки на обоих зернах породы не станет одинаковой.

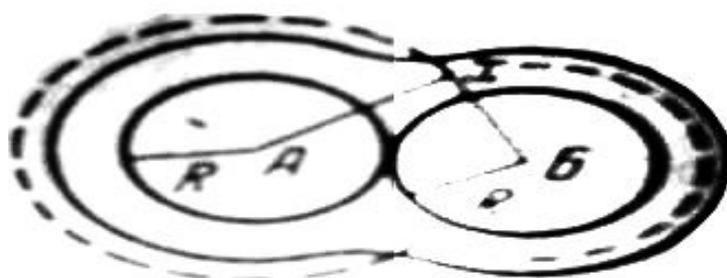


Рис.8. Схема передвижения пленочной воды (по А.Ф. Лебедеву).

Пленочная вода не может перемещаться под действием силы тяжести, так как сила молекулярного притяжения, удерживающая пленочную воду на частицах грунта, превосходит силу тяжести. Не заполняя полностью поры породы, пленочная вода не передает гидростатического давления.

Для определения количества пленочной воды в грунте А.Ф.Лебедев предлагает смачивать образец, создавая условия свободного стекания воды, не удерживаемой капиллярными силами, и определять влажность выше капиллярного подъема в образце.

Содержание пленочной воды в породе можно определить и на центрифуге, развивающей скорость до 50 тыс. об/мин, также более простым способом «влагоемких сред». По последнему способу избыток воды (сверх пленочной влаги) отсасывают из породы с помощью листков бумаги, прижимаемых к поверхности породы. Количество оставшейся в породе пленочной влаги определяют затем как обычно, высушивая образец (с предварительным и последующим взвешиванием).

Содержание пленочной воды в породах различно, причем в глинистых породах оно больше, чем в песчаных, а в мелкозернистых больше, чем в крупнозернистых. Ниже приводятся средние величины количества пленочной воды, содержащейся в различных рыхлых породах, полученные экспериментальным путем (в процентах к весу сухой породы).

Породы	Количество воды в %
Песок крупнозернистый.....	1,57
Песок среднезернистый.....	1,60
Песок мелкозернистый.....	2,73
Песчаная пыль.....	4,75
Ил.....	10,18
Глина.....	44,85

**Гравитационная вода.** В отличие от предыдущих видов обладает свойствами жидкой воды и способна передвигаться под действием силы тяжести. Гравитационная вода, в свою очередь, может быть подразделена на капиллярную и свободную. Капиллярная вода заполняет тонкие поры в породах и удерживаются в них силой поверхностного натяжения. В зоне насыщения, непосредственно над уровнем грунтовых вод, образуется слой так называемой капиллярно - поднятой воды.

А.Ф.Лебедев в зоне аэрации выделяет, кроме того, тип капиллярной воды, которая снизу не имеет сплошного водного слоя. Воды такого типа, название Ф.П.Саваренским капиллярно-подвешенными, особенно часто встречаются в степных районах, где подземные воды залегают на большой глубине.

Высота и скорость капиллярного поднятия зависит от механического состава пород и диаметра пор. Установлено, что чем мельче зерна, слагающие породу, тем больше в ней высота капиллярного поднятия; скорость капиллярного поднятия; наоборот, больше в крупных песках и меньше в мелкозернистых.

Результаты лабораторных и полевых исследований показывают, что в различных категориях рыхлых пород высота капиллярного поднятия имеет следующие значения.

Породы	Высота капиллярного поднятия в см
Песок крупнозернистый.....	12-15
Песок среднезернистый.....	40-50
Песок мелкозернистый .....	90-110
Супесь.....	175-200
Суглинок легкий.....	225-250

Высота и скорость капиллярного поднятия в породах являются важными характеристиками, которые необходимо учитывать при искусственном понижении уровня грунтовых вод в целях борьбы с заболачиванием и засолением сельскохозяйственных территорий, а

также при осушении площадок промышленных и гражданских сооружений, полотна шоссейных и железных дорог и т.д.

В лабораторных условиях высоту капиллярного поднятия в песчаных грунтах можно определять с помощью стеклянной трубки диаметром 2-3 см и высотой 100–150 см. О высоте поднятия капиллярной воды судят по окраске породы: часть породы, смоченная капиллярной водой, имеет более темную окраску. Высоту капиллярного поднятия считают установившейся, если в течение суток не отмечается изменений уровня воды.

Описанный способ определения высоты капиллярного поднятия занимает много времени и неудобен. В связи с этим в практике для указанных целей пользуются капилляримометром конструкции Г.Н.Каменского. Устройство этого прибора следующее (рис.9).

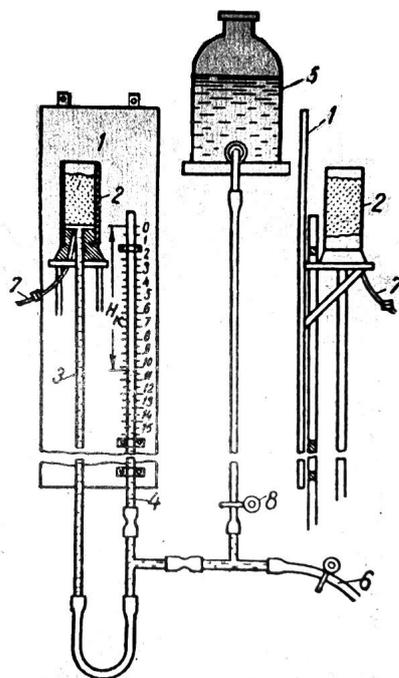


Рис.9. Капилляриметр системы Г.Н.Каменского

Стеклянный цилиндр (2) высотой 10 см укреплен на рейке (1), снабженной шкалой с миллиметровыми делениями. В нижней части цилиндра имеется металлическая сетка. Посредством резиновой трубки цилиндр снизу соединен со стеклянной трубкой (3); последняя с помощью изогнутой резиновой трубки и тройника соединяется с другой стеклянной трубкой (4), расположенной рядом. Третий отвод тройника соединяется с резервуаром (5), наполненным водой, и выпускной трубкой (6). Под сетку в цилиндре подведена трубка (7) с зажимом для выпуска воздуха.

Определение высоты капиллярного поднятия производится в следующем порядке. В цилиндр, заполненный песком, подводят воду из резервуара (5), открыв зажим трубки (6) для выпуска воздуха. По мере вытеснения воздуха вода начинает поступать в песок. После прекращения поступления в цилиндр воды последняя некоторое время еще будет всасываться в песок, что будет заметно по постепенному снижению уровня воды в соседней трубке (4). После того как грунт будет насыщен водой, ее начинают понемногу выпускать из трубки, открыв зажим на выпускной трубке (6). При этом уровень воды в трубке (4) начинает понижаться; разность уровней в этой трубке и трубке (3), поскольку они соединены между собой резиновым шлангом, может быть объяснена наличием капиллярных сил. Уровень в трубке (3) от воды в породе, содержащейся в цилиндре (2).

При выполнении опыта требуется точно установить момент начала отрыва воды от породы, что видно по пузырькам воздуха, проникающим в трубку (3), и успеть отсчитать по шкале разность уровней воды  $H$  в трубках (3 и 4) в момент отрыва. Эта разность и будет представлять высоту капиллярного поднятия воды в исследуемом грунте.

Свободная вода, подчиняющаяся силе тяжести, заполняет в породе трещины, крупные пустоты и капиллярные промежутки. Она передает гидростатическое давление, подобно воде в сообщающихся сосудах. Различают свободную воду в зоне насыщения, ниже уровня грунтовых вод.

Между свободной водой и водой капиллярной зоны существует тесная связь; при в капиллярной зоне, и наоборот.

Кроме перечисленных видов воды, находящихся в парообразном и капельножидком состоянии, т.е. лед. В зоне многолетней мерзлоты, где лед имеет особенно широкое распространение, он входит в породу в качестве постоянной составляющей в виде мелких кристаллов. Наряду с этим в зоне многолетней мерзлоты часто встречаются крупные линзы и пласты «чистого» льда, залегающие среди мерзлых пород различного литологического состава.

Вне области развития многолетия многолетней мерзлоты вода переходит в лед только в зимнее время и охватывает при этом лишь небольшую поверхностную толщу пород, так называемый слой зимнего промерзания.

## Глава 4. Параметры поверхностного и подземного стоков

(материалы В.А. Шемелиной)

Атмосферные осадки расходуются на поверхностный сток, испарение и инфильтрацию (просачивание) в горные породы: Поверхностный и подземный стоки, питающие реки, составляют общий (речной) сток, который определяется для бассейна реки. Бассейном реки называется площадь на поверхности земли, с которой данная река получает водное питание. Площадь поверхностного стока определяется по топографической карте. Площадь подземного стока определяется по карте гидроизогипс с учетом гидрогеологических условий.

**1. Модуль стока**  $M$  л/(с·км<sup>2</sup>) – количество воды, стекающее в единицу времени с 1 км<sup>2</sup> водосборной площади, – определяется по формуле

$$M = \frac{Q * 10^3}{F_{\text{бас}}} \quad (8)$$

где  $Q$  – средний годовой расход реки, м<sup>3</sup>/с;  $F$  – водосборная площадь бассейна, км<sup>2</sup>;  $10^3$  – коэффициент перевода 1 м<sup>3</sup> в литры.

**2. Подземное питание**  $Q_{\text{под}}$  (м<sup>3</sup>/с на 1 км) определяется по формуле

$$Q_{\text{под}} = \frac{Q_1 - Q_2}{L} \quad (9)$$

где  $Q_1$  – расход реки в верхнем створе, м<sup>3</sup>/с;  $Q_2$  – расход реки в нижнем створе, м<sup>3</sup>/с;  $L$  – расстояние между створами, км.

**3. Объем годового стока**  $W$  – количество воды, стекающее с бассейна за год (м<sup>3</sup>/год):

$$W = QT \quad (10)$$

где  $Q$  – средний годовой расход реки, л/с;

$T = 86400 \cdot 365 = 31.5 \cdot 10^6$  – число секунд в году.

Объем годового стока (м<sup>3</sup>/год) можно выразить через модуль стока:

$$W = \frac{MF}{10^3} * 31,5 = MF * 31,5 * 10^3 \quad (11)$$

**4. Слой стока**  $Y$  за год (мм/год) вычисляется по формуле

$$Y = \frac{W * 10^3}{F * 10^6} = \frac{W}{F * 10^3} \quad (12)$$

между слоем и объемом стока существует зависимость

$$Y = \frac{W}{F * 10^2} \quad \text{или} \quad Y = 31.5 M \quad (13)$$

**5. Коэффициент стока** определяется отношением

$$\eta = \frac{Y}{X} \quad (14)$$

где  $Y$  – высота слоя воды за какой то период, мм;

$X$  – количество осадков за тот же период, мм.

Вышеуказанные параметры можно определять как для поверхностного, так и для подземного стока. Соотношение между стоками выражается формулой.

$$K_n = \frac{M_n}{M} * 100\% \quad (15)$$

где  $K_n$  – модульный коэффициент, %;

$M_n$  – модуль подземного стока, л/(с·км<sup>2</sup>);

$M$  – модуль поверхностного стока, л/(с·км<sup>2</sup>).

**6. Годовая инфильтрация** атмосферных осадков численно равна высоте слоя (мм) подземного стока и определяется по формуле:

$$Y = 31,5M_n \quad (16)$$

$$Y_n = \frac{YK_n}{100} \quad (17)$$

где  $M_n$  – модуль подземного стока, л/(с·км<sup>2</sup>);

$K_n$  – процентное содержание подземного стока.

**7. Коэффициент подземного стока** вычисляют по формуле

$$k_{\text{под}} = \frac{Y_n}{X} \quad (18)$$

**8. Среднегодовой объем воды** от инфильтрации по всей площади подземного водосбора за год вычисляют по формуле

$$W = YF \cdot 10^3 \quad (19)$$

**Задача 1.** Площадь бассейна р. Дон у г. Калача  $F = 221600$  км<sup>2</sup>. Средний многолетний расход за 50 лет  $Q = 694$  м<sup>3</sup>/с. Осадки за год  $X = 510$  мм. Расход воды в нижнем створе  $Q_2 = 29,5$  м<sup>3</sup>/с, в верхнем створе на расстоянии  $L = 15$  км.  $Q_1 = 22,3$  м<sup>3</sup>/с. Площадь подземного питания по карте гидроизогипс  $F_n = 9000$  км<sup>2</sup>. Вычислите основные характеристики поверхностного и подземного стока р. Дон у г. Калача.

**Решение: А Поверхностный сток**

1. Модуль стока по формуле

$$M = \frac{Q * 10^2}{F_{\text{бас}}} = 3,13 \text{ (л/с·км}^2\text{)} \quad (20)$$

2. Объем стока за год по формуле

$$W = QT = 21861 * 10^6 \quad (21)$$

Объем стока можем определить через модуль по формуле

$$W = MF * 31,5 * 10^6 = 21849 * 10^6 \text{ м}^3/\text{год} \quad (22)$$

Модуль стока определим по формуле:

$$W = \frac{W * 21849 * 10^6}{F * 31,5 * 10^2} = 3,13 \text{ (л/с} \cdot \text{км}^2) \quad (23)$$

3. Слой стока по формуле равен:

$$Y = \frac{W * 10^3}{F * 10^6} = \frac{W}{F * 10^2} = 99 \text{ мм} \quad (24)$$

Слой стока по формуле равен:

$$Y = 31,5M = 99 \text{ мм}$$

Вычислим модуль и объем стока через слой по формуле:

$$M = 0,0317 \cdot Y = 3,14 \quad (25)$$

$$W = YF \cdot 10^3 = 21938 \cdot 10^6$$

4. Коэффициент стока вычислим по формуле

$$\eta = \frac{99}{510} = 0,19 \quad (26)$$

### **Б. Подземный сток.**

1. Подземное питание на 1 км протяжения реки по формуле

$$Q_{\text{под}} = \frac{Q_1 - Q_2}{L} = 0,48 \quad (27)$$

2. Модуль подземного стока по формуле равен:

$$M = \frac{Q * 10^3}{F_{\text{бас}}} = 0,80 \text{ (л/с} \cdot \text{км}^2) \quad (28)$$

3. Процентное содержание подземного стока от общего годового поверхностного стока (модульный коэффициент подземного стока) вычислим по формуле:

$$K_n = \frac{M_n}{M} * 100\% \left( \frac{0,48}{0,80} * 100\% \right) = 60\% \quad (29)$$

4. Слой подземного стока, или годовую инфильтрацию (мм), вычисляем по формуле:

$$Y = 31,5M_n = 25,2 \text{ мм} \quad (30)$$

5. Коэффициент подземного стока определим по формуле:

$$K_{\text{под}} = \frac{Y_n}{X} \left( \frac{25,2}{510} * 100\% \right) = 4,9\% \quad (31)$$

6. Среднее многолетнее значение инфильтрации для всей площади бассейна по формуле равно:

$$W = Y \cdot F \cdot 10^3 = 225 \cdot 10^6 \quad (32)$$

7. Испарение и транспирацию растениями за многолетний период вычисляем по уравнению:

$$Z_o = X_o - Y_o = 510 - 99 = 411 \text{ мм (при } W_o = 0) \quad (33)$$

## Глава 5. Водные свойства горных пород

Наличие в грунтах того или иного вида воды определяет и их водные свойства: влагоёмкость, естественную влажность, водоотдачу, недостаток насыщения и водопроницаемость.

**Естественная влажность.** Для характеристики пород весьма важно знать их естественную влажность, т.е. влажность породы в естественных условиях. Величина ее зависит от условий залегания и физических свойств породы, а также от водного и теплового режима земной коры в данном районе.

Естественная влажность определяются высушиванием образца породы до постоянного веса; отношение веса влаги содержащейся в грунте, к весу сухого грунта, выраженное в процентах, является показателем естественной влажностью. Часто весовое значение естественной влажности заменяют объемным выражением, что дает возможность сопоставит ее с величиной пористости и судить о степени насыщения породы водой для перехода от весового выражения естественной влажности к объемному, можно пользоваться формулой

$$V = W \cdot D \quad (34)$$

где  $V$  – влажность в объемных единицах;

$W$  – влажность в весовых единицах;

$D$  – объемный вес сухой породы.

Например, если влажность глины в весовых единицах равна 25%, пористость – 52 % и более вес – 1,29, то объемная влажность

$$W = 25 \cdot 1,29 = 32\%.$$

**Водоотдача** – свойство породы отдавать свободную воду под влиянием силы тяжести. Численно водоотдача равна разности между полной и максимальной молекулярной влагоемкостью и выражается в долях объема. Величина водоотдачи всегда меньше величины пористости и зависит от размера зерен пород. Для крупнозернистых песков и гравия величина водоотдачи мало отличается от величины пористости и достигает 26–28%; водоотдача мелкозернистых грунтов значительно меньше.

Для определения водоотдачи (см.стр. 59) в сосуд определенной емкости насыпают породу и насыщают ее водой. После этого откры-

вают кран сосуда и дают стечь свободной воде. Отношение объема стекающей воды к объему всей породы соответствует величине водоотдачи.

После того как из породы вытечет свободная вода, в ней останется капиллярная, гигроскопическая и пленочная вода, удерживаемые силой сцепления, превышающей силу тяжести.

Наряду с водоотдачей различают еще одно понятие – недостаток насыщения. Недостаток насыщения представляет собой разность между силой полной влагоемкостью породы аккумулировать воду.

В приведенном выше примере при пористости породы 42% и объемной влажности ее 18% недостаток насыщения составит  $\mu = 42 - 18 = 24\%$ , или в долях объема 0,24.

Недостаток насыщения является величиной переменной во времени, зависящей от ряда метеорологических факторов. При интенсивных атмосферных осадках естественная влажность породы в зоне аэрации возрастает и в соответствии с этим уменьшается величина недостатка насыщения; она в это время оказывается меньше водоотдачи. Наоборот, в засушливое время, когда преобладает испарение, естественная влажность породы снижается и может быть даже меньше максимальной молекулярной влагоемкости. Лишь средние за год величины недостатка насыщения и водоотдачи могут считаться приблизительно равными.

**Водопроницаемостью** называют способность горных пород пропускать через себя воду. Водопроницаемость зависит главным образом от характера и размера пор и пустот, которые, в свою очередь, определяются типом пород, их происхождением, литологическим составом и размером частиц, слагающих породы, а также наличием коллоидных фракций.

Наибольшей водопроницаемостью обладают крупнотрещиноватые и закарстованные породы (известняки, доломиты), а также крупнозернистые породы рыхлые породы (галечники, пески). Породы же с тонкими трещинами (например, глинистые сланцы), слабо водопроницаемы.

Абсолютная величина пористости горных пород оказывает гораздо меньшее влияние на их водопроницаемость, чем размеры пор. Так, породы с очень большой величиной пористости, например глины, пористость которых более 50%, весьма слабо водопроницаемы. Наряду с этим галечники, общая пористость которых составляет 20-22%, обладают высокой водопроницаемостью.

С точки зрения водопроницаемости, большое значение имеют не только крупные фракции, но и мелкие, с размерами от 0,00025 до 0,000 002 мм. Не останавливаясь подробно на природе этих частиц и их физико-химической характеристике, отметим, что в результате обменных реакций под действием электролитов, находящихся в воде, они образуют агрегаты, играющие существенную роль в водопроницаемости грунтов. Так, присутствие водорастворимых карбонатов и сульфатов кальция в грунтах некоторых районов обуславливает рыхлость сложения этих грунтов и их сравнительно высокую водопроницаемость, не соответствующую характеру глинистых пород.

Из важных свойств глинистых пород по отношению к воде следует отметить пластичность, набухание, размокание, усадку и просадку.

**Под пластичностью** следует понимать состояние глинистого грунта, при котором он способен изменять свою форму при строго определенном содержании связанной воды. При меньшем содержании воды глинистая порода переходит в твердое или полутвердое состояние, при большем – в жидкое и текучее.

Советскими и зарубежными учеными установлено, что причиной пластичности глинистых пород является наличие вокруг частиц грунта водной оболочки, связанной с двойным электрическим слоем на поверхности частиц.

Различают два предела пластичности – нижний и верхний. Нижний предел пластичности глинистой породы определяется величиной влажности, при которой грунт, замешанный на дистиллированной воде, раскатывается в жгут или проволоку определенной толщины.

Верхний предел пластичности определяется величиной влажности, при которой помещенный в фарфоровую чашку и разрезанный в ней глубокой бороздой на две части грунт при встряхивании чашки сливается. При более высокой величине влажности края борозды сливаются без встряхивания и грунт приобретает ярко выраженные текучие свойства.

Разница между верхним и нижним пределами пластичности называется *числом пластичности*. Чем больше это число, тем пластичнее порода.

По числу пластичности глинистые породы подразделяются на классы.

Таблица 3

Класс грунта	Название пород	Число пластичности	Примечание
I	Высокопластичные (глина)	>17	
II	Пластичные (суглинки)	17-7	
III	Слабопластичные (супеси)	7-0	
IV	Непластичные (пески)	0	

По состоянию пластичности глинистой породы можно иметь приблизительное суждение о сопротивляемости ее внешней нагрузке, устойчивости на откосах и т.д. Так, например, на откосе канале крутизной  $45^\circ$  экран из глины сползает при верхнем пределе ее пластичности. При данной величине пластичности допустимая нагрузка на грунт уменьшается почти в два раза по сравнению с нормальной.

**Под набуханием породы** следует понимать увеличение объема образца породы в процентах при впитывании ею воды к начальному объему.

Некоторые глинистые породы (из группы монтмориллонитовых) при проходе в них горных выработок и скважин настолько увеличивают при увлажнении свой объем, что в результате этого уменьшается сечение выработок и очень часто глинистая порода начинает течь в откосах котлована или из стенок горных выработок. При проходе скважин в подобных породах происходит захват инструмента. Пропитывая породу, склонную к набуханию, специальными растворами и создавая на ее поверхности водонепроницаемые пленки, можно свести на нет процесс пучения глинистой породы.

Показателем набухания грунта является сила набухания, выражаемая в  $\text{кг}/\text{см}^2$ . В лабораторных условиях эта сила определяется в компрессионных приборах по методике, проводимой в руководствах по лабораторным исследованиям грунтов.

При изучении глинистых грунтов необходимо учитывать склонность их к размоканию, которое является разновидностью набухания. При размокании в большинстве случаев не происходит увеличения объема глинистой породы. Изменяя характер водного раствора, можно замедлять или ускорять характер и скорость размокания.

**Усадка.** Важной чертой лесов, лессовидных и глинистых грунтов является их склонность к просадке и усадке. Под усадкой следует понимать уменьшение единицы объема или длины высыхающей поро-

ды. Усадка, как правило, сопровождается растрескиванием породы, что приводит к уменьшению ее прочности и устойчивости на стенках откосов. Величина усадки более высокая в породах в ней трещины исчезают и вновь появляются при усыхании. Изменяется и цвет породы от темного до светлого.

Под просадкой следует понимать уменьшение объема или высоты грунта при смачивании водой под влиянием собственного веса. Просадочными свойствами обладают различные грунты, но они ярко выражены в лессе и лессовидных породах. Для лессовидных пород характерными признаками являются: отсутствие слоистости, однородный механический состав (частиц менее 0,01 мм более 55-60%), большое содержание карбонатов, высокая пористость (свыше 45-50%), наличие следов землероек и корней растений, большая высота капиллярного поднятия. В сухом состоянии горные выработки в них сохраняют вертикальные или близкие к этому естественные углы откоса, допустимая нагрузка для названных пород на сжатие в сухом состоянии свыше 2-2,5 кг/см<sup>2</sup>.

Свойства лессов и лессовидных пород резко ухудшаются при их искусственном смачивании, или инфильтрации воды в них.

Процесс образования просадок в лессах и лессовидных породах в естественных условиях хорошо известен по наличию различных в естественных условиях хорошо известен по наличию различных понижений в районах орошаемого земледелия, городского, транспортного и промышленного строительства и в зоне ирригационных и транспортных каналов. Этот процесс происходит и в настоящее время и его следует учитывать при производстве изысканий, проектировании и строительстве. При изысканиях необходимо учитывать генезис лессовидных пород (эоловый, пролювиальный, делювиальный и др.) замечено, что если названные грунты уже подвергались неоднократно промачиванию, то в них просадки или совсем не наблюдаются, или проявляются в незначительных размерах. Просадка в лессе и лессовидных породах может достигать 1-2 м.

В зоне ирригационных каналов просадки образуются вдоль берегов в зоне шириною 25-30 м и более. На участках, расположенных недалеко от канала, наблюдаются просадки глубиной до 1 более м. по мере удаления от берегов канала уменьшается величина просадки.

Для оценки просадочности глинистых и лессовидных грунтов Ю.А.Абелев рекомендует пользоваться показателем просадочности  $M$ ; по данным полевых испытаний

$$M = \frac{S_1}{S} \quad (35)$$

где  $S_1$  – полная просадка штампа (прибор для определения в полевых условиях допустимой нагрузки на грунт) после замачивания;  
 $S$  – осадка того же штампа до замачивания.

По данным Ю.М.Абелева, у просадочных лессов величина  $M$  больше 5.

Для оценки просадочности лессов в настоящее время существует много различных показателей. Интересующихся этим вопросом отсылаем к специальной литературе.

И.В.Попов быстрее просадки в лессах и лессах и лессовидных грунтах объясняет не только уменьшением величины пористости, но и растворением в них легко подвижных солей (сульфатов натрия и хлоридов). По его мнению, медленные просадки связаны с постепенным разрушением в породах гипсового и кальцитового цемента.

Просадочные явления наблюдаются также на территории крупных городов, в районах добычи полезных ископаемых закрытым способом, на массивах орошения и осушения. В этих случаях просадки на поверхности земли, исчисляемые от нескольких сантиметров до метров, связаны с откачками подземных вод из горных пород и последующим уплотнением последних под весом вышележащих толщ земляных масс или фильтрационного тока воды.

**Определение влагоемкости, капиллярных свойства водоотдачи пород.** Влагоемкость – способность пород вмещать в порах и удерживать в себе то или иное количество воды. Различают влагоемкость: максимальную молекулярную, капиллярную и полную. Породы разделяются на весьма влагоемкие ( торф, глины, суглинки), слабо влагеёмкие (мел, рыхлые песчаники) и невлагеёмкие (скальные породы, пески, галечники).

Максимальной молекулярной влагоемкостью породы называют максимальное количество гигроскопической и пленочной воды, удерживаемое частицами грунта; капиллярной влагоемкостью – максимальное количество воды, удерживаемое в капиллярных порах; полной влагоемкостью – максимальное количество воды, заключенное в породе при полном насыщении ее водой.

Под капиллярными свойствами породы понимают высоту и скорость капиллярного поднятия в них воды. Высота капиллярного поднятия меньше в крупнозернистых породах, а скорость поднятия больше.

Водоотдачей породы называют количество воды, которое отдает единица гравитационной воды. Она выражается в объемных процентах или долях единицы. Водоотдачу вычисляют по разности полной влагоемкости и максимальной молекулярной влагоемкости:

$$\mu = W_t - W_m \quad (36)$$

Приблизительно водоотдачу песков определяют как разность между пористостью и максимальной молекулярной влагоемкостью.

Разность между полной влагоемкостью и данной естественной влажностью, выраженную в процентах, именуют недостатком насыщения

$$\mu_H = W_t - W_b \quad (37)$$

Обе величины ( $\mu$  и  $\mu_H$ ) широко используют в различных расчетах по формулам неустановившегося движения грунтовых вод.

**Задача 2.** Определить максимальную молекулярную и капиллярную влагоемкость песков методом высоких колонн (по Е.Г. Чаповскому, 1975).

В работе применяется прибор (рис. 4), состоящий из стеклянного цилиндра 1 диаметром 4–5 см и высотой 90–100 см. Сбоку он должен иметь отростки 2 диаметром 2 см, расположенные на расстоянии 10 см. В дно цилиндра впаяна небольшая трубка с сеткой 4. Трубка крепится на штативе 7.

1. Наполнить цилиндр песком, песок слегка утрамбовать.

2. Закрывать резиновыми пробками 3 боковые отверстия промочить песок водой, подаваемой в цилиндр снизу по резиновой трубке 6 с зажимом 8 из напорного бака 5 до появления пленки воды на поверхности песка.

3. Сняты резиновую трубку со дна прибора и дать гравитационной воде свободно стечь.

4. По прекращении стока взять шпателем по 10–15 г песка из каждого бокового отверстия в предварительно взвешенные бюксы.

5. По вышеописанному методу (см. Задача 1) определить влажность проб.

6. По полученным данным составить журнал (табл. 4) в котором выделить графу – зона постоянной влажности. В этой зоне влажность наименьшая, т.е. эта влажность и есть максимальная молекулярная влагоемкость грунта  $W_m$ . Ниже ее расположена переходная зона, которая соответствует капиллярной влагоемкости  $W_h$  и характеризуется наибольшими значениями влажности грунта.

Таблица 4

№ отверстия с которого взята проба	Влаж- ность, %	Зона влажности	Влагоемкость, %	
			$W_m$	$W_h$
1	1,6	Зона постоянной влаж- ности	1,7	
2	1,7			
3	1,6			
4	1,8			
5	1,7			
6	1,7			
7	6.2	Переходная зона	-	
8	14.9	Капиллярная влагоем- кость	-	15,2
9	15.1			
10	15.6			

Необходимое оборудование: стеклянный цилиндр, резиновая трубка диаметром 2-3 см, длиной 0,5 м, напорный бачок, штатив, зажимы, бюксы, резиновые пробки диаметром 2 см, металлическая сетка диаметром 4-5 см, стеклянная воронка.

**Задача 3.** Определить высоту капиллярного поднятия в песках непосредственным наблюдением (по Е.Г. Чаповскому, 1975).

1. В стеклянную трубку высотой 1,0 м, диаметром 3-4 см, обвязанную на одном конце марлей, насыпать сухой песок, слегка утрамбовав его, песок загружается через воронку с резиновой трубкой во избежание пересортировки песка.

2. Конец трубки, укрепленной на штативе (рис. 10), погрузить в сосуд с водой на глубину 1-2 см и заметить время по секундомеру. Уровень в сосуде с водой должен быть постоянным.

3. Наблюдать за скоростью и высотой подъема по окраске песка (темнеет при насыщении водой).

4. Через определенные промежутки времени по шкале, нанесенной на трубке, отсчитывать среднюю высоту подъема уровня, измеряя ее от уровня воды в сосуде. Для песков отсчеты брать через 1, 2, 5 мин в течение 15 мин, затем через 30 мин, 1 ч.

5. По данным замеров построить график изменения высоты капиллярного подъема во времени (рис. 11) и определить высоту капиллярного поднятия.

Необходимое оборудование и материалы: стеклянная трубка, штатив, марля, воронка, резиновая трубка, сосуд для воды, секундомер, линейка.

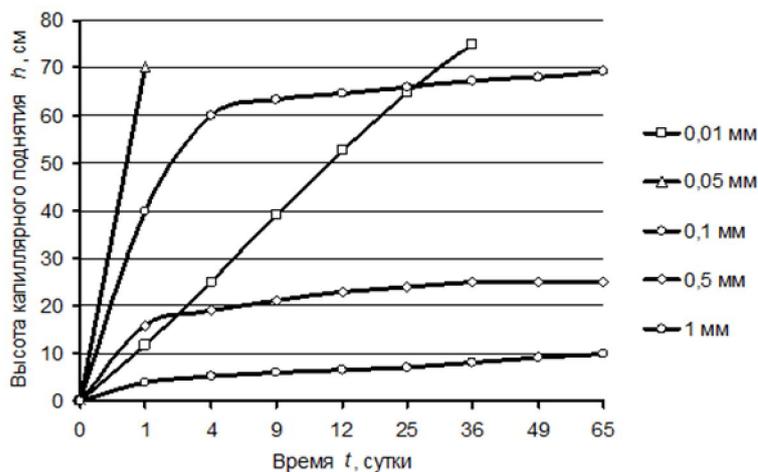
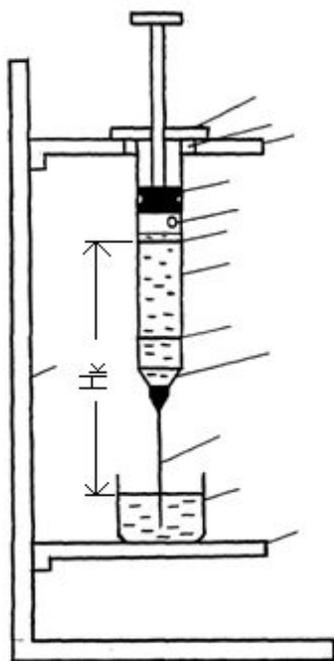


Рис.10. Прибор для изучения капиллярных свойств  $H_k$ -высота поднятия

Рис.11. Кривые капиллярного поднятия

**Задача 4.** Определить полную влагоемкость песков методом насыщения (по Е.Г. Чаповскому, 1975)

1. Сухой стаканчик (объемом  $50 \text{ см}^3$  для песков рыхлого сложения и  $250 \text{ см}^3$  для песков плотного сложения) наполнить исследуемым песком (с утрамбовкой или через воронку, в зависимости от того, при плотном или рыхлом сложении надо определить пористость песка). После наполнения подравнять поверхность— песка линейкой вровень с краями стаканчика.

2. При помощи бюретки насытить песок в стаканчике водой до появления тонкого слоя воды на поверхности песка. Количество воды, израсходованной на насыщение песка, будет соответствовать объему его пор  $V_n$ .

3. Удалить песок из стаканчика и при помощи той же бюретки измерить объем пустого стаканчика, который соответствует объему всей породы  $V$ .

4. Рассчитать пористость по формуле:

$$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100\% \quad (38)$$

Эта пористость численно равна полной влагоемкости ( $n = W_t$ ).

Оборудование: стеклянные стаканчики объемом 50 и 250 см<sup>3</sup>, бюретка, штатив, линейка.

**Задача 5.** Полная влагоемкость грунта  $W_t$  25,5%, максимальная молекулярная влагоемкость (17%). Определить водоотдачу.

Водоотдача определяется по формуле (2.2):  $\mu = 25,5 - 17 = 8,5\%$

### Определение коэффициента фильтрации пород

Одной из важнейшей характеристик породы, связанных с наличием воды в ней, является водопроницаемость. Водопроницаемость – способность породы пропускать воду. Чаще всего и наибольший интерес в гидрологии представляет передвижение воды в породах под влиянием силы тяжести и разности напоров. Численно водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации. Коэффициент фильтрации – скорость фильтрации воды при напорном градиенте, равном единице. Выражается в см/с или м/сут и является одним из основных расчетных показателей при решении гидрогеологических задач по оценке движения подземных вод (подсчет запасов подземных вод, определение притока вод к различным выработкам, расчет утечек воды в районах гидротехнических сооружений и др.). Средние значения коэффициентов, фильтрации (для пресной воды) очень хорошо проницаемые.

Лабораторный метод определения коэффициента фильтрации пород – наиболее простой и дешевый, но менее точный; чем полевые опытно-фильтрационные работы. Используется он при массовых определениях коэффициента фильтрации пород при исследованиях для мелиораций, гидротехнического и гражданского строительства. Определения  $K$  песчаных пород ведутся на образцах с нарушенной структурой, глинистых – на монолитах.

**Задача 6.** Определить коэффициент фильтрации песков в трубке СПЕЦГЕО.

Трубка СПЕЦГЕО (рис.10) состоит из основной трубки 1, нижней крышки 2 с сеткой 3, верхней крышки 4 и стеклянного мерного цилиндра 5 с делениями, равными 1 см<sup>3</sup>.

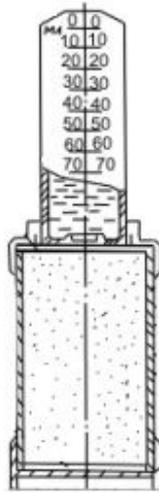


Рис.12. Трубка СПЕЦГЕО породы (галечники, гравий, сильно закарстованные известняки, сильно трещиноватые породы) –  $K$  100-1000 м/сут и более; хорошо проницаемые породы (галечники, гравий с песком, крупный песок, чистый среднезернистый песок, закарстованные породы)  $K$  100-10 м/сут; проницаемые породы (галечник, гравий с мелким песком, глиной, средне- и мелкозернистые пески, слабо закарстованные и мало трещиноватые породы) –  $K$  10-1 м/сут; слабопроницаемые (тонко-зернистые пески; слабо трещиноватые породы)  $K$  1,0-0,1 м/сут; весьма слабопроницаемые (суглинки, очень слабо трещиноватые породы) –  $K$  0,1-0,001 м/сут.

Заполнить трубку 1 испытуемым песком, замочить его снизу вверх. Заполнить мерный цилиндр водой, опрокинуть над трубкой и укрепить в верхней крышке так, чтобы горлышко его отстояло от поверхности грунта в трубке на 0,5-1 мм. Отрегулировать посадку мерного цилиндра так, чтобы через воду поднимались только мелкие пузырьки воздуха, следующие один за другим на одинаковом расстоянии. По достижении указанного режима заметить по шкале уровень воды в мерном цилиндре, пустить секундомер и через 50-100 с заметить второй уровень. Подсчитать коэффициент фильтрации (см/с) по формуле  $K = \frac{Q}{T \cdot F}$ , где  $Q$  – объем воды, профильтровавшейся за время  $T$ ,  $T$  – время фильтрации,  $F$  - площадь поперечного сечения. Повторить опыт 3-4 раза, данные наблюдений занести в таблицу (см. форму) и вычислить по ним среднее значение коэффициента фильтрации. Пользуясь температурной поправкой  $T$ , значение  $K$  привести к температуре 10°C;

$$K_{10} = \frac{K}{T} \quad (39)$$

$$T = 0.7 + 0,03t \quad (40)$$

где  $t$  – температура воды во время опыта.

№ опыта	Краткое описание грунта	Время фильтрации, $T$ , с	Объем профильтрованной воды, $V$ , см <sup>3</sup>	Коэффициент фильтрации, $K$ , см/с	Средний коэффициент фильтрации, $K_{ср}$ , см/с	Температура воды, $t$ , °С
---------	-------------------------	---------------------------	--	------------------------------------	---	----------------------------

Оборудование: трубка СПЕЦГЕО, секундомер, стеклянная батарейная банка.

## Глава 6. Физические свойства и химический состав подземных вод (материалы О.К. Шуляковой)

В данной главе рассматриваются вопросы, связанные с различными методами обработки графического изображения и систематизации химических анализов подземных вод.

Изучение химического состава и физических свойств природных вод имеет большое практическое значение. Химический состав воды необходимо учитывать при использовании ее для всех видов водоснабжения (питьевого, технического, лечебного). При строительстве различных сооружений необходимо располагать данными о химическом составе воды, чтобы предпринять меры против коррозии бетона. Химический состав характеризует качество воды используемой при орошении; по ее составу судят об интенсивности процессов засоления орошаемых массивов. Тщательно изучают химический состав подземных вод при организации добычи солей йода, брома, бора, а также при гидрохимических методах поисков полезных ископаемых. Химический состав подземных вод необходимо знать и для изучения условий происхождения и формирования подземных вод.

К физическим свойствам подземных вод относятся плотность температура, прозрачность, цвет, запах, вкус, привкус, электропроводность и радиоактивность. Характеристика этих свойств воды и их значение при оценке воды для различных целей с достаточной полнотой приводятся во многих учебных пособиях (27, 29).

Свойства подземных вод определяются: количеством и соотношением содержащихся в них различных ионов, некоторых недиссоциированных соединений, газов, органических веществ, реакцией воды (рН), жесткостью, общей минерализацией.

К главным химическим компонентам подземных вод относятся хлорид-ион  $\text{Cl}^-$ , сульфат-ион  $\text{SO}_4^{2-}$ ; гидрокарбонатный  $\text{HCO}_3^-$ ; и карбонатный  $\text{CO}_3$  ионы, а также ионы щелочных и щелочноземельных металлов и окислов – натрия  $\text{Na}^+$  и калия  $\text{K}^+$ , кальцит  $\text{Ca}_2^+$ , и магния  $\text{Mg}_2^+$ , железа и кремния  $\text{SiO}_2$  (в коллоидном состоянии).

Гидрогеологи, занимающиеся изучением химического состава подземных вод, должны иметь определенные навыки по обработке и систематизации данных о химическом составе воды.

### **6.1 Обработка химических анализов подземных вод**

Чтобы сделать необходимые выводы из полученных результатов анализа, следует систематизировать данные, позволяющие правильно судить о химическом составе воды.

В природной воде молекулы солей почти, полностью диссоциированы на ионы, поэтому основной, формой выражения результатов анализа воды является ионная. Содержание того или иного иона при лабораторных исследованиях выражается в граммах или миллиграммах в 1 л. Данные лабораторных анализов подземных вод в мг/л или г/л подлежат дальнейшей обработке:

1. Данные анализа пересчитываются в эквивалентную и процент-эквивалентную формы.
2. Вычисляют ошибки анализа, %
3. Определяют все виды жесткости воды.
4. Классифицируют воду по величине общей жесткости, минерализации, активной реакции.

**Пересчет анализа из ионной формы в процент-эквивалентную и вычисление ошибки анализа.** Для пересчета данных анализа из ионной формы в миллиграмм-эквивалентную необходимо количество миллиграммов каждого иона в 1 л воды разделить на его эквивалентную массу (ионная масса, деленная на валентность). Для упрощения расчетов можно использовать пересчетные множители, которые представляют собой величину, обратную эквивалентной массе (табл.5). При обработке большого числа анализов используют пересчетные таблицы и номограммы.

Эквивалентные массы ионов и множители для пересчета миллиграмм-ионов в миллиграмм-эквиваленты.

Таблица 5

Катионы	Эквивалентная масса	Множитель для пересчета	Анионы	Эквивалентная масса	Множитель для пересчета
H+	1.008	0.99206	Cl-	35.457	0.02820
K+	39.096	0.02558	Br-	79.916	0.01251
Na+	22.997	0.043448	I-	126.91	0.00788
NH+	18.040	0.05543	NO <sub>3</sub> -	62.008	0.01613
Li+	6.940	0.14409	NO <sub>2</sub> -	46.008	0.02174
Ca <sup>2+</sup>	20.040	0.04990	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	48.033	0.02082
Mg <sup>2+</sup>	12.160	0.08224	HCO <sub>3</sub> -	61.018	0.01639
Fe <sup>2+</sup>	27.925	0.03581	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	30.005	0.03333
Fe <sup>3+</sup>	18.617	0.05371	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	31.658	0.03159
Al <sup>3+</sup>	8.993	0.11124	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	47.994	0.02084
Mn <sup>2+</sup>	27.465	0.03641	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	96.996	0.01031
			S <sup>2-</sup>	16.033	0.06237
			HS-	33.074	0.03024
			HSiO <sub>3</sub> -	77.098	0.01298
			SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	38.045	0.02630

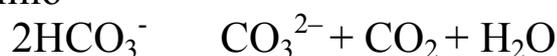
Результаты определений для массовых анализов рекомендуется выражать в мг/л и %экв целыми числами, а в мг·экв/л – с точностью до второго десятичного знака.

Контроль результатов анализа воды проводится по эквивалентному содержанию ионов или по сухому остатку. Первый метод может быть применен только для полных, а второй для полных и сокращенных химических анализов.

Процент погрешности анализа вычисляют по формуле

$$x = \frac{A - K}{A + K} \quad (41)$$

где А и К суммы миллиграмм-эквивалентов соответственно анионов и катионов. Контроль по сухому остатку заключается в сравнении сухого остатка с суммой всех растворенных веществ в виде ионов и молекул. При подсчете необходимо брать половину количества HCO<sub>3</sub>, так как при высушивании сухого остатка гидрокарбонат переходит в карбонаты по уравнению



Для пересчета результатов анализа из миллиграмм-эквивалентов в процент-эквиваленты необходимо сумму миллиграмм-эквивалентов катионов и анионов принять порознь за 100% и вычислить процентное содержание каждого иона в отдельности (табл.6).

Пример выражения результатов анализа воды в различных формах.

Таблица 6

Ионы	Мг/л	Мг·эquiv/л	% экв
Катионы: Na <sup>+</sup>	240	10,4	61
K <sup>+</sup>	6	0,15	1
Ca <sup>2+</sup>	77	3,8	22
Mg <sup>2+</sup>	34	2,8	16
Итого:	357	17,15	100
Cl <sup>-</sup>	265	7,5	45
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	218	4,5	27
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	286	4,7	28
Итого:	769	16,7	100

В сокращенном анализе вычисленная по разности сумма эквивалентов щелочных металлов условно пересчитывается на натрий.

**Определение жесткости воды.** Под жесткостью понимается свойство воды, обусловленное присутствием в ней солей кальция и магния. Выражается жесткость в мг·эquiv/л. Различают пять видов жесткости: общую, устранимую (или временную); неустраняемую (или постоянную), карбонатную и некарбонатную.

Общая жесткость обусловлена наличием всех солей кальция и магния и вычисляется путем суммирования мг·эquiv этих ионов.

Устранимая (временная) и карбонатная жесткости обусловлены одними и теми же гидрокарбонатными и карбонатными солями кальция и магния, но имеют различное значение. Устранимая жесткость величина экспериментальная. Она показывает, на сколько уменьшается общая жесткость воды после кипячения. Карбонатная жесткость – величина расчетная, численно равная количеству мг·эquiv гидрокарбонатных и карбонатных ионов, содержащихся воде. Если это количество больше, чем общая жесткость, карбонатную жесткость считают равной общей жесткости.

Неустраняемая (постоянная) и некарбонатная жесткости обусловлены хлоридами, сульфатами и другими некарбонатными солями

кальция и магния. Неустраняемая жесткость равна разности между общей, жесткостью и устранимой (временной), а некарбонатная жесткость равна разности между общей жесткостью и карбонатной.

Природные воды по общей жесткости О.А.Алекин подразделяет на пять групп. Ниже дается оценка природных вод по степени жесткости:

Оценка воды	Жесткость мг·эquiv
Очень мягкая	До 1,5
Мягкая	1,5-3
Умеренно жесткая	3-6
Жесткая	6-9
Очень жесткая	Выше 9

**Пример.** Вычислим все виды жесткости по данным анализа воды приведенным в табл.6.

1. Общая жесткость равна:

$$2. H = (Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) = 3,8 + 2,8 = 6,6 \text{ мг·эquiv.}$$

Карбонатная жесткость равна 4,7 мг·эquiv. Некарбонатная жесткость равна  $6,6 - 4,7 = 1,9$  мг·эquiv. Следовательно, степени жесткости согласно классификации Алекина вода относится к жесткой.

**Минерализация воды.** Под минерализацией может подразумеваться одна из следующих величин: экспериментально определенный сухой (плотный) остаток; сумма ионов; сумма минеральных веществ, вычисленный сухой остаток. Сумма минеральных веществ – более полное выражение минерализации воды по сравнению с суммой ионов, так как она учитывает и недиссоциированные неорганические вещества.

Единой классификации вод по степени минерализации не существует. Наиболее распространенными являются классификации М.Овчинникова, В.А.Приклонского и Ф.Лаптева, В.И.Вернадского. Ниже приводится общая минерализация подземных вод в градациях, выделенных на основании классификации природных вод В.И.Вернадского согласующихся с требованиями практического использования подземных вод.

Таблица 7

Группа	Минерализация, г/л
Пресные	До 1
Слабосоленоватые	1-3
Сильносолоноватые	3-10
Соленые	10-50
Слабые рассолы	50-100
Крепкие рассолы	>100

Согласно данным анализа, приведенным в табл. 3, минерализация воды составляет (по сумме ионов):  $240 + 6 + 77 + 34 + 265 + 218 + 286 = 1126$  мг/л, или 1,1 г/л. Вода по степени минерализации относится к слабосоленоватой.

**Реакция воды.** Реакция воды выражается показателем рН, который представляет собой десятичный логарифм концентрации взятый с положительным знаком:  $pH = -\lg[H^+]$ . По величине активной реакции рН воды классифицируются следующим образом:

Наименование воды	рН
Очень кислая	<5
Кислая	5-7
Нейтральная	7
Щелочная	7-9
Высокощелочная	>9

Агрессивность вод. Подземные воды обладают в той или иной степени свойством агрессивности по отношению к бетону, железобетону и металлам. Агрессивность обусловлена присутствием ионов водорода, свободной углекислоты, сульфатов и магния. Различают несколько видов агрессивности: выщелачивания, общее кислотную, углекислотную, сульфатную, магниальную.

Агрессивность выщелачивания определяется по величине карбонатной жесткости воды. Вода считается агрессивной по отношению к бетону при карбонатной жесткости свыше 0,54-2,14 мг·экв/л в зависимости от типа цемента в составе бетона.

Агрессивность общекислотная определяется по количеству водородных ионов (по рН). Вода считается агрессивной для всех типов цементов в пластах высокой водопроницаемости: а) при  $pH < 7$  и карбонатной жесткости, меньше 8,6 мг·экв/л б) при  $pH < 6,7$  и карбонат-

ной жесткости больше 8,6 мг экв/л. Для слабопроницаемых пластов вода считается агрессивной при  $pH < 5$ :

Агрессивность углекислая устанавливается по содержанию в воде свободной углекислоты. Вода для большинства цементов в пластах высокой водопроницаемости считается агрессивной, если выражение будет больше содержания свободной углекислоты, где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, определяемые в зависимости величины карбонатной жесткости и количества ионов  $Cl + SO_4$  мг/л. Значение коэффициентов  $a$  и  $b$  для определения углекислой агрессивности приведены в табл. 4.

Агрессивность сульфатная оценивается по содержанию в воде ионов  $SO_4$ , мг/л. В породах высокой водопроницаемости для бетона на портландцементе вода считается агрессивной при содержании ионов  $Cl$  и  $SO_4$  мг/л:

$Cl$	$SO_4^{2-}$
0-3000	250-500
3001 -5000	501-1000
>5000	>1000

В породах слабой водопроницаемости, вода считается агрессивной при содержании иона  $SO_4 > 1000$  мг/л, для бетонов на пуццолановом, шлаковом и песчано-пуццолановом портландцементе – при содержании иона  $SO_4 > 4000$  мг/л независимо от содержания иона  $Cl$ .

Агрессивность магниевая определяется по наличию в воде ионов  $Mg^{2+}$ . Для портландцемента, находящегося в высокопроницаемых породах, вода считается агрессивной при содержании иона  $Mg^{2+} > 5000$  мг/л, для других видов цемента – при содержании иона  $Mg^{2+}$  более величин, приведенных ниже, мг/л:

$SO_4^{2-}$	$Mg^{2+}$
0-1000	>5000
1000-2000	3001-5000
2001-3000	2001-3000
3001-4000	1000-2000

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  для определения углекислой агрессивности – среды.

Таблица 8

Карбонатная жесткость, мг-экв/л	Суммарное содержание Cl и SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л											
	0 – 200		201– 400		401 – 600		601 – 800		108 – 1000		> 1000	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1,4	0,01	16	0,01	17	0,01	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17
1,8	0,04	17	0,04	18	0,03	17	0,02	18	0,02	18	0,02	18
2,1	0,07	19	0,06	19	0,05	18	0,04	18	0,04	18	0,04	18
2,5	0,10	21	0,08	20	0,07	19	0,06	18	0,06	18	0,05	18
2,9	0,13	23	0,11	21	0,08	19	0,08	18	0,07	18	0,07	18
3,2	0,16	25	0,14	22	0,11	20	0,10	19	0,08	18	0,08	18
3,6	0,20	27	0,17	23	0,14	21	0,12	19	0,11	18	0,10	18
4,0	0,24	29	0,20	24	0,16	22	0,15	20	0,13	19	0,12	19
4,3	0,28	32	0,24	26	0,19	23	0,17	21	0,16	20	0,14	20
4,7	0,32	34	0,28	27	0,22	24	0,20	22	0,19	21	0,17	21
5,0	0,38	36	0,32	29	0,25	26	0,23	23	0,22	22	0,19	22
5,4	0,40	38	0,36	30	0,29	27	0,26	24	0,24	23	0,22	23
5,7	0,44	41	0,40	32	0,32	29	0,29	25	0,27	24	0,25	24
6,1	0,48	43	0,44	34	0,36	30	0,33	26	0,30	25	0,28	25
6,4	0,54	46	0,47	37	0,40	32	0,36	28	0,33	27	0,31	27
6,8	0,61	48	0,51	39	0,44	33	0,40	30	0,37	29	0,34	28
7,1	0,67	51	0,55	41	0,48	35	0,44	31	0,41	30	0,38	29
7,5	0,74	53	0,60	43	0,53	37	0,48	33	0,45	31	0,41	31
7,8	0,81	55	0,63	45	0,58	38	0,53	34	0,49	33	0,44	32
8,2	0,88	58	0,70	47	0,63	40	0,58	35	0,53	34	0,48	33
8,6	0,96	60	0,76	49	0,68	42	0,63	37	0,57	36	0,52	35
9,0	1,04	63	0,81	51	0,73	44	0,67	39	0,61	38	0,56	37

**Пример.** Требуется определить агрессивность воды – среды, по отношению к бетонной конструкции, расположенной в грунте, обладающем повышенной водопроницаемостью. Исходные данные помещены в табл. 9.

Таблица 9

Ионы	Содержание		Дополнительные показатели
	Мг/л	Мг·экв/л	
Катионы: N+K	1950	84,8	СО <sub>2</sub> свободная – 119 мг/л рН-6,6 Карбонатная жесткость 7,9 мг·экв
Ca	152	7,5	
Mg	198	16,4	
Анионы: Cl	663	18,6	
SO <sub>4</sub>	3957	84,3	
HCO <sub>3</sub>	482	7,9	

По приведенным данным вода обладает выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону на любом цементе, так как карбонатная жесткость (7,4 мг·эquiv) превышает допустимую норму (2,4 мг·эquiv) и не обладает общей кислотной агрессивностью как  $pH < 6,7$ , а карбонатная жесткость  $< 8,6$ .

Для определения углекислой агрессивности находят по табл. 4 коэффициенты  $a$  и  $b$ . Содержание ионов  $C_{1-} + SO_4 = 663 + 3957 = 4620$  мг/л;  $a = 0,44$ ,  $b = 32$ . По нормам углекислой агрессивности допустимое содержание свободной углекислоты равно 66,8 мг/л. Следовательно, данная вода, содержащая 119 мг/л свободной углекислоты, агрессивна по отношению к бетону. Она обладает также и сульфатной агрессивностью, так как содержание иона  $SO_4$  превышает 500 мг/л при содержании иона до 3000 мг/л.

Магнезиальной агрессивностью вода не обладает, так как содержание иона не превышает 1000 мг/л.

## 6.2 Систематизация химических анализов подземных

Для изображения химического состава воды используют формулу Курлова, которая представляет собой псевдодробь. В числителе ее расположены анионы по содержанию их в воде в убывающем порядке, а в знаменателе – в таком же порядке катионы. Ионы, содержание которых не превышает 10%·эquiv, в формулу не включаются. Слева от дроби указывается количество газов и активных элементов; минерализация воды до первого десятичного знака, справа – температура воды, реакция воды  $pH$ , дебит скважины или расход источника ( $m^3/сут.$ )

В формулу Курлова внесены некоторые изменения, которые дают возможность более четко представить условия формирования химического состава воды: в нее включают все анионы и катионы, содержание которых превышает 1%·эquiv. Количество катионов и анионов округляется до целых чисел % ·эquiv. По предложению В.Посохова [42], ионы, содержание которых не превышает 25% экв, можно считать второстепенными и желателно отделять их скобками от главных.

Формула М.Г.Курлова с учетом вышеуказанных изменений имеет вид

$$H_2S\ 0,049\ Br\ 0,100\ M\ 4,3\ \frac{Cl\ 66\ SO_4\ 29\ [HCO_3\ 6]}{Na\ 79\ [Ca\ 12\ Mg\ 9]}\ T\ C\ 15\ pH\ 7,6 \quad (42)$$

В наименование состава воды включаются анионы и катионы, содержание которых составляет 25%·экв и более. В наименовании воды рекомендуется первыми ставить анионы и катионы, находящиеся в меньшем количестве. Вода, состав которой приведен в формуле, называется: сероводородная бромистая сульфатно-хлоридная натриевая.

Для систематизации химических анализов воды предложено большое количество классификаций, однако общепринятой единой классификации пока существует. Ниже приведены классификации, наиболее широко используемые в гидрогеологической практике.

Классификация С.А.Щукарева-Н.Н.Славянова. Согласно этой классификации ионы делятся на преобладающие и второстепенные. К первым относят ионы, которых не менее 25%·экв. В составе воды может быть от двух до шести преобладающих ионов. Группируя анионы с катионами, из шести преобладающих ионов можно образовать 49 различных сочетаний, поэтому С.А.Щукарев выделяет 49 классов вод (табл.6). Название воде дается по преобладающим главным анионам, (хлоридная, сульфатная, гидрокарбонатная, хлоридное – сульфатная, хлоридное – гидрокарбонатная, сульфатно-гидрокарбонатная и хлоридное – сульфатное – гидрокарбонатная), и катионам (натриевая, магниевая, кальциевая, натриево-магниевая, натриево-кальциевая, магниевое-кальциевая и натриево-магниевое-кальциевая). Каждый класс воды характеризуется определенными свойствами. Так, к 1 классу относятся пресные воды гидрокарбонатного кальциевого типа.

По общей минерализации каждый класс разделен на группы: А – до 1,5 г/л; В от 1,5 до 10 г/л и С – более 10 г/л.

Пример. Определим класс воды, химический состав которой приведен в табл.3. Из данных таблицы видим, что в химическом составе воды преобладают ионы  $SO_4$  и  $Na^+$ , следовательно, она относится к 21-му классу, группе А (минерализация 1,1 г/л).

Классификация С.А.Щукарева-Н.Н.Славянова.

Анионы	Катионы						
	Ca	Ca, Mg	Mg	Na, Ca	Na, Ca, Mg	Na, Mg	Na
HCO <sub>3</sub>	1	2	3	4	5	6	7
HCO <sub>3</sub> ,SO <sub>4</sub>	8	9	10	11	12	13	14
HCO <sub>3</sub> ,SO <sub>4</sub> ,Cl	15	16	17	18	19	20	21
HCO <sub>3</sub> , Cl	22	23	24	25	26	27	28
SO <sub>4</sub>	29	30	31	32	33	34	35
SO <sub>4</sub> , Cl	36	37	38	39	40	41	42
Cl	43	44	45	46	47	48	49

Классификация О.А.Алекина. В этой классификации природные воды делятся по преобладающим ионам и соотношению между ними. По преобладающему аниону воды делятся на три класса: гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные. Каждый класс делится на три группы по преобладанию и одного из катионов. Группы подразделяются на типы по соотношению между ионами. Всего выделяется четыре типа (рис.13.).

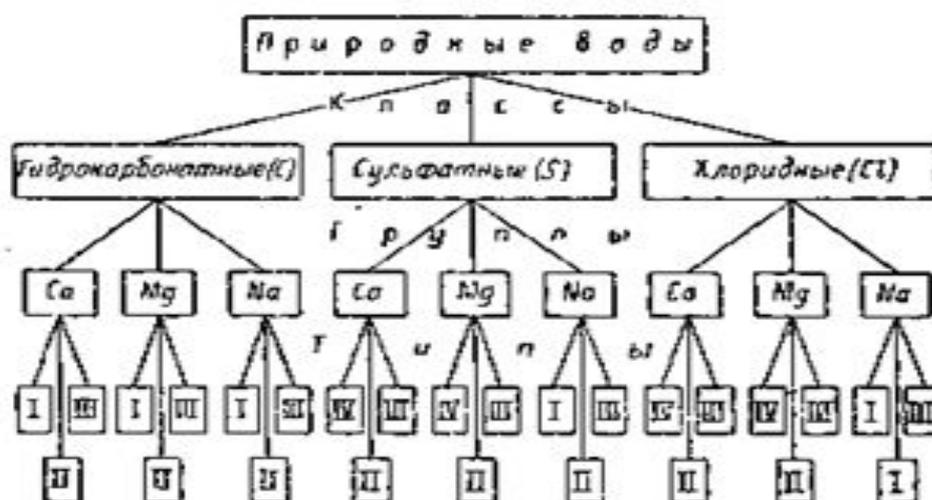


Рис.13. Классификация природных вод по химическому составу(по О.А.Алекину, 1970)

- I тип: воды маломинерализованные.
- II тип: воды умеренной минерализации.
- III тип: воды обычно высокоминерализованные.
- IV тип: воды кислые.

Для лучшей дифференциации состава вод, по предложению В.Посохова, III тип делится на два подтипа: IIIa характерен для морской воды; IIIб – характерен для глубинных рассолов.

Для краткого обозначения химического состава воды по классификации Алекина применяются индексы, в которых классы, группы и типы обозначаются определенными символами: класс – символом соответствующего аниона, группа – символом катиона, тип – римской цифрой. В индексе внизу указывается минерализация воды с точностью до целых единиц мг·экв.

По классификации О.А.Алекина, преобладающими считаются ионы с наибольшей концентрацией; за второй преобладающий ион принимается тот, содержание которого уступает первому в пределах 10% ·экв.

Оценка качества воды для питьевого и хозяйственного водоснабжения. Вода, используемая для хозяйственно-питьевого водоснабжения должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая». В ГОСТе даются предельные нормы для питьевой воды: 1) бактериальных показателей, 2) общих физических и химических показателей, 3) токсических веществ.

О санитарном состоянии питьевой воды судят по трем показателям: 1) количеству колоний, которые вырастают в 1 мг неразбавленной воды после помещения ее в питательную среду; 2) коли титру, т.е. по количеству воды в мл, в котором обнаруживается одна кишечная палочка; 3) колииндексу, т. е. по количеству кишечных палочек в 1л воды.

Основные требования, предъявляемые к воде, используемой для хозяйственно-питьевого водоснабжения, приведены ниже (по ГОСТ 2874-82 Плотникову Н.А., Сычеву К.И., 1976):

	<b>Показатели</b>	<b>Предельное содержание</b>
1	Мутность по стандартной шкале	Не >1,5
2	Цветность по платино-кобальтовой шкале	балл бруссы
3	Запах при 20°С	Не >2
4	Привкус при 20°С	Не >2
5	Активная реакция	6,5-8,5
6	Сухой остаток мг/л	До 1000
7	Общая жесткость мг-экв/л	Не >7

8	Хлориды мг/л	Не >350
9	Сульфаты мг/л	Не >500
10	Железомг/л	До 0,3
11	Марганецмг/л	До 0,1
12	Медь мг/л	До 1
13	Цинк мг/л	До 5
14	Остаточный алюминий мг/л	До 0,5
15	Свинец мг/л	До 0,1
16	Мышьяк мг/л	До 0,05
17	Фтор А) для 1 и 2 климатических районов мг/л Б) для 3 мг/л В) для 4 мг/л	До 1,5 До 1,2 До 0,05
18	Бериллий мг/л	До 0,0002
19	Молибден мг/л	До 0,5
20	Нитраты мг/л	До 10
21	Аммиак мг/л	До 2,0
22	Полиакриламид мг/л	До 2,0
23	Селен мг/л	До 0,001
24	Стронций мг/л	До 2
25	Уран природный 238 мг/л	До 1,7
26	Радий Бк	До 14,8
27	Стронций-90 Бк	До 0,005
28	Ртуть мг/л	До 4,44
29	Никель мг/л	До 1,0
30	Кобальт мг/л	До 1,0
31	Кадмий мг/л	До 0,01
32	Цианиды мг/л	До 0,1
33	Барий мг/л	До 4,0
34	Нафтеновые кислоты мг/л	До 0,3
35	Фенолы мг/л	До 0,001
36	Хром 6+ мг/л	До 0,1
37	Хром 3+ мг/л	До 0,5
38	Некоторые ПАВ мг/л	До 0,5

Некоторые показатели (пункты 28-38) не вошли в ГОСТ 2874-73, но они утверждены Министерством здравоохранения СССР 28 декабря 1973 г, [40].

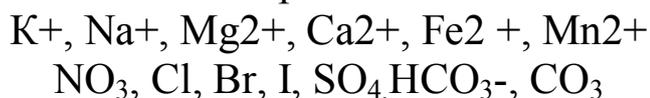
При отсутствии источника водоснабжения с пресной водой решается использовать воду с сухим остатком до 1500, мг/л при общей жесткости до 10 мг·эquiv/л. В каждом случае возможность использования таких вод для питьевого водоснабжения должно быть согласовано с органами: санитарно-эпидемиологической

Для производственного водоснабжения, орошения и обводнения могут быть использованы как пресные, так и солоноватые воды. Требования к качеству воды для этих целей устанавливают водопотребляющими или проектными, организациями.

### **6.3 Графические методы изображения химического состава вод**

Из большого разнообразия способов графического изображения химического состава воды в гидрогеологической практике наиболее употребительны прямоугольники солевого состава, треугольники катионного и анионного, составов, график-квадрат Н.И.Толстихина и комбинация двух квадратов и двух треугольников (по Посохову, 1975).

Прямоугольники солевого состава строятся для выяснения солевого состава воды и используются для изображения анализов. Прямоугольник состоит из трех вертикальных граф или полос. В левой графе помещают катионы (% экв), в правой – анионы. В средней полосе показывают состав и процентное содержание солей. Катионы и анионы на графике располагаются снизу вверх в последовательности, определяемой относительной реактивной силой:



Графики-треугольники Фере (рис.14) составляются отдельно для катионов и анионов, содержание которых дается в %·эquiv. В вершинах треугольников содержание ионов составляет 100% экв. Положение анализов определяется пересечением трех линий, параллельных основанию треугольников.

График-квадрат Н.И.Толстихина (рис.15) представляет собой квадрат, каждая сторона которого разделена на 10 равных частей – по 10% экв. По горизонтальным сторонам квадрата наносят количество катионов (% экв), по вертикальным – количество анионов. Для определения места воды в той или иной части квадрата Н.И.Толстихин предложил пользоваться номером воды. Квадрат разделен на 100

мелких квадратиков, каждому из которых присвоен порядковый номер. Положение анализа на квадрате отмечается точкой и определяется пересечением двух осей координат.

Если точка находится в верхнем правом углу квадрата, вода, как правило, относится к гидрокарбонатному кальциевому типу; если в левом верхнем углу – к гидрокарбонатному натриевому. В левом нижнем углу сосредоточены преимущественно хлоридные натриевые воды, а в правом нижнем – сульфатные кальциевые.

График-квадрат Н.И.Толстихина и треугольники Фере – удобные способы систематизации большого количества химических анализов вод. На рис.14, 15 показана обработка химанализов воды, приведенного в задаче 2.

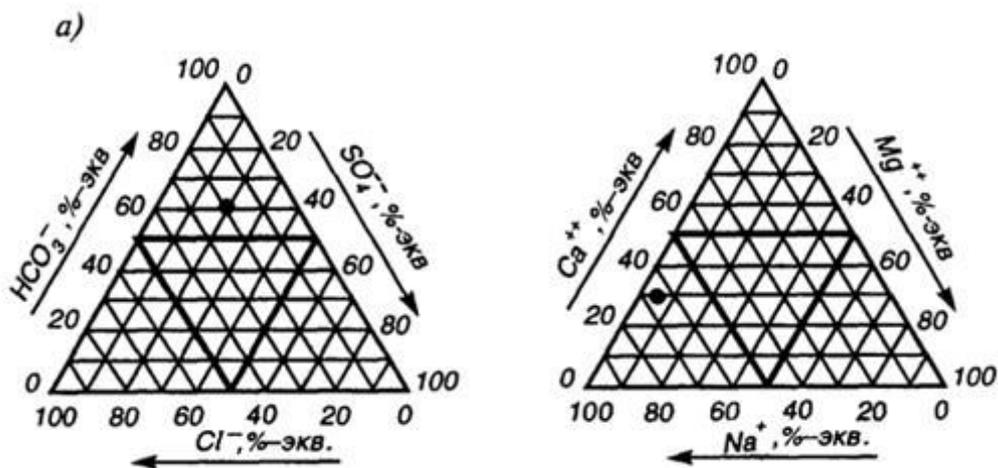


Рис 14. Графики-треугольники Фере.

	$Ca + Mg + Fe$										
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	
	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	
	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	
	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	
	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	
	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	
	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71	
	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	
	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91	
$SO_4 + Cl$											$HCO_3 + CO_3$
	$Na + K$										

Рис.15. График-квадрат Н.И.Толстихина

Комбинация двух треугольников и двух квадратов предложена Е.В.Посоховым для наглядного изображения результатов химического анализа вод применительно к классификации О.А.Алекина. При помощи такого графика можно изображать классы, группы и типы (за исключением четвертого, не укладывающегося в рамках классификации О.А.Алекина) вод.

Каждый результат химического анализа изображается тремя точками, причем точка на квадрате должна быть сопряжена с точками на треугольниках. На треугольниках показаны классы и группы, а на квадратах только типы. Для нахождения точки, определяющей тип воды, следует точки катионного и анионного состава той или иной воды спроектировать на соответствующий квадрат. Точка пересечения проекций укажет на принадлежность воды к определенному типу.

На нижний квадрат проектируются только точки вод, в химическом составе которых I и II типы. Точки воды в которых III тип, проектируются на верхний квадрат.

Каждый квадрат делится диагонально на два треугольника, причем в каждый треугольник квадрата попадают воды одного типа. Положение точки на квадрате показывает, в каких ассоциациях находятся ионы в природном растворе. В связи с этим квадраты разделены на отдельные четверти. Для отражения минерализации вод на графике имеется специальная шкала, которая видоизменяется в зависимости от того, воды каких градаций минерализации необходимо выделить. В качестве примера на график нанесены точки следующих составов вод: 1) гидрокарбонатная натриевая 1 типа; 2) сульфатно-натриевая 2 типа; 3) сульфатная кальциевая 2 типа; 4) хлоридная кальциево-натриевая типа 3б; 5) хлоридная кальциевая типа 3б. Шкала минерализации показывает, что минерализация вод составов 1,2,4 и 5 более 35г/л, а состава менее 1 г/л.

**Задача 2.** По данным табл.11. обработать химический анализ подземной воды.

1. Пересчитывать результаты анализа из ионной формы в г/л в миллиграмм – эквивалентную и процент – эквивалентную.

2. Определить виды жесткости.

3. Вычислить минерализацию воды, оценить степень минерализации воды.

Таблица 11

№	Физи- ческие свойства	Ак- тив- ная реак- ция	Су- хой оста- ток	Катионы			Анионы			Второстепенные компоненты	Количество
				Na, K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO		
1	Мут- ность, 2,5мг/л, запах 2 балла, T 18С	7,2	0,98	244	79	15,6	113	332	360	-	250
2	Без цве- та и за- паха, про- зрачная, T -11С	7,5		50,95	72,3	15,6	21	17,22	402	-	380
3	Без цве- та и за- паха T 14С	7,8	1,4	368,2	52,1	559	447,5	310	237,9	-	180
4	T 68С	-	85,2	7745	4168	632	51592	87	220	25	-
5	T 42С	4,6	91,6	29471	4649	12,2	55672	24,7	-	10	-
6	Без цве- та и за- паха T 10С	7,4	2,60	984,6	12	260,2	978,7	245,3	630,9	-	400
7	Без цве- та и за- паха T 14С	-	18,1	6512, 6	146,3	35,8	10708 ,9	118,1	451,4	-	-
8	Запах 1 балл, мут- ность 0,8 мг/л, T 12С	7,3	0,9	236,2	56,7	18,2	276,6	222,2	219,6	-	350
9	T 43С	7,1	33,5	11189	721,3	328,3	19289	7,0	317,3	22	-

4. Оценить воду по рН.

5. Выразить химический состав воды формулой М.Г.Курлова. Определить класс и группу воды, дать наименование воды по классификации С.А.Щукарева.

6. Выразить состав воды через индекс О.А.Алекина.

7. Обработать графически результаты химического состава воды по способу прямоугольника солевого состава, треугольников, квадрата Н.И.Толстихина.

8. Оценить пригодность воды для питья.

Пример выполнения задачи 2 по анализу 2 табл. 11.

1. Для пересчета результатов анализа из ионной формы (мг/л) воспользуемся табл. 5. Данные по пересчету заносим в таблицу 12.

Ионы	Пересчетный множитель	Содержание		
		мг/л	мг·экв/л	% мг·экв
Катионы: Na+K	0.04348	50,95	2,6	35
Ca	0.04990	72,30	3,6	48
Mg	0.08224	15,60	1,3	17
Анионы:	0.02820	21,0	7,5	100
Cl	0.02082	17,22	0,6	8
SQ <sub>4</sub>	0.01639	402,0	0,35	5
HCO <sub>3</sub>			6,55	87
Итого:			7,5	100

2. Общая жесткость равна сумме мг·экв/л ионов Ca и Mg  $3,5 + 1,3 = 4,9$  мг·экв/л. Карбонатная жесткость также равна 4,9 мг·экв/л, так как содержание иона HCO<sub>3</sub> превышает общую жесткость. Некарбонатная жесткость равна нулю. По общей жесткости вода относится к умеренно жесткой.

3. Минерализация воды согласно данным анализа равна сумме  $50,95 + 72,30 + 15,60 + 21,0 + 402,0 = 579,07$  мг/л. По степени минерализации вода относится к пресной.

4. По pH = 7,5 вода относится к щелочной.

5. Формула М.Г. Курлова имеет вид

$$M_{0,57} \frac{HCO_3 87 [Cl 8 SO_4 5]}{Ca 48 Na 35 [Mg 17]} T_{011} pH 7,5$$

6. По классификации С.А.Щукарева вода относится к четвертому классу и именуется гидрокарбонатной натриево-кальциевой.

7. По классификации О.А.Алекина класс воды – гидрокарбонатный, группа кальциевая, тип 1. Индекс воды Ca<sup>5</sup>, C<sub>10,6</sub>.

8. Графическая обработка результатов анализа показана на прямоугольнике солевого состава (см. рис.9), на двух треугольниках Фере (см. рис.14) и квадрате Н.И.Толстихина (см. рис.15).

9. Вода по общей жесткости, минерализации, содержанию ионов и количеству вполне пригодна для питья, так как все показатели находятся в пределах ГОСТ 2874-82.

Приложение 1, 2.

Приложение 1

**Стандартный перечень  
химических и микробиологических компонентов,  
определяемых в подземной воде**

№ п/п	Определяемый компонент	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3
<b>Обобщенные показатели</b>		
1	Водородный показатель pH	6-9 ед.
2	Общая минерализация (сухой остаток)	1500
3	Жесткость общая	7 ммоль/дм <sup>3</sup>
4	Окисляемость перманганатная	5
5	Нефтепродукты (суммарно)	0,1
6	Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	0,5
7	Фенольный индекс	0,25
<b>Общий химический состав</b>		
8	Цветность	20 <sup>0</sup>
9	Мутность	1,5
10	Вкус	2 балла
11	Запах	2 балла
12	Fe общее	0,3
13	NH <sub>4</sub> <sup>+1</sup>	2,6
14	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	45
15	NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	3
16	PO <sub>4</sub>	3,5
17	Ca <sup>2+</sup>	-
18	Mg <sup>2+</sup>	-
19	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	-
20	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	-
21	Cl <sup>-1</sup>	350
22	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	500
23	Na <sup>+1</sup>	200
24	K <sup>+1</sup>	-

<i>Микрокомпонентный состав</i>		
25	Алюминий (Al <sup>3+</sup> )	0,5
26	Барий (Ba <sup>2+</sup> )	0,1
27	Бериллий (Be <sup>2+</sup> )	0,0002
28	Бор (В, суммарно)	0,5
29	Кадмий (Cd, суммарно)	0,001
30	Марганец (Mn, суммарно)	0,1
31	Медь (Cu)	1,0
32	Молибден (Mo, суммарно)	0,25
33	Мышьяк (As, суммарно)	0,05
34	Никель (Ni, суммарно)	0,1
35	Ртуть (Hg, суммарно)	0,0005
36	Свинец (Pb)	0,03
37	Селен (Se, суммарно)	0,01
38	Стронций (Sr <sup>2+</sup> )	7,0
39	Фтор (F), для климатических районов: - I и II - III	1,5 1,2
40	Цинк (Zn <sup>2+</sup> )	5,0
<i>Микробиологические показатели</i>		
41	Общее микробное число (число образующих колоний бактерий в 1 мл)	не более 50
42	Термотолерантные колиформные бактерии (число бактерий в 100 мл)	Отсутствие
43	Общие колиформные бактерии (число бактерий в 100 мл)	Отсутствие

*Примечания:*

1. Перечень определяемых компонентов устанавливается индивидуально для каждого региона.

2. Помимо перечисленных, по рекомендации органов Госсанэпиднадзора или территориальных центров мониторинга геологической среды могут отбираться пробы воды на специфические показатели: радионуклиды, ядохимикаты, хром и др.

## Объем проб и их консервация

Вещество	Объем пробы, л	Консервант на 0,5 л пробы	Посуда
1	2	3	4
<b>Общий химический анализ</b>			
Сульфат-ион	1,5	не консервируется	Стекланные и полиэтиленовые бутылки
Гидрокарбонат-ион			
Хлор-ион			
Сухой остаток			
Жесткость общая			
Кальций			
Магний			
Карбонат-ион			
Окисляемость			
Водородный показатель рН			
Фтор	0,5	не консервируется	Полиэтиленовые бутылки
Калий, натрий	0,5	не консервируется	
Железо общее	0,5	3 мл соляной кислоты (1:1)	
Цветность	0,5	не консервируется	
Железо окисное	0,5	15 мл ацетатного буфера	Стекланные и полиэтиленовые бутылки
Железо закисное			
Нитрат-ион	0,5	2 мл хлороформа	
Нитрит-ион			
Аммоний-ион			
Мутность			
Алюминий, мышьяк	0,5	3 мл соляной кислоты (1:1)	Стекланные бутылки
Медь, цинк			
Бериллий	1,0		
Марганец	0,5	3 мл азотной кислоты (1:1)	Стекланные бутылки
Молибден			
Стронций			
Свинец			
Селен			
Ртуть	0,5	3 мл азотной кислоты (1:1) и 2,5 мл бихромата калия	Стекланные бутылки
Ортофосфаты		2 мл хлороформа	

<b>Органические вещества</b>			
Нефтепродукты	1,0	2 мл хлороформа	Стеклянные бутылки
СПАВ	0,5	2 мл хлороформа	
Фенолы	1,0	2 г гидрата окиси калия (натрия)	
<b>Ядохимикаты</b>	Перечень определяемых веществ, объем пробы и консервацию назначают в соответствии с применяемыми в районе ядохимикатами		
<b>Радионуклиды</b>	Объем пробы и консервацию назначает лаборатория-исполнитель		

## Глава 7. Грунтовые воды

*Грунтовые воды* – подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта, залегающего на первом выдержанном водоупорном пласте. Грунтовые воды характеризуются следующими особенностями:

1. 1. Область питания обычно совпадает с областью распространения.

2. 2. Основные источники питания – атмосферные поверхностные и конденсационные воды, а иногда и нижележащие напорные.

3. 3. В большинстве случаев эти воды безнапорные, т. е. поверхность грунтовых вод, сообщаясь с атмосферой, испытывает только атмосферное давление; она носит название *свободной поверхности*.

4. 4. Грунтовые воды гидравлически связаны с поверхностными водотоками и водоемами – реками, озерами, заболоченными понижениями.

5. 5. Режим грунтовых вод испытывает непосредственное влияние гидрометеорологических факторов и характеризуется сезонными колебаниями уровня, дебита и химического состава.

При изучении грунтовых вод для водоснабжения, мелиорации, строительства различных сооружений и других целей большое внимание уделяется изучению поверхности грунтовых вод. Форма поверхности грунтовых вод определяется водопроницаемостью пород, условиями питания водоносного горизонта, конфигурацией берегов рек, к которым стекают грунтовые воды, понижением водоупора, мощностью водоносного пласта и т.д. О форме их поверхности можно судить по карте гидроизогипс. Гидроизогипсами называют линии,

соединяющие точки с одинаковыми отметками уровней грунтовых вод.

По карте гидроизогипс решаются важные практические задачи: проектирование водоснабжения на базе грунтовых вод, разработка осушительных мероприятий, выбор площадок под промышленные или гражданские сооружения и др.

### 7.1 Построение карт гидроизогипс и анализ карт

Для построения карты гидроизогипс в ряде водопунктов на площади распространения водоносного горизонта устанавливают путем непосредственного измерения глубины залегания поверхности грунтовых вод. В качестве водопунктов могут быть использованы скважины, шурфы, колодцы, источники и водомерные посты на реках. Уровни замеряют специальными приборами.

Так как уровень грунтовых вод постоянно изменяется под влиянием различных природных и искусственных факторов, то карту гидроизогипс можно составлять только по результатам одновременных или близких по времени (один-два дня) замеров. Если по скважинам участка проводились длительные наблюдения за уровнем грунтовых вод, можно составить несколько карт гидроизогипс по сезонам года (в межень, паводок и др).

Карты гидроизогипс составляют в масштабах от 1:10 000 до 1:200 000 в зависимости от характера и стадии гидрогеологических исследований. Сечение гидроизогипс выбирают в зависимости от принятого масштаба карты, густоты пунктов наблюдений за уровнем грунтовых вод, уклона их поверхности. Обычно берут сечения 0.25, 0.5, 1, 2 и 5. Полученные при замерах глубины залегания уровня грунтовых вод пересчитывают на абсолютные или относительные (реже) отметки по формуле

$$H_g = H_3 - h \quad (42a)$$

Где  $H_g$  – абсолютная отметка уровня воды в данном пункте;  
 $H_3$  – абсолютная отметка поверхности земли в том же пункте;  
 $h$  – глубина залегания воды.

Вычисленные отметки уровня грунтовых вод наносят на топографическую основу и методом интерполяции строят гидроизогипсы. Наиболее удобно интерполировать отметки по способу треугольников: все точки, по которым производились замеры, соединяют линиями, образующими треугольниками.

При интерполяции этим методом должны соблюдаться следующие правила:

1. Линии, образующие треугольники, необходимо проводить так, чтобы длинная сторона треугольника была перпендикулярна к направлению падения потока.

2. Не интерполировать точки, расположенные по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов. При наличии таких водотоков необходимо определять отметки урезов рек по водомерным постам и использовать их при интерполяции как точки выхода грунтовых вод на урезе реки (предварительно должен быть проанализирован характер дренирования грунтовых вод).

3. Не следует проводить интерполяцию между группами скважин, расположенных далеко друг от друга. Лучше провести интерполяцию для каждой группы скважин отдельно, иначе можно исказить действительную форму поверхности грунтового потока.

При интерполяции удобно пользоваться палеткой на кальке в виде масштабной сетки, состоящей 1-2 мм (иногда 2-5 мм). С помощью масштабной сетки пропорционально делят отрезки, соединяющие точки, отметки уровня которых подлежат интерполяции. После интерполяции соединяют точки с одинаковыми отметками; эти кривые и будут *гидроизогипсами*. Порядок интерполяции при помощи масштабной сетки и наведения гидроизогипс по способу треугольников показан на рис. 16, 17.

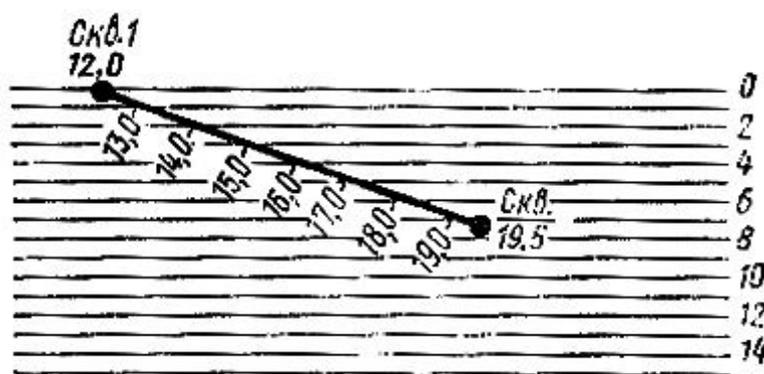


Рис. 16. Схема интерполяции при помощи масштабной сетки

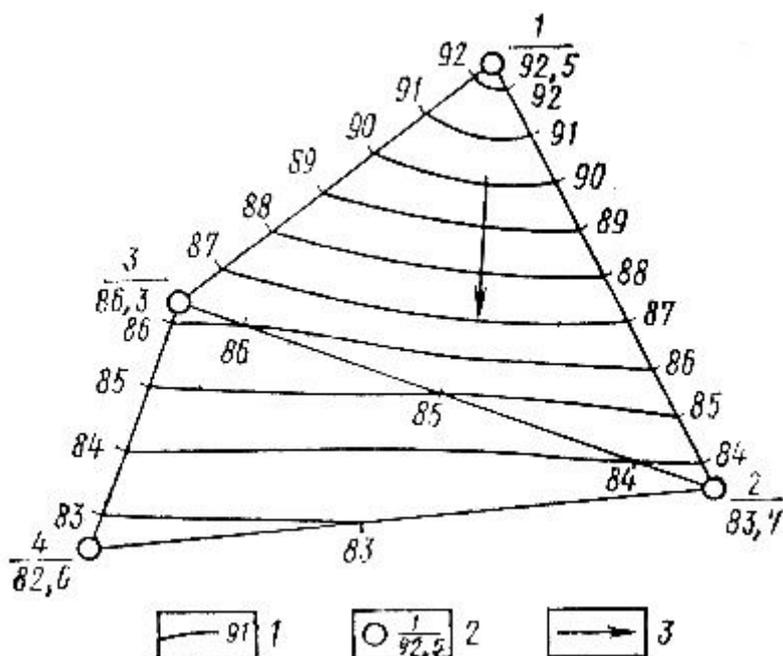


Рис.17. Схема интерполяции методом треугольников: 1 – гидроизогипса и ее отметка, 2 – скважина, ее номер и абсолютная отметка уровня, 3 – направление движения грунтовых вод

Кроме карт гидроизогипс для целей проектирования и строительства могут составляться карты глубин залегания поверхности грунтовых вод. В зависимости от требуемой точности глубину залегания уровня грунтовых вод показывают гидроизогипсами через определенные интервалы глубин – 2–5, 5–10, чаще через 0,5 м (до глубины 10 м), которые соответствуют некоторым общим требованиям различных отраслей народного хозяйства (заложение фундаментов, мелиорация земель и др.)

*Изобатами* называются линии, соединяющие точки с одинаковыми глубинами залегания грунтовых вод. Для получения сведений, необходимых для построения гидроизогипс, обычно бурят большое число специальных скважин, равномерно расположенных по всей территории. Карты изобат, так же как и гидроизогипс, строят методом интерполяции глубин залегания уровня грунтовых вод. Чаще всего для решения различных практических задач на одной и той же топографической основе составляют карту гидроизогипс и глубин залегания поверхности грунтовых вод и карту изолиний подстилающего водоупора.

## 7.2 Анализ карт гидроизогипс

Анализ карт гидроизогипс позволяет составить краткую гидрогеологическую характеристику участка. По карте гидроизогипс можно определять: 1) направление движения грунтовых вод на заданном участке; 2) глубину залегания грунтовых вод в любой точке на любом участке; 3) уклон грунтового потока; 4) характер взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными; 5) условия питания и разгрузки грунтовых вод.

*Направление движения грунтовых вод* берут по нормали к двум смежным гидроизогипсам. Движение воды направлено от более высоких отметок уровня к более низким (рис.17).

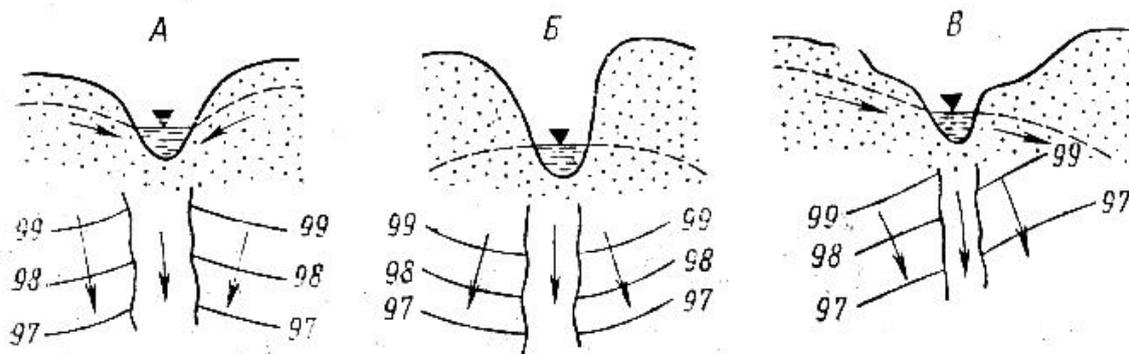


Рис.18. Схема связи грунтовых вод с поверхностными: А – река дренирует грунтовые воды, Б – река питает грунтовые воды, В – река питает и дренирует грунтовые воды

*Глубину залегания грунтовых вод* в любом заданном пункте определяют по разности отметок горизонтали поверхности и гидроизогипсы. *Уклон потока подземных вод* для любого участка вычисляют делением сечения карты гидроизогипс на кратчайшее расстояние между двумя гидроизогипсами, взятое в масштабе карты.

*Связь грунтовых вод с поверхностными* устанавливают по характеру сопряжения гидроизогипс с рекой. В природе наблюдается два основных случая: первый – грунтовые воды питают поверхностные (рис.18, А), второй – поверхностные воды питают грунтовые (рис. 18, Б). Кроме того, реки могут одновременно питать и дренировать грунтовые воды (рис.18, В).

По соотношения и характеру изменения гидроизогипс можно получить представление о потоке. Участки замкнутых гидроизогипс с

высокими отметками указывают на положение водоразделов грунтовых вод, где условия питания наиболее благоприятны. Зоны с нулевой глубиной до воды указывают на участки выхода подземных вод на поверхность земли.

Если на пути движения потока сильно водопроницаемые породы сменяются слабо водопроницаемыми, гидроизогипсы сгущаются, так как поверхность грунтовых вод приобретает большой уклон. При поступлении грунтовых вод из слабо водопроницаемого в сильно водопроницаемый пласт гидроизогипсы располагаются реже. Сгущение гидроизогипс может указывать также на уменьшение мощности водоносного пласта и на дренирующее влияние рек и озер.

**Задача 3.** Построить карту гидроизогипс на топографической основе заданного масштаба (рис.19), используя данные табл.13. Необходимо:

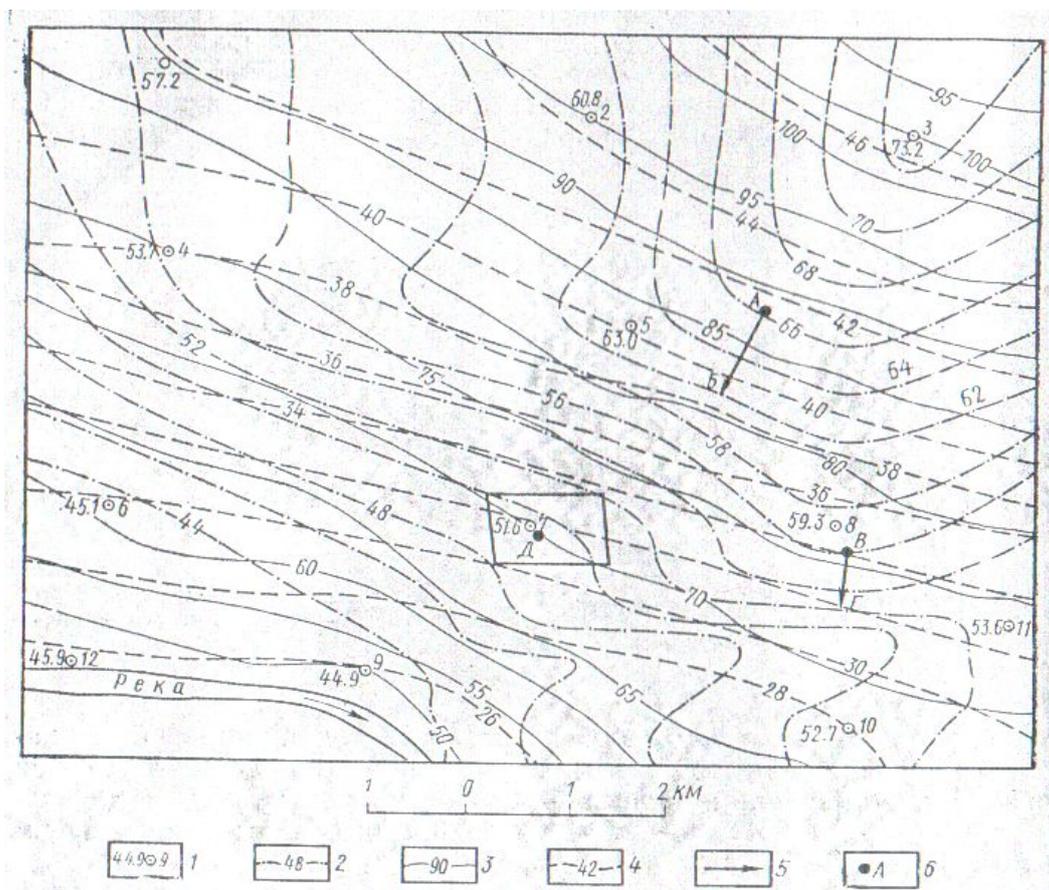


Рис.19. Карта гидроизогипс: 1 – скважина (справа номер, слева – абсолютная отметка уровня), 2 – гидроизогипсы, 3 – горизонталы поверхности, 4 – изогипсы водоупора, 5 – направление движения грунтовых вод, 6 – произвольно взятые точки для определения уклона и глубины до воды.

1. Определить направление движения грунтовых вод, показать его стрелкой на карте.
2. На характерных участках определить гидравлический уклон потока.
3. Охарактеризовать условия питания и разгрузки грунтовых вод.
4. Охарактеризовать характер связи между грунтовыми и поверхностными водами реки.
5. Определить на участке проектируемого поселка (в центре – точка Д) глубину залегания и мощность грунтовых вод.
6. Рекомендовать места расположения скважин или колодцев для водоснабжения поселка.

**Решение:** 1. Для построения карты вычислим абсолютную отметку уровня воды по каждому водопункту и результаты занесем в графу 5 табл.13.

2. Вычислим мощность водоносного горизонта в каждом водопункте, результаты занесем в графу 6 табл.13.

3. На топографической основе около каждого водопункта проставим справа абсолютные отметки уровня воды.

4. Интерполируем абсолютные отметки уровня (сечение гидроизогипс 2 м) и проводим гидроизогипсы.

5. Проанализировав построение гидроизогипс, устанавливаем, что движение потока грунтовых вод происходит с северо-востока на юго-запад.

6. Гидравлический уклон потока определяем на участках А – Б и В – Г. Он равен разности отметок уровня воды в этих точках, деленной на расстояние между этими точками. Уклон на участке

$$A - B = \frac{66 - 62}{1000} = 0,004, \text{ на участке } B - П = \frac{56 - 52}{500} = 0,008.$$

Таблица 13

№ водо-пункта	Дано			Определить	
	абсолютная отметка устья, м	уровень воды, м	абсолютная отметка устья, м	абсолютная отметка уровня, м	мощность водоносного горизонта
1	84,5	27,5	41,7	57,0	15,3
2	95,0	34,2	44,3	60,8	16,5
3	100,0	26,8	46,5	73,2	26,7
4	75,0	21,3	38	53,7	15,7
5	83,0	20,0	40	63,0	23,0
6	61,5	15,4	29,9	45,1	15,2

7	70,0	18,4	32	51,6	19,60
8	77,0	17,7	34,8	59,3	24,50
9	50,0	5,1	25,9	44,9	19,0
10	67,5	14,8	28,1	52,70	24,60
11	74,0	20,4	33,0	53,60	20,60
12	48,0	2,1	25,7	45,9	20,1

По карте гидроизогипс устанавливаем:

1. Водоносный горизонт получает питание по всей площади пространства, областью разгрузки является река.

2. Грунтовые воды питают поверхностные воды реки.

3. Глубина залегания уровня воды в центре поселка 18,4 м, мощность грунтовых вод 19,6 м.

4. Колодцы или скважины для водоснабжения поселка рациональнее расположить в северо-западной части поселка, так как в этом случае водозабор будет находиться выше по потоку грунтовых вод относительно поселка, что исключает загрязнение грунтовых вод с поверхности.

## Глава 8. Артезианские воды

Подземные воды, залегающие между двумя водоупорами и обладающие напором, называются *артезианскими*. Они заполняют водоносный пласт на всю его мощность. При вскрытии таких водоносных пластов буровыми скважинами уровень воды в них поднимается выше кровли водоносного пласта. Этот уровень называется *напорным* или *пьезометрическим*. Иногда уровень воды в скважинах, вскрывших водоносный пласт, поднимается выше поверхности земли, и воды из них изливаются на поверхность.

Воды артезианских бассейнов приурочены к различным нарушениям сплошности пород чехла и фундамента массива, причем очень часто между водами этих структурных единиц устанавливается гидравлическая связь.

Питание вод фундамента происходит за счет перелива из смежных геологических структур и перетекания из водоносных пород чехла. Слоистые осадочные отложения чехла залегают спокойно или слабодислоцированы, что приводит к образованию гидрогеологических «окон», связывающих между собой водоносные горизонты, способствующих формированию обособленных бассейнов или обеспечивающих питание или разгрузку водоносных горизонтов.

Физико-географические факторы оказывают незначительное влияние на режим артезианских вод: пьезометрический уровень мало подвержен месячным и сезонным колебаниям; температура их с глубиной возрастает.

В областях питания и разгрузки артезианские воды тесно связаны с грунтовыми водами; так же как и грунтовые, артезианские воды обладают климатической зональностью, но в более смягченной форме. Зональность отличает температурный режим, химический состав, изменения условий водообмена. В артезианских бассейнах четко выражена структурная гидрогеологическая зональность, обусловленная строением и развитием бассейна во времени. Формирование зональности солевого состава протекает в тесной зависимости с последовательностью поднятий и погружений, испытанных данным бассейном.

Артезианским водам присуща вертикальная зональность, заключающаяся в постепенном увеличении минерализации и изменении химического типа воды с глубиной; примерно до глубин 100-600 м залегают слабоминерализованные пресные воды, на больших глубинах – высокоминерализованные напорные воды (рассолы). Примерами крупных артезианских бассейнов в пределах России служат Московский, Днепровско-Донецкий, Приазовский, Прибалтийский, Волго-Камский, Западно-Сибирский, Тунгусский, Якутский. Артезианским бассейнам противопоставляются подземные воды складчатых областей. Режим артезианских вод в естественных условиях отличается большее, по сравнению с режимом безнапорных вод, постоянство.

Артезианские водоносные горизонты обладают упругим режимом, т. е. на поведении горизонта в процессе его эксплуатации существенно сказывается упругость пород и насыщающих его жидкостей. Однако интенсивная инженерная деятельность, в частности, разработка месторождений полезных ископаемых, подземное строительство, отбор подземных вод резко изменяют сложившееся равновесное состояние.

Артезианские воды приурочены к мульдообразным структурам, обширным впадинам и прогибам. Значительные по площади структуры, в которых один, два или несколько напорных горизонтов и комплексов, называют *артезианскими бассейнами*. В каждом артезианском бассейне выделяют: а) область питания, б) область напора и в) область разгрузки (рис.20).

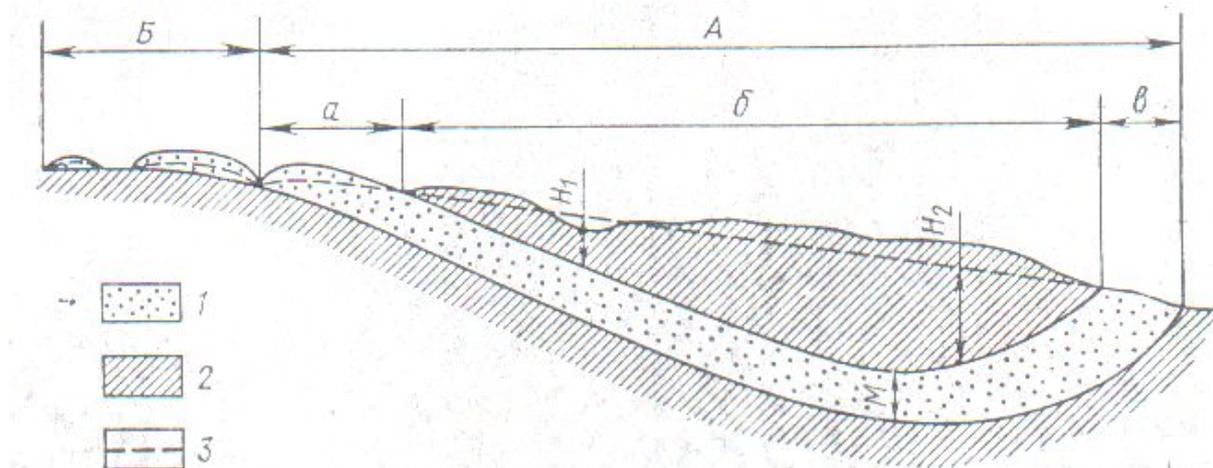


Рис.20. Схема артезианского бассейна (по А.М.Овчинникову):

А – пределы распространения артезианских вод, а – область питания (и частично – стока), б – область напора, в – область разгрузки, Б – пределы распространения грунтовых вод,  $H_1$  – напорный уровень выше поверхности земли,  $H_2$  – напорный уровень ниже поверхности земли, М – мощность артезианского горизонта, 1 – водоносный пласт, 2 – водоупорные породы, 3 – уровень воды.

Область питания – площадь выхода водопроницаемых горных пород, участвующих в строении артезианского бассейна, на дневную поверхность. Располагается эта область на высоких отметках. Подземные воды области питания не обладают напором, имеют непосредственную связь с атмосферой, часто дренируются местной гидрографической сетью.

Область напора – площадь развития артезианского бассейна, в пределах которой пьезометрический уровень располагается выше кровли водоносного пласта. Расстояние по вертикали от кровли водоносного горизонта до пьезометрического уровня называется *напором*. В зависимости от отметок поверхности земли по отношению к пьезометрической линии в отдельных пунктах напор может быть положительным, если уровень воды выше поверхности земли, или отрицательным, если уровень воды ниже поверхности земли.

Область разгрузки – область выхода напорных вод на поверхность в виде восходящих источников. Разгрузка артезианских вод может происходить по долинам рек и оврагов, по зонам разломов, в аллювиальные отложения, в русла рек или переливом из одного бассейна в другой.

В разрезе артезианского бассейна обычно несколько напорных водоносных горизонтов и комплексов, каждый из которых при отсутствии гидравлической связи характеризуется своей пьезометрической

поверхностью, определяемой уровнями воды в областях питания и разгрузки данного водоносного горизонта или комплекса.

Кроме артезианских бассейнов напорные воды встречаются в так называемых артезианских склонах – ассиметричных бассейнах с моноклинально залегающими или выклинивающими водоносными горизонтами (рис. 21). В артезианском склоне области питания и разгрузки находятся рядом, на границе областей питания могут выходить как восходящие, так и нисходящие источники.

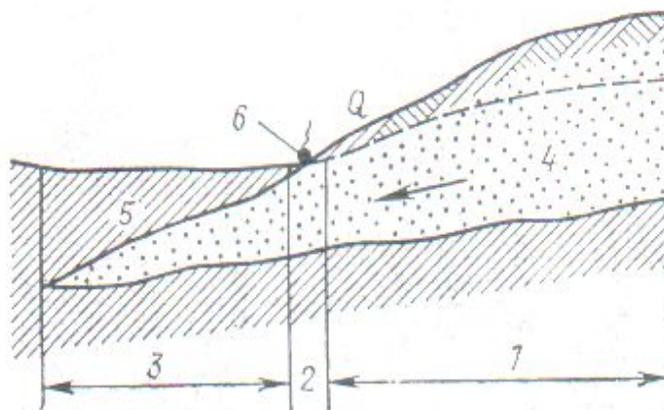


Рис.21. Схема артезианского склона: 1 – область питания артезианского склона, 2 – область разгрузки, 3 – область напора, 4 – водоносная порода, 5 – водоупорная порода, 6 – источники нисходящие и восходящие.

Распределение пьезометрических уровней на площади распространения артезианских вод определяется соотношением их отметок в области питания и разгрузки. Пьезометрическая поверхность не является реальной поверхностью воды, пьезометрический уровень устанавливается только в скважинах, вскрывших артезианский водоносный пласт. На тех участках, где отсутствуют скважины, пьезометрический уровень можно установить по картам гидроизопъез.

*Гидроизопъезами (пьезоизогипсами)* называются линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками пьезометрического уровня. Совокупность таких линий образует *карту гидроизопъез*.

### 8.1 Построение карт гидроизопъез

Для построения карт гидроизопъез необходимо располагать данными о глубине залегания пьезометрического уровня в скважинах, колодцах и других горных выработках, необходимо иметь абсолютные отметки их устьев. Кроме водопунктов, расположенных в зоне

напора артезианских вод, необходимо использовать отметки источников, урезов рек, озер, болот, расположенных в зоне напора артезианских вод и имеющих гидравлическую связь с подземными водами. По имеющимся водопунктам вычисляются абсолютные (реже относительные) отметки пьезометрического уровня, затем интерполируются по способу, изложенному в главе 4.

Карты гидроизопъез строятся в различных масштабах, чаще всего с использованием топографической основы масштабов 1:200 000 – 1:25 000, реже 1:10 000. Выбор масштаба для построения карт гидроизопъез зависит от назначения работ и стадии гидрогеологических исследований. Сечение гидроизопъез выбирается таким же, как и при построении карты гидроизогипс. Карты гидроизопъез могут совмещаться с картами изолиний кровли и подошвы водоносного пласта.

При построении гидроизопъез необходимо учитывать некоторые особенности, связанные с условиями залегания артезианских вод. Водоносные горизонты артезианских вод изолированы сверху от влияния метеорологических факторов толщей водоупорных пород, поэтому пьезометрические уровни не испытывают заметных колебаний во времени. Следовательно, при построении карт гидроизопъез можно использовать разновременные замеры уровней воды по водопунктам. Артезианские воды не имеют обычно прямой гидравлической связи с водами поверхностных водотоков и водоемов, и это обстоятельство дает возможность интерполировать между собой точки, расположенные на разных склонах речных долин и оврагов. Карты гидроизопъез должны сопровождаться гидрогеологическими разрезами, построенными по данным бурения скважин. На разрезах показывают стратиграфические границы, литологический состав пород, отметки пьезометрического уровня, высоту напора и другие данные.

## **8.2 Анализ карт гидроизопъез**

Карта гидроизопъез отражает форму пьезометрической поверхности артезианских вод, поэтому по такой карте можно определить важные гидрогеологические показатели водоносного пласта и охарактеризовать основные особенности их строения.

Форма пьезометрической поверхности во многом определяется водопроницаемостью пород и мощностью водоносного пласта. Теоретически в однородных по водопроницаемости пластах постоянной мощности пьезометрическая поверхность должна иметь вид плоско-

сти (в сечении – прямая линия), а гидроизопъезы – вид прямых, расположенных друг от друга на одинаковом расстоянии (рис.22). В действительности вследствие фильтрации воды через кровлю и подошву пласта и проявления упругих сил в воде и в водоносной породе пьезометрическая поверхность имеет изогнутый вид.

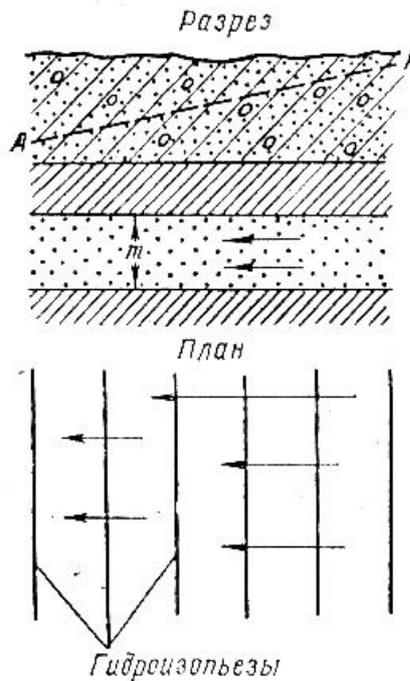


Рис. 22. Пьезометрическая поверхность AA неоднородного по водопроницаемости напорного водоносного горизонта постоянной мощности и положение гидроизопъез;  $m$  – мощность водоносного горизонта.

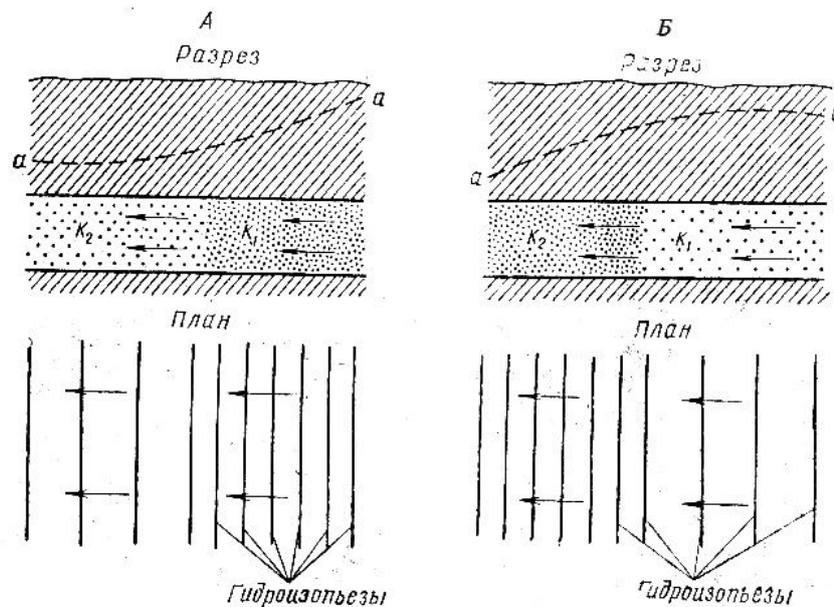


Рис.23. Изменение формы пьезометрической поверхности  $aa$  водоносного пласта при увеличении (А) и при уменьшении (Б) водопроницаемости пород.

$K_1, K_2$  – коэффициенты водопроницаемости водовмещающих пород.

По сгущению и разрежению гидроизопьез судят об изменении мощности водоносного горизонта или водопроницаемости пород. Если водо-проницаемость пород увеличивается вниз по потоку, пьезометрическая поверхность выхолаживается – гидроизопьезы разлеживаются (рис.23,А;  $K_1 > K_2$ ). При уменьшении водопроницаемости пьезометрическая поверхность становится круче, а гидроизопьезы сгущаются (рис.23,Б;  $K_1 < K_2$ ). Если мощность  $m$  водоносного пласта увеличивается по потоку, пьезометрическая кривая выхолаживается (рис.24,А), а при уменьшении мощности она становится круче (рис. 24,Б).

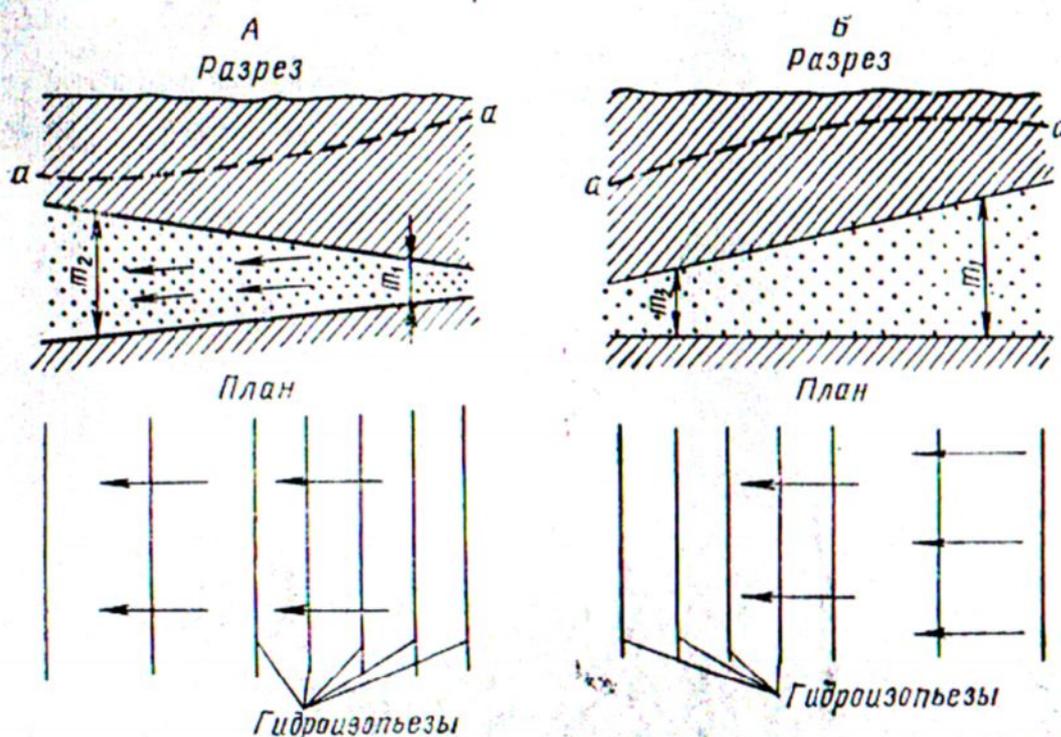


Рис.24. Изменение формы пьезометрической поверхности  $a$  водоносного пласта при увеличении (А) и при уменьшении (Б) мощности  $m$  его вниз по потоку.

По карте гидроизопьез можно судить о связи напорных вод с поверхностными водотоками и водоемами. Если русло реки врезано в водоносный горизонт, связь осуществляется непосредственно: напорные воды стекают в реку (рис.25). Гидроизопьезы вблизи реки изменяют свою форму, «упираясь» в реку, в пьезометрической поверхности образуется понижение – депрессия. При затрудненной гидравлической связи напорного водоносного пласта пьезометрическая по-

верхность вблизи реки имеет слабоизогнутый вид. Отметки гидроизопьез значительно выше отметок уровня воды в реке и пересекают ее (рис. 26).

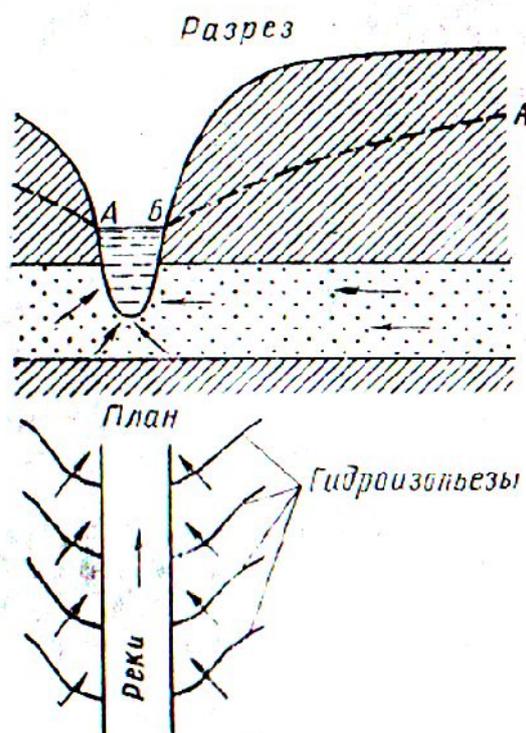


Рис.25. Питание реки напорными водами при врезе русла реки в водоносный пласт; АА – пьезометрическая поверхность.

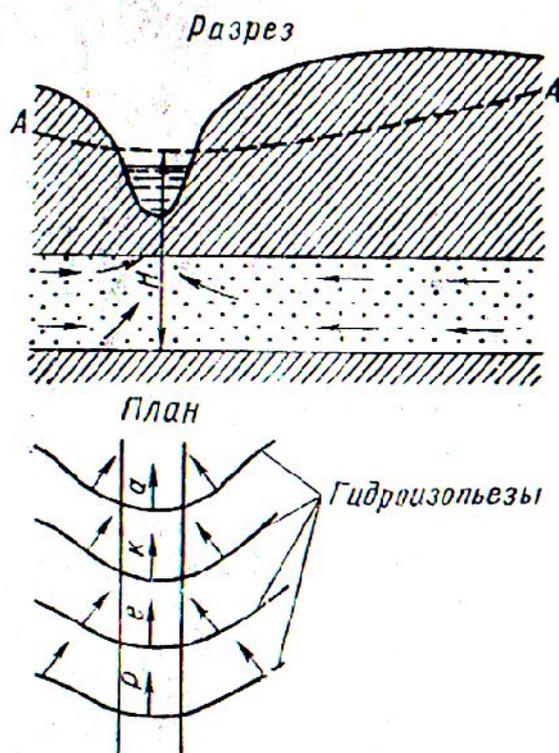


Рис.26. Питание реки напорными водами через водопроницаемую кровлю; АА – пьезометрическая поверхность.

По карте гидроизопьез можно также решить и другие вопросы:

1. Определить направление движения напорных вод на заданном участке проведением нормали к двум смежным гидроизопьезам; поток направлен в сторону меньшей из них.

2. Вычислить уклон пьезометрической поверхности на заданном участке, разделив разницу напоров смежных гидроизопьез в двух точках, взятых по направлению движения потока, на расстояние между ними в масштабе карты.

3. Выяснить глубину до воды или отметку уровня воды в любой заданной точке. Глубина до установившегося уровня при вскрытии артезианского потока скважиной, равна разности между отметками поверхности земли и пьезометрического уровня.

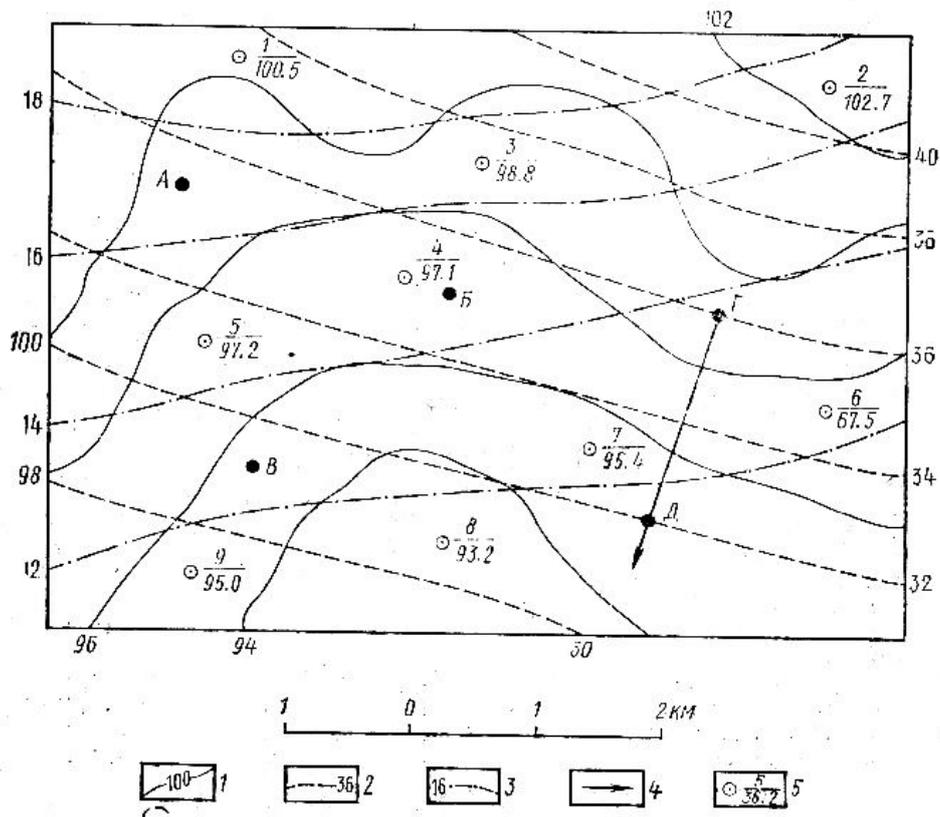


Рис. 27. Карта гидроизопьез (пример): 1 – горизонтали поверхности, 2 – гидроизопьезы, 3 – изогипсы кровли водоносного горизонта, 4 – направление движения артезианских вод, 5 – скважина (в числителе номер скважины, в знаменателе отметка пьезометрического уровня).

4. Определить для любой точки высоту напора воды над кровлей водоносного пласта, равную разности отметок пьезометрического уровня и кровли водоносного пласта.

5. Вычислить мощность водоносного пласта по разности отметок его кровли и подошвы.

6. Выделить участки, где отметки пьезометрического уровня превышают отметки поверхности земли. Здесь самоизлив. Из скважин, пройденных на таких участках, воды изливается на поверхность.

**Задача 4.** По имеющейся карте гидроизопьез (рис. 25) определить в точках А, Б, В следующие показатели: абсолютные отметки поверхности земли, пьезометрического уровня, кровли водоносного горизонта, глубину залегания водоносного горизонта, глубину установившегося уровня и высоту напора. Полученные данные занести в табл. 14. На карте стрелкой показать направление движения напорных вод и вычислить пьезометрический уклон на участке Г – Д.

Таблица 14

Показатели, м	А	Б	В
1. Абсолютная отметка поверхности земли	99,4	97,0	95,2
2. Абсолютная отметка пьезометрического уровня	33,5	35,1	31,2
3. Абсолютная отметка кровли водоносного горизонта	17,1	14,9	12,9
4. Глубина залегания водоносного горизонта	82,3	82,1	82,3
5. Глубина установившегося уровня	65,9	61,9	64,0
6. Высота напора	16,4	20,2	18,3

Движение подземных вод направлено с северо-востока на юго-запад. Пьезометрический уклон на участке Г – Д

$$I = \frac{36 - 32}{1750} = 0,0023$$

## Глава 9. Трещинные воды

В зависимости от характера нарушения сплошности горной породы подземные воды разделяют на пластовые и трещинно-жильные. В раздельно-зернистых и нецементированных песчано-глинистых породах выделяют обширный класс пластовых поровых вод, имеющих повсеместное распространение в четвертичных отложениях, а также в различных страти-графических горизонтах от кайнозоя до протерозоя в платформенных областях.

Возникновение трещиноватой структуры в осадочных породах позволяет выделить класс трещинно-поровых вод, имеющих ограниченное распространение. К осадочным и эффузивным породам приурочены пластовые порово-трещинные подземные воды, имеющие распространение в средней части разреза осадочного чехла платформ и вулканогенных бассейнов. Преобладание трещины как основного пути фильтрации подземных вод в толще пород позволяет выделить класс пластовых трещинных вод. Воды этого класса распространены в осадочных и вулканогенных породах, отличающихся слоистой текстурой и трещиноватостью. Водоносность таких пород убывает с увеличением глубины залегания.

Выделение трещинно-жильного типа подземных вод связано с генезисом трещинной пустотности горных пород, к основным видам которой относят литогенетическую, тектоническую и экзогенную трещиноватость.

Литогенетическая трещиноватость возникает при остывании магматических пород (контракционная трещиноватость), метаморфизме (метаморфогенная трещиноватость), эпигенезе осадков (диагенетическая трещиноватость).

Тектоническая трещиноватость образуется при складкообразовании (соскладчатая трещиноватость) и дизъюнктивных нарушениях залегания горных пород.

Экзогенная трещиноватость развивается в процессе выветривания горной породы, при оползневых деформациях, обвалах, провалах сводов карстовых полостей.

В твердых и затвердевших глинистых горных породах трещины образуют своеобразную пространственную решетку трещиноватости, составленную из трещин, параллельных между собой или же распределенных в объеме породы более или менее хаотично. Первые из них характерны для трещин тектонического, метаморфогенного и отчасти литогенетического происхождения, вторые – для трещин экзогенного происхождения.

В соответствии с приведенной классификацией трещиноватости пород, трещинно-жильные воды разделяют на регионально-трещинные воды зон выветривания, литогенетической и тектонической трещиноватости и локально-трещинные воды зон тектонических нарушений. Трещины выветривания образуются в твердых горных породах всех генетических типов. Глубина нарушений сплошности пород определяется мощностью зоны выветривания, которая, в свою очередь, зависит от возраста, литологических характеристик, текстурно-структурных особенностей пород, геологического развития региона и физико-географических факторов. Эта форма трещиноватости вторична и развивается на фоне первичных (литогенетической или тектонической) форм трещиноватости. Степень обводнения зоны выветривания зависит от типа горных пород, составляющих по обводненности ряды в убывающем порядке: карбонатные породы – кайнотипные эффузивы – интрузивы – терригенные породы – метаморфические породы.

Характер распределения литогенетической и тектонической трещиноватости зависит от геостатического давления, состава, степени уплотнения и физико-механических свойств горных пород. Связанные с этим видом трещиноватости пород трещинно-жильные породы также встречаются во всех генетических типах – магматических, метаморфических и осадочных. В гидрогеологических массивах тре-

щинно-жильные воды приурочены к фундаменту структуры и размещаются в изверженных, метаморфических и в разной степени метаморфизованных, уплотненных, смятых в складки, осадочных породах. Примерная схема размещения трещинно-жильных вод в гидрогеологических массивах приведена на рис. 26. В артезианских бассейнах трещинные воды приурочены, в основном, к фундаменту структуры и, при наличии тектонических разломов, к ее чехлу. Размещаются воды в изверженных и эффузивно-туфогенных толщах. В вулканогенных бассейнах трещинно-жильные воды приурочены к верхнему этажу гидрогеологического разреза, представленному вулканогенному образованиями. Наличие разломов обуславливает тесную гидравлическую связь между подземными пластовыми водами основания гидрогеологической структуры и трещинными водами ее верхнего вулканогенного этажа.

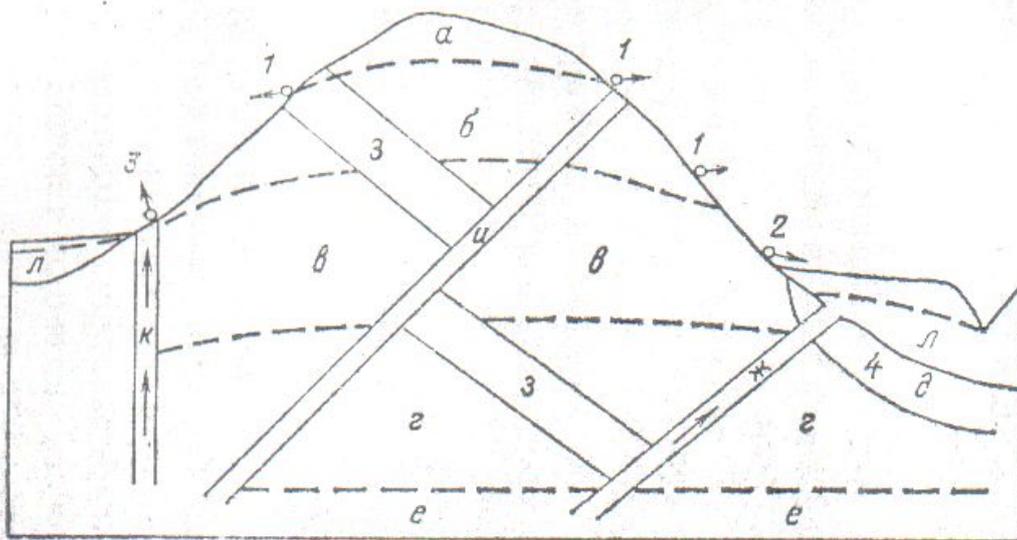


Рис.28. Типы подземных вод в гидрогеологических массивах (по Н.И. Толстихину и В.А. Кирюхину):

*А-г* – зоны подземных вод, (*а*-аэрации нисходящего сезонного движения, *б* – сезонных колебаний уровня грунтовых вод, *в*-постоянного насыщения трещинных грунтовых вод, *г*-трещинно-напорных региональной трещиноватости); *д-л* – типы вод (*д*-трещинно-напорные погребенной зоны трещин выветривания, *е*-трещинно-напорные зоны затухания трещин, *ж* – трещинно-жильные тектонических разломов, *з* – дайковые, *и* – рудных и нерудных жил, *к* – контактов, *л* – грунтовые аллювиальных отложений).

1-3 – источники (1-сезонные нисходящие, 2 – постоянные нисходящие, 3 – постоянные восходящие); 4 – перелив трещинно-жильных восходящих вод в аллювий. Стрелками показано направление движения вод.

Локально-трещинные воды в зависимости от характера геологического нарушения пород гидрогеологической структуры разделяют на воды тектонических разломов, интрузивных контактов и воды жильных образований. Обводненность зон тектонических нарушений зависит от морфологии, возраста и степени раскрытия тектонического разлома и достигает наибольших значений на глубинах 300-500 м. Пониженную обводненность имеют зоны распространения вод интрузивных контактов и жильных образований, мощность которых измеряется мерами, а протяженность может достигать сотен метров и даже нескольких километров. Зона обводнения разбита трещинами на ряд участков с различной проницаемостью.

Трещинные воды перечисленных генетических типов по гидродинамическому состоянию могут быть как напорными, так и безнапорными, степень минерализации изменяется от пресных вод до рассолов, химический состав – гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный.

Наличие трещинных вод приводит к снижению устойчивости твердых горных пород за счет физического и химического взаимодействия, развития давления в трещинах, влияния воды на межзерновые связи пород.

## **Глава 10. Карстовые воды**

**К а р с т о м** называется геологический процесс растворения и разрушения горных пород под воздействием поверхностных и подземных вод с выносом растворенных и взвешенных веществ из массива. Карст слово южнославянское, происходит от названия нагорья Карст на Балканском полуострове (северо-запад Югославии). Карст развивается в известняках, доломитах (карбонатный карст), гипсе (гипсовый карст), каменной соли (соляной карст). В некоторых районах (Мингечаур, Азербайджанская) карстовые явления наблюдаются в глинистых породах. Различают открытый и закрытый карст.

**О т к р ы т ы й к а р с т** развивается в горных породах, непосредственно выходящих на поверхность земли. **З а к р ы т ы й к а р с т** отличается тем, что закарстованные породы перекрыты с поверхности толщей более молодых некарстующихся пород.

На участках развития открытого карста на поверхности образуются характерные формы рельефа: бороздообразные углубления, воронки и провалы. При соединении нескольких воронок образуются

так называемые увалы. В некоторых местах возникают глубокие карстовые формы – естественные колодцы или шахты, провалы, пещеры.

Карстовые провалы на поверхности земли имеют самые разнообразные размеры; так, диаметры воронок колеблются от нескольких метров до 30 и даже 150 м (например, на горе Чатырдаг, в Крыму); глубина их может достигать 50 м. Иногда на 1 км – поверхности приходится 20–30 карстовых воронок и более.

Карстовые пещеры Г. А. Максимович по размерам делит на громадные (до 100 км), очень большие (25–100 км), большие (1–25 км), значительные (0,25–1 км), небольшие (0,01–0,25 км) и малые (менее 0,01 км).

Самая большая карстовая пещера – Мамонтова – находится в Соединенных Штатах Америки (штат Кентукки), общее протяжение ее гротов, ходов, слепых шахт и подземных рек доходит до 160 км. Экскурсантам показывают пещеру на протяжении 4,8 км. Вторая по величине пещера находится в штате Индиана и носит название селитренной (в ней добывалась селитра для изготовления пороха). Самый большой грот этой пещеры имеет длину 107 м и высоту 75 м. Третья – Швейцарская пещера Хельлох. В настоящее время она закартирована на протяжении нескольких десятков километров. Большой протяженности пещера имеется в известковистых Альпах Австрии.

Карстовые пустоты имеются и в других странах мира. В России самая крупная Кунгурская пещера. Она состоит из 58 гротов. Общая протяженность пещеры 4,6 км. По данным Г.А.Максимовича, в пещере 360 озер, заполненных минерализованными водами. Кунгурская пещера пользуется большой известностью среди туристов.

Развитию карста способствует трещиноватость пород. Все исследователи карста отмечают, что тектонически нарушенные известняки и доломиты, а также загипсованные и соленосные породы особенно легко подвергаются карстообразованию. Исследованиями А.А.Колодяжной установлено, что карст наиболее интенсивно развивается на контакте карстующихся пород с некарстующимися.

Карстовые явления распространяются на довольно большую глубину. В зависимости от времени образования карст делится на древний и современный. В некоторых районах крупные карстовые полости (0,5–10 м в поперечнике) прослеживаются на глубине 150 м ниже местного базиса эрозии и на 30–500 м ниже поверхности земли. Иногда на глубине 130 м встречаются карстовые пещеры высотой 20–25 м; объем их достигает нескольких десятков тысяч кубических метров.

Более мелкие карстовые полости, размером менее 0,5 м в поперечнике, приуроченные главным образом к доломи-тизирванным известнякам, встречаются на глубинах 750–800 м. Карстовые полости нередко бывают заполнены песчано-глинистыми породами с обломками известняков, кремня, щебня, дресвы и различными полезными ископаемыми.

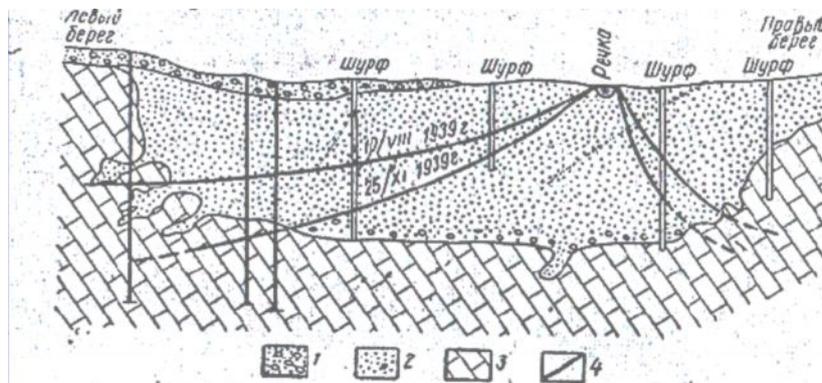


Рис.29. Схема поглотения русловых вод в долине реки (по А.А.Колодяжной): 1 – пески с галькой, 2 – пески, 3 – известняки, 4 – поверхность грунтовых вод.

Внутри массивов пород, подверженных карсту, создается, таким образом, сложная сеть пустот, каналов, пещер. Подземные воды, циркулирующие по этим пустотам, называются карстовыми водами. Циркуляция вод в закарстованных породах происходит как в горизонтальном так и в вертикальном направлениях. Доказано, что в большинстве случаев в них существует сплошной поток подземных вод, а не отдельные изолированные водотоки, как это предполагали некоторые исследователи.

Карстовые подземные воды отличаются от других типов подземных вод своеобразными условиями связи с поверхностными водами. Во многих случаях воды открытых водотоков, дойдя до участков, сложенных закарстованными породами, поглощаются карстовыми воронками и трещинами. Выходя затем ниже по уклону в виде крупных источников на берегах рек, эти воды вновь переходят в поверхностные водотоки. Такие явления часто наблюдаются в Башкирии, Пермской и Орловской областях, на Северном Урале, в Крыму и на Кавказе, в предгорьях Копет-Дага, Енисейском кряже, Каратау, Забайкалье, Якутии и т.д. Например, река Яманелга в Башкирии, попадая в район развития известняков карбона, уходит в карстовую полость и на протяжении 40 км течет под землей.

Взаимосвязь между поверхностными и подземными водами в районах развития карста, весьма сложна; вследствие этого нельзя, принимать за величину подземного стока суммарный дебит всех источников, выходящих на площади района, так как часть источников на поверхности может появляться дважды.

Нередко путями поглощения речных вод служат воронки и карстовые полости, выходящие непосредственно на поверхность по берегам и в русле реки.

Потеря поверхностных вод в результате поглощения их карстовыми воронками и пустотами может достигать большой величины. Так, например, река Кизел (на Урале), пересекая закарстованные известняки, теряет  $0,5-1,0 \text{ м}^3/\text{сек}$  воды, а река Косьва – до  $3,4 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Долины рек, у которых поверхностный сток полностью поглощается карстовыми породами и переходит в подземный, представлены иногда на протяжении нескольких километров суходолами.

В районах развития карста некоторые участки рек представляют собой сплошную цепь более или менее значительных по размерам карстовых воронок, местами сливающихся в сплошные закарстованные поля; В периоды снеготаяния и половодья такие участки поглощают огромные количества поверхностных вод. Линейное расположение карстовых воронок обычно указывает на направление карстовых подземных потоков. Иногда цепи карстовых воронок, так же как и долины рек, бывают приурочены к линиям тектонических разломов.

Поверхность подземных вод в карстовых районах весьма изменчива. На участках, где сосредоточены крупные карстовые полости, происходит усиленный дренаж водоносных пород и отток подземных вод; в результате этого уровень вод снижается, а направление потока на коротких расстояниях может резко изменяться.

Карстовые воды характеризуются резкими колебаниями уровня и расхода. Высокая водопроницаемость закарстованных пород и наличие на поверхности земли описанных выше карстовых форм рельефа обеспечивают быстрое поглощение атмосферных осадков. Вследствие этого в карстовых районах многочисленные источники резко увеличивают свой расход в периоды паводка и больших дождей. Источники, питающиеся за счет карстовых вод и вод глубоких напорных горизонтов или пополняющие свои запасы за счет поверхностных водотоков, действуют в течение всего года. Но и в них наблюдаются резкие колебания расхода воды в зависимости от интенсивности вы-

падения атмосферных осадков. Дебиты карстовых источников колеблются от нескольких литров до нескольких кубических метров в секунду. В отдельных странах карстовые источники используются для энергетических целей. Например, знаменитый карстовый источник Воклюз, на юге Франции, приводит в движение машины многих предприятий. В районе Алжира имеются небольшие электростанции, использующие напор подземных вод карстовых источников.

Карстовые породы и связанные с ними подземные карстовые воды имеют очень широкое распространение. Только в России около 40% всей территории занято закарстованными карбонатными породами. Большие площади заняты также гипсоносными и соленосными отложениями.

В качестве примера района развития карстовых подземных вод можно назвать Подмосковную впадину, где наиболее интенсивному карстованию подверглись известняки и частично гипсы верхнего девона, а также известняки каменноугольного возраста. С ними связаны мощные и водообильные водоносные горизонты, относящиеся к типу трещинно-карстовых и используемые для целей водоснабжения.

В горном Крыму карстовые подземные воды приурочены к верхнеюрским известнякам. По склонам главной гряды из них выходят многочисленные источники. В тех местах, где известняки погружаются ниже уровня моря, карстовые источники выходят в море. Такие источники называются п о д в о д н ы м и. Они имеются на Черном море, у Гагр, у Алупки, западнее Байдарских ворот в Крыму.

Карстовые воды распространены также в пермских гипсоносных отложениях и карбонатных толщах Среднего Поволжья (Самарская Лука), в меловых породах Украины и Белоруссии, в каменноугольных известняках Урала, в карбонатных толщах Каратау, горного Мангистау.

Подземные воды, приуроченные к карсту, широко распространены за пределами России: в Италии, Австрии, Югославии, особенно в Северной Африке.

В связи с широким территориальным распространением карста карстовые воды приобретают большое народнохозяйственное значение. Их часто используют для водоснабжения населенных пунктов, промышленных предприятий и орошения. Вместе с тем нередко карстовые воды затрудняют разработку месторождений полезных ископаемых, обводняя их, осложняют строительство плотин и водохрани-

лищ в речных долинах, поскольку возникает опасность крупных утечек воды в карстовые пустоты.

За последние тридцать лет интерес к изучению карста в различных странах значительно усилился в связи с использованием подземных полостей для размещения электростанций и других объектов. При изучении карстовых вод необходимо учитывать историю развития карста данного района, размеры и характер распределения карстовых пустот в массиве пород, режим подземных вод во времени, а также области концентрации карстовых вод в массиве. Большое значение при изучении карстовых вод приобретают наблюдения за характером и выходом керна при бурении скважин, за поглощением промывочной жидкости и поведением буровой коронки на забое.

Гидрогеологические исследования, связанные с карстовыми водами, должны сопровождаться тщательными наблюдениями за режимом вод рек и озер для выявления их связи с карстом.

## Часть II. Динамика подземных вод

### Глава 11. Основные законы движения подземных вод

Подземные поры, заключенные в порах и пустотах горных пород, находятся в движении, которое направлено от участков с более высоким положением зеркала подземных вод к участкам с более низким его положением. Скорость этого движения зависит от напора (разницы уровней)  $h$ , длины пути  $l$  и сопротивления породы движению воды. Отношение напора к длине пути называют гидравлическим градиентом  $I$ :

$$I = h / l \quad (43)$$

Сопротивление породы движению воды зависит от размеров и характера пор и пустот. Каждой породе свойственна определенная степень водопроницаемости, показателем которой служит коэффициент фильтрации  $k$ .

Подземный поток обычно движется по тонким порам и трещинам в породах, поэтому он почти всегда имеет характер параллельно струйного, плавного или ламинарного, движения, подчиняющегося закону Дарси. Этот закон выражается уравнением:

$$k = Q / (F \cdot I) \quad (44)$$

где  $Q$  – количество фильтрующейся воды,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения потока,  $\text{см}^2$ .

Количество фильтрующейся воды  $Q$  зависит от скорости фильтрации и площади поперечного сечения потока:

$$Q = vF, \quad (45)$$

где  $v$  – кажущаяся скорость движения потока, которая меньше действительной скорости, т.к. фильтрация происходит не через все сечение  $F$ , а только через поры и пустоты в породе,  $\text{см}/\text{с}$ .

Из уравнения (6.1) следует, что  $k = v/I$ , а при  $I$ , равном единице,  $k = v$  (46). Таким образом, коэффициент фильтрации представляет собой кажущуюся скорость движения подземного потока при гидравлическом градиенте, равном единице.

Если подземные воды движутся не по порам, а по карстовым пустотам трещинам, имеющим большое сечение, то движение будет не плавным, а турбулентным. В этом случае коэффициент фильтрации определяют по формуле Шези:

$$K = v / \sqrt{i} \quad (47)$$

Коэффициент фильтрации – это основная величина, используемая при расчетах фильтрации в основании гидротехнических сооружений, притока воды в строительные котлованы и в дренажным устройствам, а также подпора воды по берегам водохранилищ и каналов. Этот коэффициент обычно измеряется в метрах в сутки, а иногда в сантиметрах в секунду. Коэффициент фильтрации определяют по результатам опытных откачек, опытных наливов в шурфы и с помощью лабораторных методов.

Кроме коэффициента фильтрации водопроницаемость пород можно охарактеризовать показателями, описанными ниже.

**Коэффициент скорости фильтрации  $k_0$**  представляет собой действительную (а не кажущуюся) скорость движения воды в породе при гидравлическом градиенте, равном единице:

$$k_0 = v/P_0 = Q/(P_0 \cdot F) \quad (48)$$

где  $P_0$  – активная пористость пород, измеряемая в долях единицы.

Этот коэффициент вычисляют на основании данных о коэффициенте фильтрации, с которым он связан зависимостью

$$k_0 = k/P_0 \quad (49)$$

Он служит для оценки возможности размыва или растворения пород и измеряется в тех единицах, что и коэффициент фильтрации.

**Коэффициент пьезопроводности  $a$**  для напорных вод или **коэффициент уравнепроводности  $a'$**  для безнапорных вод показывает скорость изменения уровня подземных вод в процессе неустановившегося движения:

$$a = k/(\gamma \cdot \beta) \quad (50)$$

$$a' = kH_{cp}/\mu, \quad (51)$$

где  $\gamma$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$\beta$  – коэффициент упругости водоносного пласта;

$H_{cp}$  – средняя мощность водоносного пласта, м;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи.

Коэффициент пьезопроводности, измеряемый в квадратных метрах в сутки, используют для фильтрационных расчетов в условиях неустановившегося движения подземных вод. Для определения его проводят опытные откачки при неустановившемся режиме фильтрации.

**Коэффициент фильтрационной анизотропии  $\lambda$**  показывает отношение водонепроницаемости пород в горизонтальном и вертикальном направлениях:

$$\lambda = \sqrt{k_B / k_r}, \quad (52)$$

где  $k_B$  и  $k_r$  – коэффициенты фильтрации в вертикальном и горизонтальном направлениях.

**Удельное водопоглощение  $q$**  – это поглощение воды в фильтрах в минуту на 1 м длины опробуемого интервала скважины при напоре, равном 1 м:

$$q = Q/(h \cdot l), \quad (53)$$

где  $Q$  – поглощение воды, л/мин;

$h$  – избыточный напор над уровнем воды в скважине, м;

$l$  – длина опробуемого интервала скважины, м. удельное водопоглощение определяют опытными нагнетаниями воды в скважины.

Результаты их используют главным образом при проектировании противофильтрационных завес.

В комплекс гидрогеологических исследований, выполняемых при изысканиях для гидротехнического строительства, входят опытные откачки, нагнетания в скважины и наливов в шурфы; наблюдения за режимом подземных вод; определения направления и скорости движения вод и гидрохимические исследования.

### **Скорость фильтрации и действительная скорость движения подземных вод**

Расходы фильтрационного потока определяются по формуле

$$Q = Fv \quad (54)$$

В этой формуле площадь поперечного сечения  $F$  и скорость фильтрации  $v$  – фиктивные, так как вода движется через все поперечное сечение водоносного пласта, а только через поры (или трещины) водовмещающих пород. Выразим тот же расход через действительную скорость  $u$  и реальную площадь, через которую движется вода. Последняя может быть представлена как произведение площади поперечного сечения потока  $F$  на пористость водовмещающих пород  $n$  (пористость дается в долях единицы).

$$Q = Fnu \quad (55)$$

Приравняв правые части уравнения и сокращая на  $F$ , получим

$$v = nu \quad (56)$$

Уравнение показывает, что скорость фильтрации  $v$  равна действительной скорости  $u$ , умноженной на пористость  $n$ . Так как пористость, всегда меньше действительной скорости.

**Задание 3.** Определить верхний предел применимости закона Дарси.

Верхний предел применимости закона Дарси определяется на приборе, схема которого показана на рис.30. Прибор – трубка диаметром 3 см (площадь поперечного сечения трубки  $F = 7 \text{ см}^2$ ), заполненная гравием, пористость  $n$  которого равна 30%. К концам трубки присоединены два передвижных водослива 1 и 2, с помощью которых создается разность напоров в трубке. Разность напоров  $\Delta H$  определяется по разности уровней в пьезометрах, находящихся друг от друга на расстоянии  $L = 70 \text{ см}$ .

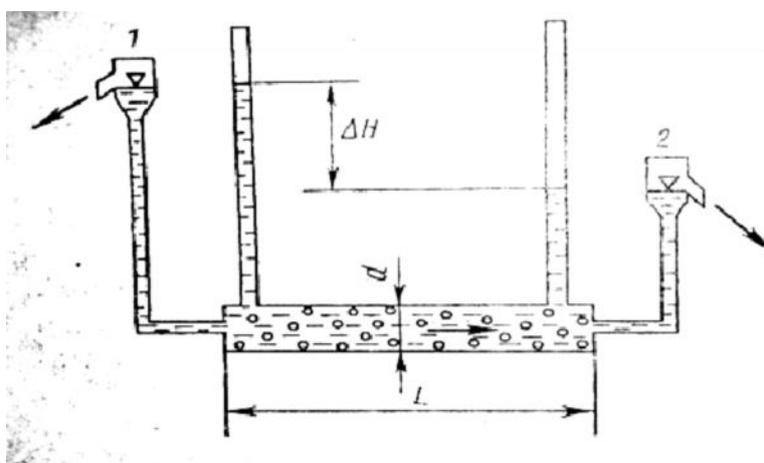


Рис.30. Схема прибора для изучения верхнего предела применимости закона Дарси

С помощью водосливов 1 и 2 создадим разность напоров в пьезометрах  $\Delta H$  от 2,5 до 87,5 см для каждой разности напоров, пользуясь водосливом 2, определяем расход по формуле

$$Q = \frac{V_B}{t} \quad (57)$$

где  $V_B$  – объем воды ( $\text{см}^3$ ), вытекшей из водослива 2 за время  $t$  (с).

По приведенным ниже данным [53] определяем напорный градиент  $I$ , скорость фильтрации  $v$  и отношении  $I/v$ :

Разность напоров $\Delta H$ , см	2,5	7,0	35,0	52,5	70,0	87,5
Величина расхода	0,07	0,19	0,92	1,32	1,76	2,1
$Q = \frac{V_B}{t}$ , $\text{см}^3/\text{с}$						

Напорный градиент $I = \frac{\Delta H}{L}$	0,036	0,1	0,5	0,75	1,0	1,25
Скорость фильтрации $v = \frac{Q}{F}$ , см/с	0,01	0,027	0,131	0,19	0,25	0,30
$I/v$	3,6	3,7	3,8	3,95	4,0	4,17

Требуется определить: критическую скорость фильтрации  $v_{кр}$ , при которой происходит нарушение закона Дарси; действительную скорость  $u$ , соответствующую критической скорости фильтрации; коэффициент фильтрации  $k$ ; параметры  $a$  и  $b$  из уравнения Прони.

Для определения критической скорости  $v_{кр}$  по данным опыта строится график  $v = f(I)$ . На графике (рис.31, А) по оси ординат откладывается скорость фильтрации  $v$ , по оси абсцисс – напорные градиенты. Критическая скорость определяется по графику в точке заметного отклонения графика от прямой линии. В данном случае  $v_{кр} = 0,2$  см/с = 173 м/сут. Следовательно, опт необходимо вести до тех пор пока на графике  $v = f(I)$  не перейдет в кривую.

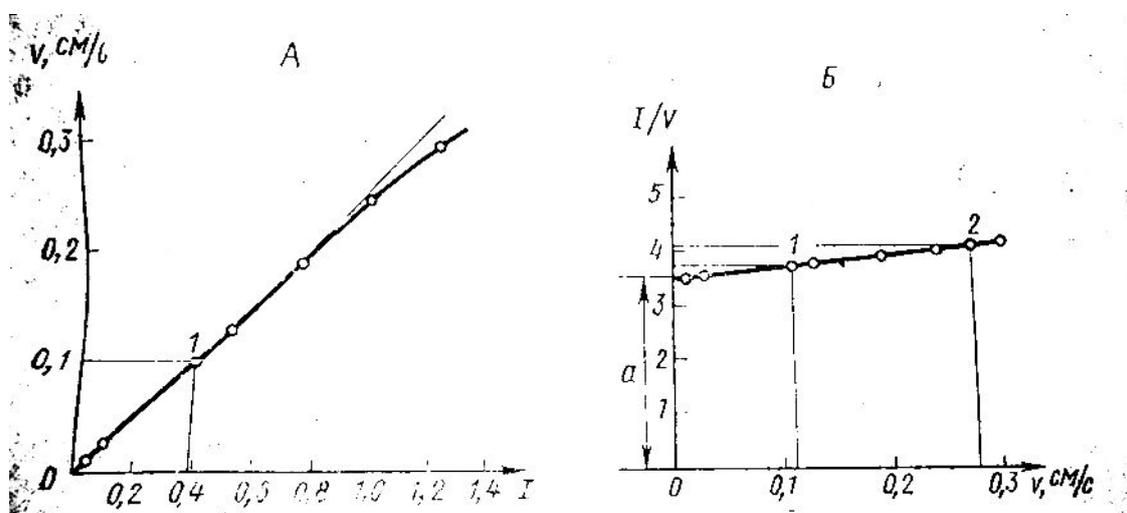


Рис.31. Графики зависимости: А –  $v = f(I)$ ; Б –  $I/v = f(v)$

Действительная скорость  $u$ , соответствующая  $v_{кр}$ , определяется из формулы:

$$u = \frac{v}{n} = \frac{173}{0,3} = 577 \text{ м/сут.} \quad (58)$$

Чтобы определить коэффициент фильтрации  $k$ , нужно взять любую точку на графике  $v = f(I)$ , где она представляет прямую. Из

точки 1 на графике проводят перпендикулярные линии на оси ординат и абсцисс. Эти линии при пересечении с осями дадут значения  $v_1$  и  $I_1$  (рис. 31-А). Пользуясь законом Дарси (6.2), вычисляют коэффициент фильтрации:

$$k = \frac{v_1}{I_1} = \frac{0,10}{0,38} = 0,26 \text{ см/с} = 225 \text{ м/сут.} \quad (59)$$

Параметры  $a$  и  $b$  устанавливаются по графику  $\frac{I}{v} = f(v)$  для построения графика по оси ординат откладывают отношение  $I/v$ , по оси абсцисс – скорость фильтрации. Построенный график (рис.31, Б) – прямая, которая на оси  $I/v$  отсекает отрезок, равный  $a$ . В данном случае,  $a = 3,6$ . Параметр  $b$  определяется из выражения:

$$b = \frac{\left(\frac{I}{v}\right)^2 - \left(\frac{I}{v}\right)^1}{v_2 - v_1}, \quad (60)$$

где  $(I/v)_2$ ,  $(I/v)_1$ ,  $v_2$  и  $v_1$  снимаются для двух произвольных точек графика 1 и 2 (рис.31, Б). Таким образом,

$$b = \frac{4,1 - 3,8}{0,28 - 0,11} = 1,76.$$

## Глава 12. Определение гидрогеологических параметров

(материалы П.В. Гордеевой)

Определение гидрогеологических параметров – одна из важнейших задач динамики подземных вод. Эти параметры служат основой для гидрогеологических расчетов, выполняемых в связи с проектированием водозаборов, систем орошения, дренажных, гидротехнических и других инженерных сооружений.

Основные гидрогеологические параметры водоносного пласта – коэффициенты фильтрации  $k$ , водопродимости  $T$ , пьезопроводности или уровне прорвности, а также внутреннее фильтрационное сопротивление скважины  $\zeta_c$ , приведенный радиус влияния  $R_{II}$  и др.

Они могут быть получены в результате проведения полевых опытных работ (откачек, наливов, нагнетаний).

Наибольшее распространение в гидрогеологической практике получили откачки и наблюдения за восстановлением уровня воды в

скважинах. Для вычисления параметров используются основные уравнения движения подземных вод. Располагая опытными данными, эти уравнения решают относительно входящих в них гидрогеологических параметров.

### 12.1 Определение гидрогеологических параметров по данным откачек из скважин при установившемся движении

При установившемся режиме фильтрации определяют коэффициенты фильтрации и водопроницаемости, внутреннее фильтрационное сопротивление и приведенный радиус влияния (считая  $R = R_n$ ). Располагая данными о дебите и понижении в процессе откачки, можно определить коэффициент фильтрации по формулам Дюпюи 113 и 116, решая их относительно  $k$ .

#### I. Артезианские воды (рис.32)

1) для центральной скважины

$$k = 0,366Q \frac{\lg \frac{R_n}{r_c}}{mS_c}; \quad (61)$$

2) для центральной и наблюдательной скважин

$$k = 0,366Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c}}{m(S_c - S_1)}; \quad (62)$$

3) для двух наблюдательных скважин

$$k = 0,366Q \frac{\lg \frac{r_2}{r_1}}{m(S_1 - S_2)}; \quad (63)$$

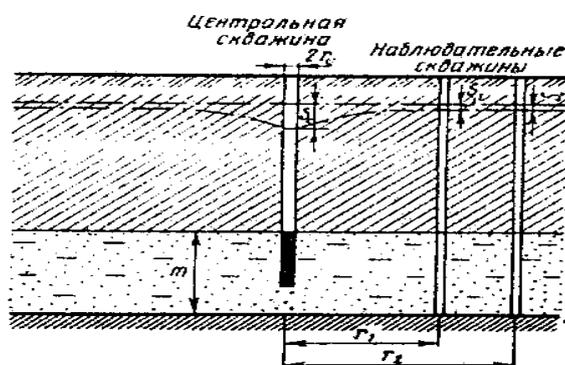


Рис.32. Схема к определению гидрогеологических параметров при откачке из артезианской скважины.

## II. Грунтовые воды (рис.33)

1) для центральной скважины

$$k = 0,732Q \frac{\lg \frac{R_n}{r_c}}{(2H_e - S_c)S_c}; \quad (64)$$

2) для центральной и наблюдательной скважин

$$k = 0,732Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c}}{(2H_e - S_c - S_1)(S_c - S_1)}, \quad (65)$$

3) для двух наблюдательных скважин

$$k = 0,732Q \frac{\lg \frac{r_2}{r_1}}{(2H_e - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}, \quad (66)$$

где  $S_c$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  – понижения уровня соответственно в центральной, первой и второй наблюдательных скважинах;  $r_c$  – радиус центральной скважины;  $r_1$ ,  $r_2$  – расстояние от центральной скважины соответственно до первой и второй наблюдательных скважин.

Если откачки проводятся из несовершенных скважин, то в приведенные формулы вводится поправка на несовершенство скважин, полученная Н.Н.Веригиным.

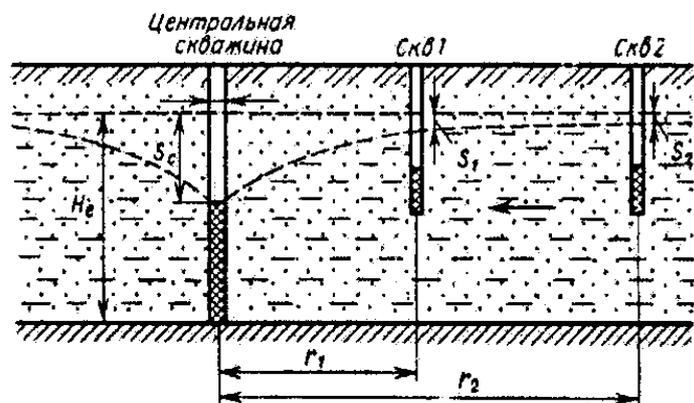


Рис.33. Схема к определению гидрогеологических параметров при откачке из грунтовой скважины.

## I. Артезианские воды:

1) для центральной скважины

$$k = 0,366Q \frac{\lg \frac{R_{II}}{r_c} + 0,217\zeta}{mS_c}; \quad (67)$$

2) для центральной и наблюдательной скважин

$$k = 0,366Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c} + 0,217(\zeta_c - \zeta_1)}{m(S_c - S_1)}; \quad (68)$$

3) для двух наблюдательных скважин

$$k = 0,366Q \frac{\lg \frac{r_2}{r_1} + 0,217(\zeta_1 - \zeta_2)}{m(S_1 - S_2)}; \quad (69)$$

## II. Грунтовые воды

1) для центральной скважины

$$k = 0.732Q \frac{\lg \frac{R_n}{r_c} + 0,217\zeta_c}{(2H_e - S_c)S_c}, \quad (70)$$

2) для центральной и наблюдательной скважин

$$k = 0.732Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c} + 0,217(\zeta_c - \zeta_1)}{(2H_e - S_c - S_1)(S_c - S_1)}, \quad (71)$$

3) для двух наблюдательных скважин

$$k = 0.732Q \frac{\lg \frac{r_2}{r_1} + 0,217(\zeta_1 - \zeta_2)}{(2H_e - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}, \quad (72)$$

где  $\zeta_c, \zeta_1, \zeta_2$  – внутреннее фильтрационные сопротивления, учитывающие несовершенство соответственно центральной, первой и второй наблюдательных скважин. Они определяются по табл. 18. При нахождении сопротивлений для грунтовых скважин мощность следует уменьшать на половину величины понижения уровня в центральной скважине, т.е. принимать  $\frac{m}{r} = \frac{H_e - 0,5S_c}{r}$ . Сопротивление находят также по графикам (см. рис. 47, 48). При двух наблюдательных скважинах для артезианских вод показатель общего сопротивления центральной скважины  $\zeta_c$  может быть рассчитан по формуле

$$\zeta_c = \frac{S_c - S_1}{S_1 - S_2} \ln \frac{r_1}{r_2} - \ln \frac{r_1}{r_c} \quad (73)$$

Определив коэффициент по формулам (61–72) и умножив его на мощность водоносного горизонта, получим коэффициент водопроницаемости  $T$ . Для напорных вод  $T$  можно получить также из уравнения (112), решив его относительно  $km$ :

$$T = km = 0,366Q \frac{\lg \frac{R_n}{r_c}}{S_c} \quad (74)$$

При двух наблюдательных скважинах эта формула примет вид

$$T = 0,366Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c}}{S_1 - S_2} \quad (75)$$

Приведенный радиус влияния  $R_n$  определяется по данным опытной откачки при двух наблюдательных скважинах по формулам:

1) для артезианских вод

$$\lg R_n = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2}; \quad (76)$$

2) для грунтовых вод

$$\lg R_n = \frac{(2H_e - S_1)S_1 \lg r_2 (2H_e - S_2)S_2 \lg r_1}{(2H_e - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}; \quad (77)$$

Буквенные обозначения в формулах смотреть на рис. 32 и 33.

Для грунтовых вод при понижении уровня в центральной скважине, не превышающем 20% мощности водоносного горизонта, можно пользоваться формулой (76).

**Задача.** Определить основные гидрогеологические параметры  $k$ ,  $T$ ,  $R_n$  по результатам кустовой откачки, состоящей из центральной и двух наблюдательных скважин совершенных скважин. Скважины вскрыли напорные воды (см. рис. 32). Исходные данные приведены в таблице 15.

Таблица 15

Диаметр центральной скважины, м	Мощность водоносных песков, м	Понижение уровня в центральной скважине, м	Дебит, м <sup>3</sup> /сут	Понижение уровня в наблюдательных скважинах, м		Расстояние наблюдательных скважин от центральной, м	
				скв.1	скв.2	скв.1	скв.2
0,203	40,0	6,25	950	3,50	2,60	125	310

**Решение.** Коэффициент фильтрации определим по формулам (62) и (63):

1) по центральной и первой наблюдательной

$$k = 0366Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c}}{m(S_c - S_1)} = 0.366 \cdot 950 \frac{\lg \frac{125}{0,1}}{40(6,25 - 3,50)} = 9,79 \text{ м/сут.};$$

2) по центральной и второй наблюдательной:

$$k = 0366Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c}}{m(S_c - S_1)} = 0.366 \cdot 950 \frac{\lg \frac{310}{0,1}}{40(6,25 - 2,60)} = 8,31 \text{ м/сут.};$$

3) по двум наблюдательным:

$$k = 0366Q \frac{\lg \frac{r_1}{r_c}}{m(S_c - S_1)} = 0.366 \cdot 950 \frac{\lg \frac{310}{125}}{40(3,50 - 2,60)} = 10,40 \text{ м/сут.};$$

Среднее значение коэффициента фильтрации

$$k_{cp} \frac{9,79 + 8,31 + 10,40}{3} = 9,50 \text{ м/сут.}$$

Коэффициент водопроницаемости равен:

$$T = k_{cp}m = 9,50 \cdot 40 = 380 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Приведенный радиус влияния вычислим по формуле (76):

$$\lg R_{II} = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{(S_1 - S_2)} = \frac{3,5 \lg 310 - 2,60 \lg 125}{3,50 - 2,60}; = 3,631.$$

При  $\lg R_{II} = 3,631$  приведенный радиус влияния  $R_{II} = 4276 \text{ м.}$

## 12.2 Определение гидрогеологических параметров по данным откачек из скважин при неустановившемся движении

В условиях неустановившейся фильтрации подземных вод к скважине гидрогеологические параметры как основные расчетные зависимости для неограниченного в плане пласта определяются по формулам (124, 125, 126, 127). Для начального периода откачки и ярко выраженными неустановившимися режимом фильтрации (при  $\frac{r^2}{4\chi t} > 0,1$ ) применяются формулы (124) и (125), основанные на использовании экспоненциальной зависимости; для второго периода квазиустановившимся режимом фильтрации (при  $\frac{r^2}{4\chi t} < 0,1$ ) используются формулы (126, 127), основанные на логарифмической зависимости.

При неустановившейся фильтрации определяются коэффициенты фильтрации  $k$ , водопроницаемости  $T$ , пьезопроводности или уровне проводности  $a$ , приведенный радиус влияния  $R_{II}$  и др. Существует много методов определения гидрогеологических параметров. В зависимости от характера опытной информации они подразделяются на две группы.

В методах первой группы (методы подбора, эталонной кривой, характерных точек, графоаналитический и др.) используются закономерности режима подземных вод при откачках, определяемых только фильтрационными и емкостными свойствами опробуемых водоносных горизонтов. Этими методами определяют основные расчетные параметры. В методах второй группы (методы Ф.М.Бочевера, Е.Л.Минкина, М.Хантуша и др.) используются опытные закономерности, которые определяются не только фильтрационными и емкостными свойствами, но и граничными условиями. Методами второй группы, кроме основных определяются и специфические параметры (коэффициент перетекания, гидравлическое сопротивление дна водоемов или водотоков и др.). Методы подробно описаны в соответствующей литературе [5, 10, 12, 44, 45, 48, 50]. Ниже рассматривается графоаналитический метод расчета параметров (метод Джейкоба) для артезианских и грунтовых вод. Он нашел широкое применение в гидрогеологической практике.

**Артезианские воды.** Для напорных вод в графоаналитическом методе исходной является формула (126). В зависимости от выбранных координат существует три способа данных: временного, комбинированного и площадного прослеживания.

Способ временного прослеживания заключается в прослеживании понижения или восстановления уровня во времени по замерам в одной скважине ( $S - lgt$ ). В способе комбинированного прослеживания регистрируют изменения уровня во времени по нескольким наблюдательным скважинам ( $S - lgr^2/t$ ). Обработка изменения уровня в зависимости от расстояния наблюдательных скважин до центральной, т.е. по площади опытного участка, рассматривается в способе площадного прослеживания ( $S - lgr$ ). Все три способа обработки данных по исходному уравнению (126) представляют собой уравнения прямой линии в разных системах координат (рис.34).

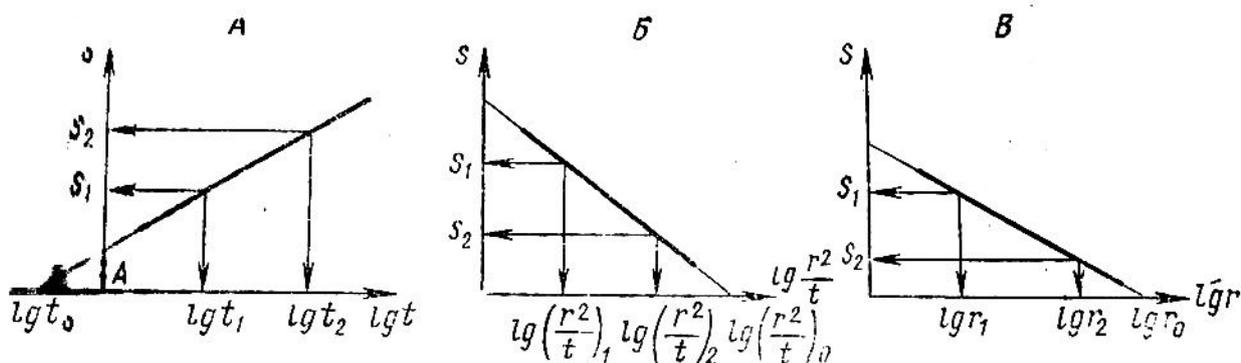


Рис.34. Графики зависимости:  
 $A - S = f(\lg t)$ ;  $B - S = f[\lg(r^2/t)]$ ;  $B - S = f(\lg r)$

Формулы для расчетов гидрогеологических параметров (коэффициентов водопроницаемости  $T$ , пьезопроводности  $\chi$ , а также приведенного радиуса влияния  $R_{II}$ ) см.ниже:

Временное прослеживание	Комбинированное прослеживание	Площадное прослеживание
$S = f(\lg t)$	$S = f\left[\lg\left(\frac{r^2}{t}\right)\right]$	$S = f(\lg r)$
$S = \frac{0,183Q}{km} \left( \lg \frac{2,25\chi}{r_c^2} + \lg t \right)$	$S = \frac{0,183Q}{km} \left( \lg 2,25\chi - \lg \frac{r^2}{t} \right)$	$S = \frac{0,366Q}{km} \left( \frac{1}{2} \lg 2,25\chi t - \lg r \right)$
$B = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$	$B = \frac{S_1 - S_2}{\lg\left(\frac{r^2}{t}\right)_2 - \lg\left(\frac{r^2}{t}\right)_1}$	$B = \frac{S_2 - S_1}{\lg r_2 - \lg r_1}$
$T = km = \frac{0,183Q}{B}$	$T = km = \frac{0,183Q}{B}$	$T = km = \frac{0,366Q}{B}$
$\lg \chi = 2 \lg r_c - 0,35 + \frac{A}{B}$	$\lg \chi = \frac{A}{B} - 0,35$	$\lg \chi = \frac{2A}{B} - 0,35 - \lg t$
$R_{II} = 1,5\sqrt{at}$	$R_{II} = 1,5\sqrt{at}$	$R_{II} = 1,5\sqrt{at}$

Буквенные обозначения:  $t$  – продолжительность откачки;  $r$  – расстояние от рассматриваемой скважины до центральной;  $Q$ ,  $r_c$  – дебит и радиус центральной скважины;  $B$  – угловой коэффициент (тангенс угла наклона прямой на графике к оси абсцисс),  $A$  – отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат (начальная ордината прямой).

При обработке опытных данных по одной скважине используется способ временного прослеживания. Если количество скважин более трех, данные можно обрабатывать всеми способами. Расчет гидрогеологических параметров по приведенным формулам сводится к

следующему. Для любого способа по опытным данным строится график зависимости в полулогарифмических координатах. Взяв на прямой две произвольные точки и спроектировав их на оси абсцисс и ординат, получим величины, по которым определяется угловой коэффициент  $B$ . По соответствующим формулам вычисляется коэффициент водопроницаемости. Разделив последний на мощность водоносного пласта, получим коэффициент фильтрации. Далее графика снимается  $A$ . определив  $A$ , можно установить коэффициент пьезопроводности  $\chi$ . После  $\chi$  вычисляется приведенный радиус влияния  $R_{\text{п}}$ .

При расчетах по указанным способам постоянство дебита откачки является обязательным условием. Если откачка проводится из несовершенной скважины, методика расчета параметров не изменяется. Несколько изменяются формулы для определения пьезопроводности, в которые вводится выражение  $-0,434\zeta$ . Для способа временного прослеживания эта формула имеет вид

$$\lg \chi = 2 \lg r_c - 0,35 + \frac{A}{B} - 0,434\zeta, \quad (78)$$

где  $\zeta$  – гидравлическое сопротивление, учитывающее несовершенство скважины (определяется по таблице 18 или графикам на рис. 47 и 48).

Величина  $\zeta$  в наблюдательных скважинах незначительная, и ею обычно пренебрегают. Определение параметров теми же способами можно проводить и по результатам наблюдений за восстановлением уровня после откачки в возмущающей и наблюдательных скважинах. При этом за  $S$  берется повышение уровня, замеренного в конце откачки. За расчетный дебит принимается дебит в конце откачки.

Размерность коэффициента пьезопроводности зависит от размерностей понижения и времени, выбранных при построении графика. Так, если понижение измеряется в метрах, а время в сутках, то размерность  $\chi$  м<sup>2</sup>/сут. Размерность коэффициентов водопроницаемости и фильтрации зависит только от размерности дебита. Если дебит измеряется в м<sup>3</sup>/сут, размерность коэффициента водопроницаемости – м<sup>2</sup>/сут, а коэффициента фильтрации – м/сут.

**Грунтовые воды.** Графоаналитический метод применим только для напорных водоносных горизонтов, мощность которых во время откачки остается постоянной. В грунтовых водах мощность во время откачки – величина переменная. Однако если понижение к концу откачки не превышает 20% начальной мощности водоносного горизонта  $H_e$  можно поределить с допустимой для практики погрешностью

расчетные параметры для грунтовых вод как для артезианских. Если же это условие не соблюдается, для определения гидрогеологических параметров строятся те же графики, что и для артезианских вод, только по оси ординат откладывается не  $S$ , а  $(2H_e - S)S$ . Расчетные формулы для грунтовых вод даны ниже:

Временное прослеживание	Комбинированное прослеживание	Площадное прослеживание
$(2H_e - S)S = f(\lg t)$	$(2H_e - S)S = f\left[\lg\left(\frac{r^2}{t}\right)\right]$	$(2H_e - S)S = f(\lg r)$
$B = \frac{(2H_e - S_2)S_2 - (2H_e - S_1)S_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$	$B = \frac{(2H_e - S_1)S_1 - (2H_e - S_2)S_2}{\lg\left(\frac{r^2}{t}\right)_2 - \lg\left(\frac{r^2}{t}\right)_1}$	$B = \frac{(2H_e - S_1)S_1 - (2H_e - S_2)S_2}{\lg r_2 - \lg r_1}$
$k = \frac{0,366Q}{B}$	$k = \frac{0,366Q}{B}$	$k = \frac{0,732Q}{B}$
$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A}{B}$	$\lg a = \frac{A}{B} - 0,35$	$\lg a = \frac{2A}{B} - 0,35 - \lg r$
$R_{II} = 1,5\sqrt{at}$	$R_{II} = 1,5\sqrt{at}$	$R_{II} = 1,5\sqrt{at}$

Ход расчетов параметров для грунтовых вод аналогичен расчетам для артезианских вод. Если возмущающая скважина несовершенная, методика расчета сохраняется. Лишь в расчетную формулу для определения уровнепроводности добавляется выражение  $- 0,434\zeta$ . Так, для комбинированного прослеживания эта формула имеет вид

$$\lg a = \frac{A}{B} - 0,35 - 0,6434\zeta, \quad (79)$$

где  $\zeta$  – гидравлическое сопротивление, учитывающее несовершенство скважины.

Определяется оно по тем же графикам и таблице, что и для артезианских вод.

**Задача 1** (по Н.Н.Биндеману и Л.С.Язвигу, 1970). Из напорного водоносного горизонта проведена опытная откачка с постоянным дебитом  $1200 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Наблюдения за уровнем осуществлялись по центральной и наблюдательной скважинам, расстояние между которыми  $100 \text{ м}$  радиус центральной скважины  $0,1 \text{ м}$  результаты опытной откачки см в табл. 16.

Время от начала откачки $t$ , ч	$\lg t$	Понижение уровня воды	
		в центральной скважине $S_c$ , м	в наблюдательной скважине $S_1$ , м
6	0,78	7,12	1,6
12	1,08	7,42	1,90
18	1,26	6,54	2,04
24	1,38	7,70	2,18
30	1,48	7,75	2,24
36	1,56	7,82	2,31
42	1,62	7,90	2,33
48	1,68	7,96	2,44
54	1,73	8,00	2,48
60	1,78	8,04	2,52
66	1,82	8,08	2,56
72	1,86	8,12	2,60

Определить коэффициенты фильтрации и пьезопроводности, также приведенный радиус влияния на конец откачки.

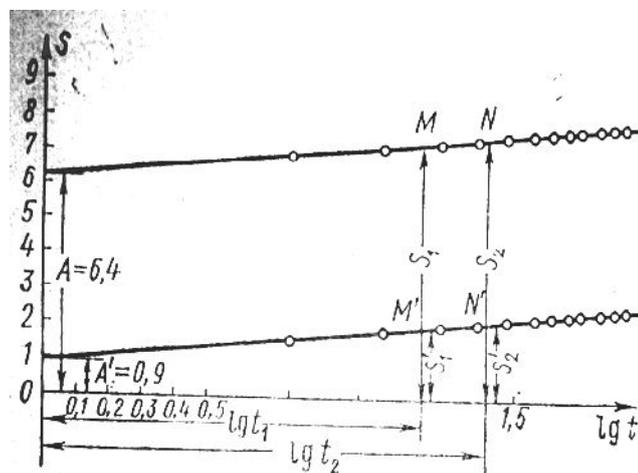


Рис.35. Графики зависимости  $S = f(\lg t)$  для центральной и наблюдательной скважин (к задаче 1)

**Решение.** Так как наблюдения велись только по двум скважинам, данные обрабатываем по способу временного прослеживания. Строим график зависимости  $S_c = f(\lg t)$  и  $S_1 = f(\lg t)$  выражая понижения в метрах, а время в часах (рис.35) взяв на построенных прямых по дв

произвольные точки ( $M, N$  – для центральной скважины и  $M^1$  и  $N^1$  – для наблюдательной скважины), вычислим угловой коэффициент  $B$ . Для центральной скважины:

$$B = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1} = \frac{7,7 - 7,5}{1,4 - 1,2} = 1,0;$$

для наблюдательной скважины

$$B = \frac{S_2^1 - S_1^1}{\lg t_2 - \lg t_1} = \frac{2,2 - 2,0}{1,4 - 1,2} = 1,0;$$

Затем вычисляем коэффициент водпроводимости:

$$T = \frac{0,183Q}{B} = \frac{0,183 \cdot 1200}{1,0} = 220 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Для определения коэффициента пьезопроводности нужно знать величины  $A$ , которые снимаем с графика (рис.35). По центральной скважине  $A=6,4$ , по наблюдательной –  $A = 0,9$ . Зная  $A$ , определим коэффициент пьезопроводности:

1) для наблюдательной скважины

$$\lg \chi = 2 \lg r_c - 0,35 + \frac{A}{B} = 2 \lg 100 - 0,35 + \frac{0,9}{1,0} = 4,55;$$

$$\chi = 3,58 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{ч} = 8,5 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут};$$

2) для центральной скважины

$$\lg \chi = 2 \lg 0,1 - 0,35 + \frac{6,4}{1,0}; \quad \chi = 1,12 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{ч} = 2,7 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Коэффициент пьезопроводности берут по наблюдательной скважине, так как определение его по центральной скважине менее надежно из-за возможного влияния призабойной зоны.

Определим приведенный радиус влияния на конец откачки по формуле

$$R_{\text{пр}} = 1,5 \sqrt{\chi t} = 1,5 \sqrt{8,5 \cdot 10^5 \cdot 3} = 2395 \text{ м}$$

### **Глава 13. Определение расхода подземных вод и построение депрессионных кривых потоков для установившегося движения в однородных и неоднородных пластах**

(материалы П.В.Гордеевой)

Разнообразные условия залегания подземных вод, литологическая неоднородность водовмещающих толщ вызывают необходи-

мость схематизации природных условий и приведения их к типовым расчетным схемам. Ниже дается определение расхода подземных вод и построение депрессионных кривых для наиболее распространенных в природе случаев.

**Движение грунтовых вод в однородном пласте при горизонтальном залегании водоупора.** Единичный расход потока (расход, приходящийся на единицу ширины потока) определяется по формуле Ж.Дюпюи:

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}}, \quad (80)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации водовмещающих пород. Остальные буквенные обозначения см. на рис. 36-А. Расход потока шириной  $B$  равен произведению ширины потока на единичный расход:

$$Q = Bq = Bk \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}}, \quad (81)$$

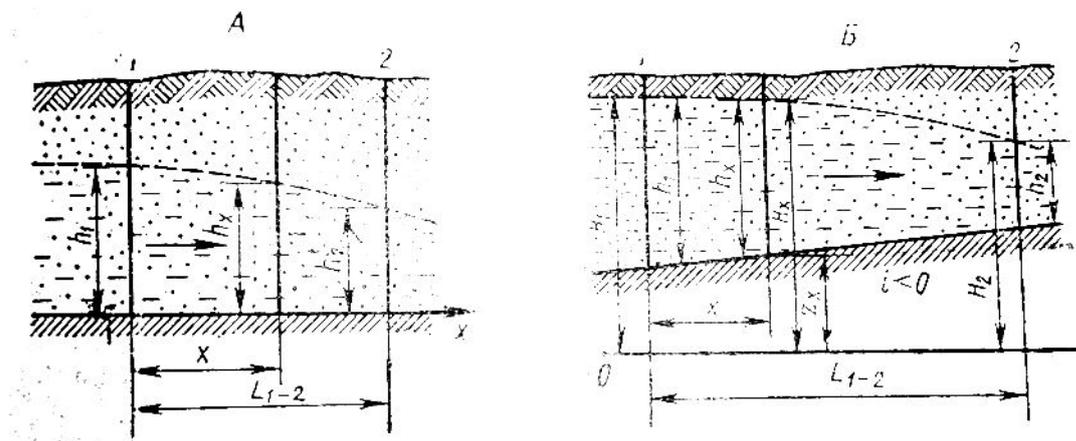


Рис.36. Схема грунтового потока: А – при горизонтальном залегании водоупора; Б – при наклонном залегании водоупора

$h_1, h_2, h_x$  – мощности водоносного горизонта соответственно в верхнем, нижнем и промежуточном сечениях,

$x$  – расстояние между верхним и промежуточном сечениями;

$L_{1-2}$  – расстояние между сечениями 1 и 2;

$H_1, H_2, H_x$  – высоты напоров соответственно в верхнем, нижнем и промежуточном сечениях;

$z_x$  – превышение водоупора над плоскостью сравнения (0-0) в промежуточном сечении;

$i$  – уклон водоупора.

Для построения депрессионной кривой пользуются формулой

$$h_x = \sqrt{h_1^2 \frac{h_1^2 - h_2^2}{L_{1-2}} x}, \quad (82)$$

где  $h_x$  – мощность потока в сечении, отстоящем от верхнего по потоку сечения на расстоянии  $x$  (рис. 36-А). Чтобы построить депрессионную кривую, задаются значениями  $x$  и по формуле (82) определяют  $h_x$ , строят точки, соединив которые получим депрессионную кривую.

**Задача 1.** Грунтовые воды содержатся в разнородных песках. Отметка уровня воды в скв. 1 (верхней по потоку) 130,40 м, в скв. 2 – 122,60 м расстояние между скважинами 2000 м. Водопорный слой горизонтальный, отметка его поверхности 112,60 м. Коэффициент фильтрации водоносного пласта равен 16,2 м/сут (рис. 36-А). Определить единичный расход и расход грунтового потока шириной 500 м; построить кривую депрессии, вычислив мощности водоносного горизонта через каждые 200 м.

**Решение.** По разности отметок уровней воды в скважинах и водоупора находим мощности  $h_1$  и  $h_2$ :  $h_1 = 130,40 - 112,60 = 17,80$  м;  $h_2 = 122,60 - 112,60 = 10,00$  м.

Единичный расход определим по формуле (78):

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}} = 16,2 \frac{17,80^2 - 10,00^2}{2 \cdot 2000} = 0,878 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Расход грунтового потока шириной 500 м равен:

$$Q = Bq = 500 \cdot 0,878 = 439 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Для построения депрессионной кривой находим значения  $h_x$  по формуле:

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}} = \sqrt{17,80^2 - \frac{17,80^2 - 10,00^2}{2000} \cdot 200},$$

Подобным образом, вычисляем другие значения  $h_x$ , задаваясь соответствующими величинами  $x$ . По ним строится депрессионная кривая. Полученные расчетные данные приведены ниже (в м):

#### Скважина 1

$x //$	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
$h_x \cdot$	17,80	17,18	16,54	15,87	15,17	14,44	13,67	12,85	11,97

#### Скважина 2

$x$ . . . . .	1800	2000
$h_x$ . . . . .	11,03	10,0

### Движение грунтовых вод в однородном пласте при наклонном залегании водоупора

Для данного случая единичный расход  $q$ , расход  $Q$  потока шириной  $B$  и высота напора в любом промежуточном сечении  $H_x$  для построения депрессионной кривой определяются по приближенным формулам Г.Н.Каменского (рис. 36-Б):

$$q = k \frac{h_1 - h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} \quad (83)$$

$$Q = Bq = Bk \frac{h_1 - h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} \quad (83a)$$

$$(h_1 + h_2) \cdot \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} = (h_1 + H_x - z_x) \frac{H_1 - H_2}{x} \quad (83б)$$

Буквенные обозначения в формулах см. на рис. 36-Б. В формулу (83б) входят две неизвестные величины –  $z_x$  и  $H_x$ . Для построения депрессионной кривой вначале задаются значениями  $x$ . Затем для заданных значений  $x$  вычисляются  $z_x$  по формулам определения сечения трапеции:

а) при прямом уклоне водоупора ( $i > 0$ )

$$z_x = z_1 - \frac{z_1 - z_2}{L_{1-2}} \cdot x, \quad (84)$$

б) при обратном уклоне водоупора ( $i < 0$ )

$$z_x = z_1 + \frac{z_2 - z_1}{L_{1-2}} \cdot x, \quad (85)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  – превышение водоупора над плоскостью сравнения соответственно в первом и втором сечениях ( $z_1$  и  $z_2$  вычисляются как разность между напором и мощностью потока в соответствующих сечениях).

Вычислив  $z_x$  для заданных сечений, по формуле (85) определяют напоры  $H_x$ . Зная значения  $x$  и соответствующие им величины напоров  $H_x$ , строят кривые депрессии так же, как и для случая с горизонтальным водоупором.

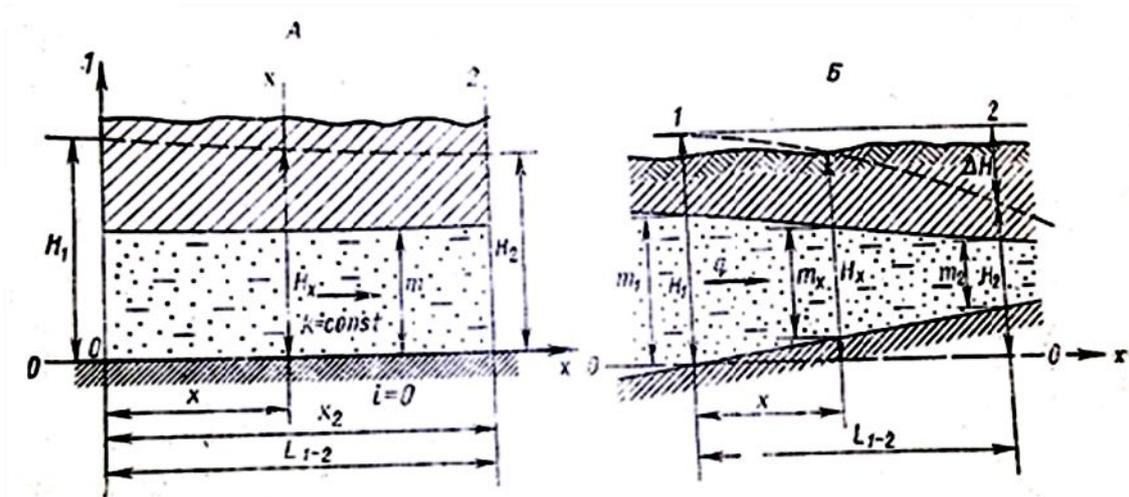


Рис.37. Схема напорного потока: *A* – в пласте постоянной мощности; *B* – в пласте переменной мощности: *m* – мощность водоносного горизонта; *m*<sub>1</sub>, *m*<sub>2</sub>, *m*<sub>*x*</sub> – мощности водоносного горизонта соответственно в верхнем, нижнем и промежуточном сечениях; другие буквенные обозначения такие же, как на рис. 27

### Движение артезианских вод в однородных пластах постоянной и переменной мощности

Единичный расход  $q$  и пьезометрический напор в любом промежуточном сечении  $H_x$  для потока артезианских вод постоянной мощности  $m$  определяются по формулам Г.Н.Каменского:

$$q = km \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} \quad (86)$$

$$H_x = H_1 - \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} \cdot x. \quad (87)$$

Буквенные обозначения формул см. на рис. 35-А.

Получив единичный расход по формуле (86), при необходимости вычисляют расход потока  $Q$ , задаваясь шириной потока  $B$ . Из формулы (87) следует, что пьезометрический уровень в данном случае – прямая линия.

В условиях пласта переменной мощности напорного потока единичный расход  $q$  и ордината пьезометрической кривой  $H_x$  могут быть определены по приближенным формулам Г.Н.Каменского:

$$q = k \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}}, \quad (88)$$

$$H_x = H_1 - \frac{m_1 + m_2}{m_1 + m_x} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} \cdot x. \quad (89)$$

Буквенные обозначения формул (88) и (89) см. на рис. 37-Б.

### Движение грунтовых вод в междуречном массиве с учетом инфильтрации

Единичный расход в междуречном массиве с учетом инфильтрации – величина переменная. Для любого сечения междуречья он определяется по формуле Г.Н.Каменского:

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}} - W \left( \frac{L_{1-2}}{2} - x \right), \quad (90)$$

где  $W$  – величина инфильтрации, т.е. количество воды, просачивающееся через единицу площади в единицу времени. Остальные буквенные обозначения см. на рис.38.

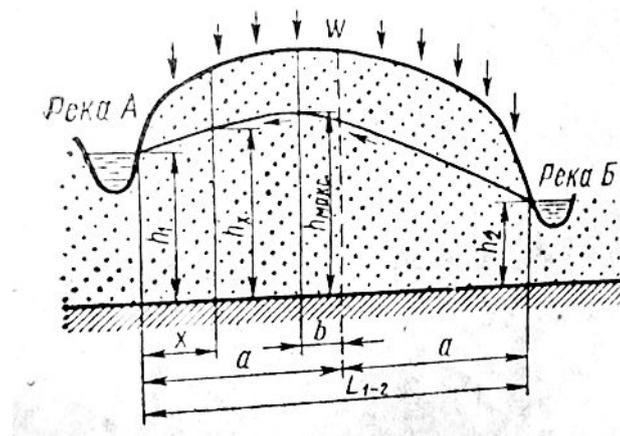


Рис.38. Схема движения грунтовых вод в междуречном массиве при наличии инфильтрации:  $h_1, h_2$  – мощности водоносного горизонта соответственно у урезков рек А и Б;  $h_x$  – мощность водоносного горизонта в промежуточном сечении, отстоящем от уреза реки А на расстоянии  $x$ ,  $h_{\text{макс}}$  – максимальная мощность водоносного горизонта в междуречном массиве,  $b$  – величина смещения водораздела грунтовых вод,  $Q = L_{1-2}/2$ .

Депрессионная кривая может иметь различный вид. Если уровни воды в реках, ограничивающих междуречье, одинаковы, то депрессионная кривая выпуклая (эллипс), наивысшая точка ее (точка водораздела грунтовых вод) находится посередине междуречья. В таком случае от водораздела поток направлен в разные стороны к рекам междуречья. Если уровни воды в реках разные, то водораздел грунтовых вод смещается в сторону реки с большей абсолютной отметкой уров-

ня. Величина смещения водораздела грунтовых вод  $b$  определяется по формуле:

$$b = \frac{k}{W} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}}. \quad (91)$$

Обозначения те же, что и в формуле (87). При увеличении разности уровней воды в реках междуречья и уменьшения интенсивности инфильтрации смещение водораздела грунтовых вод в пределе станет равным половине расстояния между урезами рек. В этом случае водораздел грунтовых вод отсутствует и поток будет направлен от одной реки к другой.

Для построения депрессионной кривой можно воспользоваться уравнением Г.Н.Каменского по определению ординаты кривой депрессии в любом сечении междуречья:

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_2^2}{L_{1-2}}x} + \frac{W}{k}(L_{1-2} - x)x. \quad (92)$$

Задаваясь значениями  $x$ , вычисляют соответствующие для них значения  $h_x$ . По полученным данным строят депрессионную кривую.

В уравнение (92) входят инфильтрация  $W$  и коэффициент фильтрации  $k$ . Величину инфильтрации трудно определить опытным путем. Трудно бывает также определить и усредненное значение коэффициента фильтрации для всего междуречного массива.

Эти трудности можно избежать, если на междуречье пробурить 3 скважины. Имея данные по трем скважинам, отношение  $W/k$  определяют по формуле

$$\frac{W}{k} = \left[ \frac{h_2^2 - h_1^2}{(L_{1-2} - x) - x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L_{1-2} - x)L_{1-2}} \right], \quad (93)$$

где  $h_1, h_2, h_3$  – мощности водоносного горизонта в крайних ( $h_1$  и  $h_2$ ) и промежуточной  $h_3$  скважинах;  $x$  – расстояние между первой и промежуточной скважинами. Если коэффициент фильтрации известен, тогда определяется только размер инфильтрации:

$$W = k \left[ \frac{h_2^2 - h_1^2}{(L_{1-2} - x) - x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L_{1-2} - x)L_{1-2}} \right], \quad (94)$$

Приведенные выше формулы даны для случаев с горизонтальным залеганием водоупора на междуречном массиве. Если водоупор наклонный, то для практических расчетов его принимают горизонталь-

ным, расположенным на отметке, равной среднему сечению междуречья.

**Задача.** На междуречном массиве пройдены три скважины, две из них у уездов рек *A* и *B*, третья – в 1 км от уреза реки *A* (рис. 29). Скважины вскрыли водоносные пески с коэффициентом фильтрации 12,3 м/сут. Мощность водоносных песков в скв. 1 – 11,82 м, в скв. 2 – 7,33 и в скв. 3 – 13,27 м. Водоупорное ложе горизонтальное. Ширина междуречья 5,2 км.

*Требуется определить:* 1) размер инфильтрации и смещения водораздела грунтовых вод; 2) максимальную мощность грунтовых вод и мощность потока в сечении, отстоящем в 3,7 км от уреза реки *A*.

**Решение.** При наличии трех скважин на междуречном массиве можно определить инфильтрации. По формуле (94):

$$W = k \left[ \frac{h_2^2 - h_1^2}{(L_{1-2} - x) - x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L_{1-2} - x)L_{1-2}} \right] =$$

$$= 12,3 \left[ \frac{13,27^2 - 11,82^2}{(5200 - 1000)1000} + \frac{11,82^2 - 7,33^2}{(5200 - 1000)5200} \right] = 0,000155 \text{ м/сут.}$$

Величина смещения водораздела грунтовых вод вычисляется по формуле (91):

$$b = \frac{k}{W} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}} = \frac{12,3}{0,000155} \cdot \frac{11,82^2 - 7,33^2}{2 \cdot 5200} = 656 \text{ м.}$$

Зная *b*, можно определить расстояние от сечения с максимальной мощностью до уреза реки *A*. это расстояние равно:

$$\cdot \frac{L_{1-2}}{2} - b = a - b = 2600 - 656 = 1944 \text{ м.}$$

После этого определим максимальную мощность грунтовых вод в междуречье по формуле (92). Подставляя в формулу цифровые данные (*x* = 1944 м), получим

$$h_{\text{макс}} = \sqrt{11,82^2 - \frac{11,82^2 - 7,33^2}{5200} \cdot 1944} + \frac{0,000155}{12,3} (5200 - 1944) \cdot 1944 = 13,69 \text{ м}$$

Аналогичным образом определяют мощность потока в сечении, отстоящем от уреза реки *A* на 3,7 км:

$$h_x = \sqrt{11,82^2 - \frac{11,82^2 - 7,33^2}{5200} \cdot 3700} + \frac{0,000155}{12,3} (5200 - 3700) \cdot 3700 = 12,618 \text{ м}$$

**Движение подземных вод в пластах  
с постепенным изменением водопроницаемости  
в горизонтальном направлении**

Расход напорного потока в пласте постоянной мощности при постепенном изменении водопроницаемости определяется по формуле

$$q = m \frac{k_2 - k_1}{\ln k_2 - \ln k_1} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} \quad (95)$$

Для грунтовых вод формула аналогична и имеет следующий вид:

$$q = \frac{k_2 - k_1}{\ln k_2 - \ln k_1} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}}. \quad (96)$$

Уравнения ординаты кривой пьезометрического уровня для артезианских вод и депрессионной кривой для грунтовых вод получают сопоставлением расходов на участках 1–2 и 1– $x$ :

1) для артезианских вод:

$$H_x = H_1 - \frac{k_2 - k_1}{k_x - k_1} \cdot \frac{\ln k_x - \ln k_1}{\ln k_2 - \ln k_1} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L_{1-2}} \cdot x, \quad (97)$$

2) для грунтовых вод:

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{k_2 - k_1}{k_x - k_1} \cdot \frac{\ln k_x - \ln k_1}{\ln k_2 - \ln k_1} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{L_{1-2}} \cdot x}, \quad (98)$$

где  $k_x$  – промежуточное значение коэффициента фильтрации в сечении, расположенном на расстоянии  $x$  от сечения 1. Остальные буквенные обозначения см. на рис. 39. Величина  $k_x$  определяется по уравнению, которое выражает закономерность линейного изменения коэффициента фильтрации.

Это уравнение записывается следующим образом:

$$k_x = k_1 + \frac{k_2 - k_1}{L_{1-2}} \cdot x. \quad (99)$$

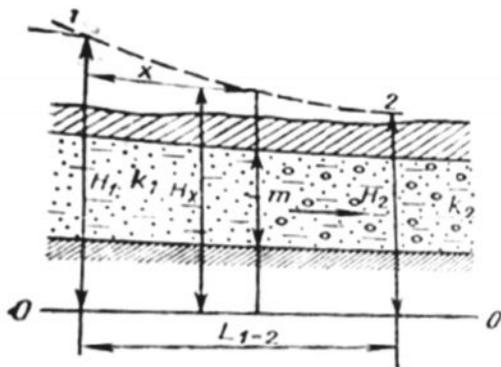


Рис. 39. Движение артезианских вод в пласте с постепенным изменением водопроницаемости в горизонтальном направлении:  $k_1, k_2$  – коэффициенты фильтрации водовмещающих пород соответственно в сечениях 1 и 2, отстоящих друг от друга на расстоянии  $L_{1-2}$ ,  $m$  – мощность водоносного горизонта,  $H_1, H_2, H_x$  – высоты напоров соответственно в сечениях 1, 2 и промежуточном.

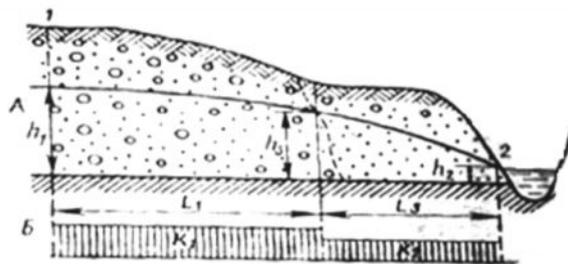


Рис. 40. Движение грунтовых вод при резкой смене водопроницаемости пород по направлению потока:  $A$  – разрез,  $B$  – эпюра водопроницаемости:  $h_1, h_2, h_S$  – мощности водоносного горизонта соответственно в сечениях 1, 2 и промежуточном,  $L_1$  – расстояние между первым и промежуточным сечениями,  $L_2$  – расстояние между сечениями промежуточными и 2;  $k_1, k_2$  – коэффициенты фильтрации водовмещающих пород соответственно верхнего и нижнего по потоку слоев

### Движение подземных вод в пластах с резкой сменой водопроницаемости в горизонтальном направлении

Резкая смена водопроницаемости в горизонтальном направлении наблюдается в грунтовых водах при сочленении речных террас, на участках сбросов, оползневых склонах и др. нередко изменение водопроницаемости наблюдается и в артезианских водах.

Единичный расход для грунтовых вод определяется уравнением

$$q = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 \left( \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} \right)}, \quad (100)$$

где все буквенные обозначения показаны на рис.40. Для артезианских вод уравнение единичного расхода имеет аналогичный вид:

$$q = \frac{H_1 - H_2}{\frac{L_1}{T_1} + \frac{L_2}{T_2}}, \quad (101)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – напоры в крайних сечениях (в верхнем и нижнем по потоку);  $L_1$  и  $L_2$  – протяженность слоев различной водопроницаемости;  $T_1$  и  $T_2$  – коэффициенты водопроницаемости ( $T = km$ ) первого и второго слоев.

Депрессионную кривую для грунтовых вод строят, определив мощность потока  $hx$  по сечениям с помощью формулы (82); вначале находят  $h_x$  для первого участка потока с мощностями в крайних сечениях  $h_1$  и  $h_s$ , затем для второго участка с мощностями на границах  $h_s$  и  $h_2$  (рис. 40). Аналогичным путем строят пьезометрическую кривую для напорных вод по формуле (89).

#### Глава 14. Применение уравнений неустановившегося движения подземных вод для решения гидрогеологических задач

При решении задач неустановившегося движения подземных вод широко используется метод конечных разностей. Уравнения в конечных разностях получены для плоского одномерного и двухмерного в плане потоков грунтовых вод. Более сложные задачи неустановившегося движения подземных вод решаются методами моделирования. Ниже даются уравнения в конечных разностях для плоского одномерного потока грунтовых вод и приводятся примеры определения водоотдачи и инфильтрации. Уравнение в конечных разностях для плоского одномерного потока имеет вид (рис. 41)

$$\mu \frac{H_{2,s+1} - H_{2,s}}{\Delta t} = \frac{1}{l_{1-2} + l_{2-3}} \left[ k_{1-2} (h_{1,s} + h_{2,s}) \frac{H_{1,s} - H_{2,s}}{l_{1-2}} - k_{2-3} (h_{2,s} + h_{3,s}) \frac{H_{1,s} - H_{2,s}}{l_{1-2}} \right] + W, \quad (102)$$

где  $H_{1,s}$ ,  $H_{2,s}$ ,  $H_{3,s}$  – напоры в начальный момент времени  $s$  соответственно в сечениях 1, 2 и 3;  $H_{2,s+1}$  – напор в среднем сечении 2 в конечный момент времени  $s + 1$ ;  $h_{1,s}$ ,  $h_{2,s}$ ,  $h_{3,s}$  – мощности водоносного пласта в начальный момент времени  $s$  соответственно в сечениях 1, 2 и 3;  $l_{1-2}$  и  $l_{2-3}$  – расстояние соответственно между сечениями 1-2 и 2-3;  $\Delta t$  – промежуток времени между начальным моментом времени  $s$  и конечным моментом времени  $s + 1$ ;  $W$  – инфильтрация (положи-

тельная величина) или испарение (отрицательная величина);  $k_{1-2}$  и  $k_{2-3}$  – коэффициенты фильтрации водовмещающих пород соответственно между сечениями 1-2 и 2-3;  $\mu$  – водоотдача (при понижении уровня) или недостаток насыщения (при повышении уровня) водовмещающих пород в зоне колебания уровня грунтовых вод.

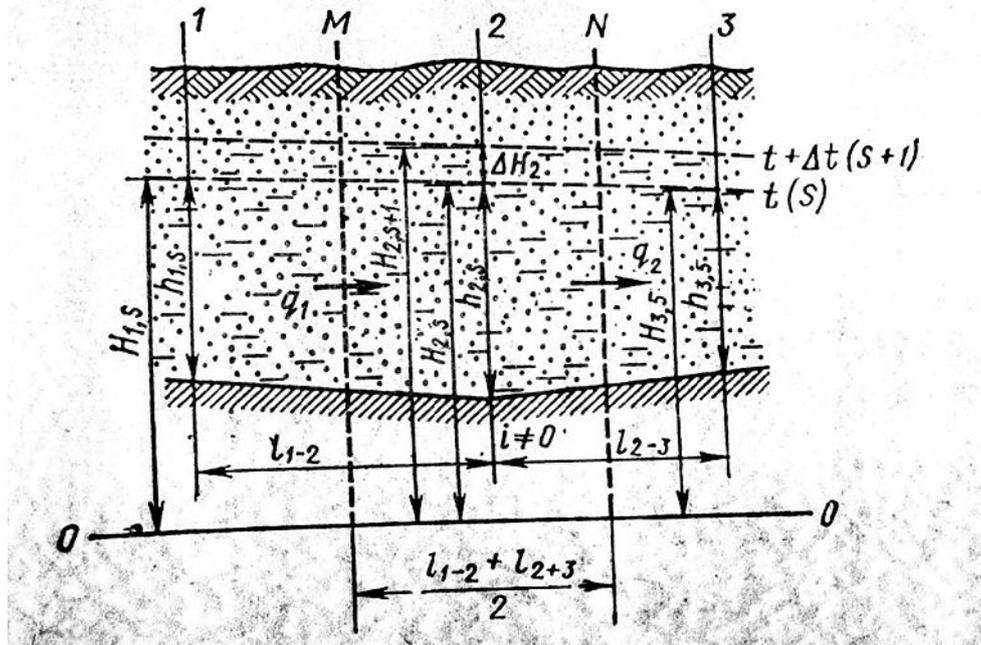


Рис.41. Схема к уравнению неустановившейся фильтрации грунтовых вод в конечных разностях

При горизонтальном залегании водоупора уравнение примет вид

$$\mu \frac{h_{2,s+1} - h_{2,s}}{\Delta t} = \frac{1}{l_{1-2} + l_{2-3}} \left[ k_{1-2} (h_{1,s} + h_{2,s}) \frac{h_{1,s} - h_{2,s}}{l_{1-2}} - k_{2-3} \frac{h_{2,s}^2 - h_{3,s}^2}{l_{2-3}} \right] + W. \quad (103)$$

С помощью уравнений (7.25) и (7.26) можно определить водоотдачу или недостаток насыщения  $\mu$ . Для этого выбирают период наблюдений, когда инфильтрация атмосферных осадков отсутствует ( $W = 0$ ), и решают уравнения относительно  $\mu$ . При наклонном залегании водоупора уравнение имеет вид

$$\mu = \frac{\Delta t}{(l_{1-2} + l_{2-3})(h_{2,s+1} - h_{2,s})} \left[ k_{1-2} (h_{1,s} + h_{2,s}) \frac{H_{1,s} - H_{2,s}}{l_{1-2}} - k_{2-3} (h_{2,s} + h_{3,s}) \frac{H_{2,s} - H_{3,s}}{l_{2-3}} \right] \quad (104)$$

Если водоупорное ложе горизонтальное, получаем аналогичное уравнение:

$$\mu = \frac{\Delta t}{(l_{1-2} + l_{2-3})(h_{2,s+1} - h_{2,s})} \left[ k_{1-2} \frac{h_{1,s}^2 - h_{2,s}^2}{l_{1-2}} - k_{2-3} \frac{h_{2,s}^2 - h_{3,s}^2}{l_{2-3}} \right]; \quad (105)$$

Решая уравнение (99) и (100) относительно  $W$ , получим формулы для определения инфильтрационного питания:

а) для потока грунтовых вод с наклонным залеганием водоупора:

$$W = \mu \frac{H_{2,5+1} - H_{2,5}}{\Delta t} - \frac{1}{l_{1-2} + l_{2-3}} \left[ k_{1-2} (h_{1,5} + h_{2,5}) \times \frac{H_{1,5} - H_{2,5}}{l_{1-2}} - k_{2-3} (h_{2,5} + h_{3,5}) \frac{H_{2,5} - H_{3,5}}{l_{2-3}} \right] \quad (106)$$

б) для потока грунтовых вод с горизонтальным залеганием водоупора:

$$W = \mu \frac{H_{2,5+1} - H_{2,5}}{\Delta t} - \frac{1}{l_{1-2} + l_{2-3}} \left[ k_{1-2} \frac{h_{1,5}^2 - h_{2,5}^2}{l_{1-2}} - k_{2-3} \frac{h_{2,5}^2 - h_{3,5}^2}{l_{2-3}} \right] \quad (107)$$

**Задача.** В котловине затухшей дефляции пройдены три скважины по потоку грунтовых вод. Грунтовые воды приурочены к мелкозернистым пескам хвалынского и хазарского ярусов с коэффициентом фильтрации 0,46 м/сут. Пески подстилаются горизонтальным слоем глин бакинского яруса. Расстояние между скважинами 1 и 2 – 184 м, а между 2 и 3 – 110 м.

По всем трем скважинам велись наблюдения за колебаниями уровня грунтовых вод. Результаты наблюдений за отдельные периоды (зимний, весенний и летне-осенний) приведены в табл.17.

Таблица 17

Дата наблюдений	Промежуток времени, сут.	Мощности водоносного пласта по скважинам		
		1	2	3
7/І		20,48	20,22	20,21
22/ІІ	46	20,49	20,26	20,23
13/ІV		20,52	20,32	20,30
1/V	17	20,69	20,14	20,40
19/VІІ		20,40	20,13	20,09
10/ІХ	58	20,37	20,12	20,07

Требуется определить: величину водоотдачи  $\mu$  и питание грунтовых вод за счет инфильтрации  $W$ .

**Решение.** По результатам наблюдений за зимний период (с 7/І по 22/ІІ) определим водоотдачу. Инфильтрация в этот период может быть принята равной нулю. Водоотдачу  $\mu$  определим по формуле

(105). Так как в данной задаче коэффициент фильтрации – величина постоянная ( $k_{1-2} = k_{2-3} = k$ ), то после вынесения его за квадратные скобки уравнение (105) примет вид

$$\mu = \frac{k\Delta t}{(l_{1-2} + l_{2-3})(h_{2,5+1} - h_{2,5})} \left[ \frac{h_{1,5}^2 - h_{2,5}^2}{l_{1-2}} - \frac{h_{2,5}^2 - h_{3,5}^2}{l_{2-3}} \right]$$

Подставляя в уравнение цифровые данные получим

$$\mu = \frac{0,46 \cdot 0,46}{(184 + 110) \cdot (20,26 - 20,22)} \cdot \left[ \frac{20,48^2 - 20,22^2}{184} - \frac{20,22^2 - 20,21^2}{110} \right] = 0,10.$$

Инфильтрацию  $W$  определим для весеннего и летне-осеннего периодов по формуле (107). Вынесем (как и в предыдущем случае) за квадратные скобки коэффициент фильтрации. Тогда уравнение примет вид

$$W = \mu \frac{h_{2,s+1} - h_{2,s}}{\Delta t} - \frac{k}{l_{1-2} + l_{2-3}} \left[ \frac{h_{1,s}^2 - h_{2,s}^2}{l_{1-2}} - \frac{h_{2,s}^2 - h_{3,s}^2}{l_{2-3}} \right]$$

Подставив цифровые значения в уравнение получим:

а) для весеннего периода

$$W = 0,10 \frac{20,44 - 20,32}{17} - \frac{0,46}{184 + 110} \cdot \left[ \frac{20,52^2 - 20,32^2}{184} - \frac{20,32^2 - 20,30^2}{110} \right] =$$

$$= 0,00065 \text{ м/сут} = 0,65 \text{ мм/сут.}$$

б) для летне-осеннего периода

$$W = 0,10 \cdot \frac{20,12 - 20,13}{58} - \frac{0,46}{184 + 110} \cdot \left[ \frac{20,40^2 - 20,13^2}{184} - \frac{20,13^2 - 20,09^2}{110} \right] =$$

$$= -0,00009 \text{ м/сут} = -0,09 \text{ мм/сут.}$$

Из полученных значений  $W$  следует, что в весенний период грунтовые воды питаются за счет инфильтрации, а летне-осенний период происходит испарение с поверхности грунтовых вод.

## Глава 15. Движение подземных вод в районах гидротехнических сооружений и водохранилищ

### 15.1 Прогноз подпора грунтовых вод

Подпор грунтовых вод представляет собой повышение их уровня под влиянием различных факторов, главным образом искусственных.

Развитие подпора характеризуется непрерывным повышением уровня грунтовых вод на территории, примыкающей к водохранилищу. Если скорость повышения уровня воды уменьшается во времени, такой подпор называется неустановившимся. Его пределом служит так называемое стационарное положение депрессионной кривой, которое наблюдается при прекращении практически подъема уровня. Такой подпор называется стационарным или установившимся.

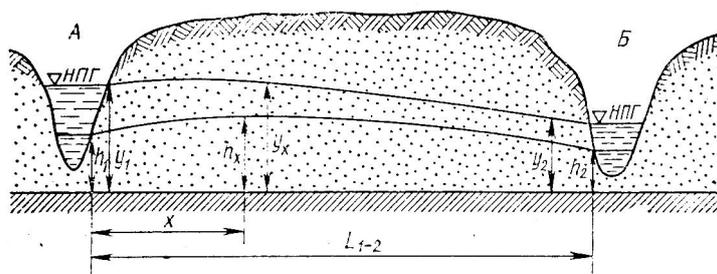


Рис.42. Схема подпора грунтовых вод в междуречном массиве:  
 $h_1, h_2, h_x$  — мощности водоносного горизонта до подпора,  $y_1, y_2, y_x$  — мощности водоносного горизонта после подпора

Расчеты подпора грунтовых вод проводят по поперечникам, ориентированным перпендикулярно к берегу водохранилища, от сечения к сечению, т.е. каждое предыдущее сечение служит исходным для последующего. Ниже приведены наиболее простые случаи расчета подпора грунтовых вод.

**Стационарный подпор грунтовых вод в однородном пласте при горизонтальном залегании водоупора.** Рассмотрим междуречный массив (рис. 42), где подпор происходит а реках А и Б. Мощность водоносного горизонта в любом промежуточном сечении  $x$  после подпора с учетом инфильтрации определяется по формуле.

$$y_x = \sqrt{h_x^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L_{1-2} - x}{L_{1-2}} + (y_2^2 - h_2^2) \frac{x}{L_{1-2}}}$$

Все буквенные обозначения формулы см. на рис. 33. При наличии подпора только в одной реке, например реке *A*, формула расчета упрощается:

$$y_x = \sqrt{h_x^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L_{1-2} - x}{L_{1-2}}} \quad (108)$$

Если область питания водоносного горизонта очень велика по сравнению с зоной подпора, то, по предложению Н.Н.Биндемана, можно допустить, что при  $L_{1-2} > 10$  хвеличина  $\frac{L_{1-2} - x}{L_{1-2}}$  примерно равна единице. Тогда формула примет вид

$$y_x = \sqrt{h_x^2 + y_1^2 - h_1^2} \quad (109)$$

**Задача.** На междуречье скважины 3 и 4 вскрыли грунтовые воды. Мощность водоносной толщи в скважине 3—26,53 м, в скважине 4—24,32 м. У урезов рек *A* и *B* мощность грунтовых вод соответственно равна 25,75 и 20,60 м. Водоупорное ложе горизонтальное (рис. 43). От уреза реки *A* скважина 3 находится в 500 м, скважина 4 — в 1500 м. Расстояние между урезами рек *A* и *B* равно 3000 м. в связи со строительством плотины на реке *A* уровень в ней поднимется на 5,00 м.

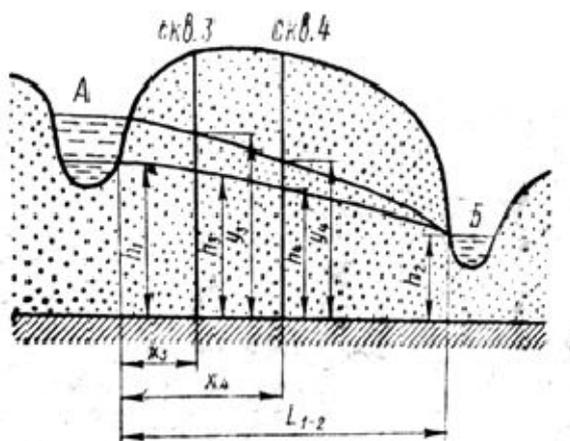


Рис. 43. Расчетная схема к задаче

Определить, на сколько поднимется уровень грунтовых вод в скважинах 3 и 4 после строительства платины.

**Решение.** Определим мощности водоносного горизонта после подпора в скважинах 3 и 4 ( $y_3$  и  $y_4$ ). По условиям задачи подпор будет только в одной реке, поэтому воспользуемся формулой (108):

$$\begin{aligned}
y_3 &= \sqrt{h_3^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L_{1-2} - x_3}{L_{1-2}}} = \\
&= \sqrt{26,53^2 + (30,75^2 - 25,75^2) \cdot \frac{3000 - 500}{3000}} = 30,65 \text{ м}; \\
y_4 &= \sqrt{h_4^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L_{1-2} - x_4}{L_{1-2}}} = \\
&= \sqrt{24,32^2 + (30,75^2 - 25,75^2) \cdot \frac{3000 - 1500}{3000}} = 27,07 \text{ м}.
\end{aligned}$$

Зная мощности водоносного горизонта в скважинах после подпора, легко вычислить подпор в этих скважинах ( $z_3$  и  $z_4$ ). Он равен разности мощностей водоносного горизонта после и до подпора в соответствующих скважинах:

$$\begin{aligned}
z_3 &= y_3 - h_3 = 30,63 - 26,53 = 4,10 \text{ м}; \\
z_4 &= y_4 - h_4 = 27,07 - 24,32 = 2,75 \text{ м}.
\end{aligned}$$

**Стационарный подпор грунтовых вод в однородном пласте при наклонном залегании водоупора.** По Г.Н.Каменскому, подпор  $z_2$  в сечении, расположенном на расстоянии  $L_{1-2}$  от реки, определяется по формуле

$$(h_1 + h_2)(H_1 - H_2) = [(h_1 + z_1) + (h_2 + z_2)][(H_1 + z_1) - (H_2 + z_2)] \quad (110)$$

Все буквенные обозначения формулы (8.4) см. на рис. 35.

**Задача.** По створу, расположенному перпендикулярно к реке, пройдены скважины 2 и 3 на расстоянии соответственно 60 и 100 м от уреза реки (рис.43). Скважины вскрыли водоносный горизонт с наклонным залеганием водоупора. Уровень воды в скважине 2 установился на отметке 117,05 м, в скважине 3 – на отметке 118,55 м. мощности водоносного горизонта в них соответственно равны 14,25 и 13,55 м у уреза реки мощность водоносного горизонта 8,50 м уровень воды в реке до подпора имел отметку 114,00 м, после подпора – 120,00 м.

Определить подпор и отметки уровня после подпора в скважинах 2 и 3.

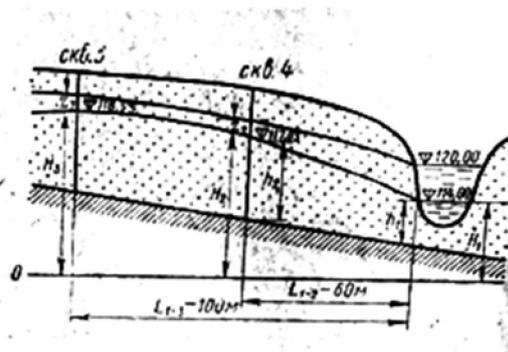
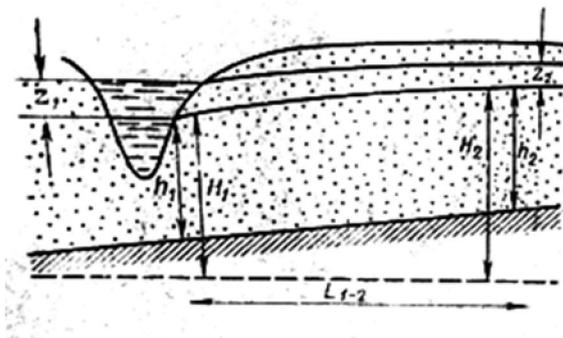


Рис.44. схема подпора грунтовых вод в однородном пласте при наклонном залегании водоупора:  $h_1$   $h_2$  – мощности водоносного горизонта соответственно у уреза реки и в сечении, отстоящем от уреза реки на расстоянии  $L_{1-2}$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  – высоты напора у уреза реки и в выбранном сечении,  $z_1$ ,  $z_2$  – величина подпора в реке к в выбранном сечении.

Рис.44-а. Схема к расчету подпора грунтовых вод при наклонном залегании водоупора (к задаче)

**Решение.** Возьмем за первое сечение урез реки, за второе – скважину 2 и подставим в формулу (110) цифровые значения:

$$(8,50 + 14,25) \cdot (114,0 - 117,05) = [(8,50 + 6,00) + (14,25 + z_2)] \times [(114,0 + 6,00) - (117,05 + z_2)].$$

Получаем квадратное уравнение:  $z_2^2 + 25,80z_2 - 154,20 = 0$ . Решив его, устанавливаем подпор в скважине 2 :  $z_2 = 5,01$  м. Отметка уровня воды в скважине 2 равна:  $H_2 + z_2 = 117,05 + 5,01 = 122,06$  м. Для определения подпора в скважине 3 за первое сечение принимается скважина 2, за второе – скважина 3. Тогда формула (8.4) примет вид

$$(h_2 + h_3)(H_2 - H_3) = [(h_2 + z_2) + (h_3 + z_3)][(H_2 + z_2) - (H_3 + z_3)].$$

Представляя цифровые значения в формулу, находим

$$(14,25 + 13,55) \cdot (117,06 - 118,55) = [(14,25 + 5,01) + (13,55 + z_3)] \times [(117,05 + 5,01) - (118,55 + z_3)].$$

Получаем квадратное уравнение  $z_3^2 + 29,30z_3 - 156,86 = 0$ . Решив его, находим, что  $z_3 = 4,62$  м. Отметка уровня воды в скважине 3 после подпора  $H_3 + z_3 = 118,55 + 4,62 = 123,17$  м.

## 15.2 Фильтрационные расходы воды под плотиной и в обход ее плечевых примыканий, потери воды на фильтрацию из водохранилищ и каналов

Вода из водохранилищ фильтруется в нижний бьеф единым потоком. Однако для упрощения расчетов поток делят на две части: под основанием плотины и в обход ее плечевых примыканий. Ниже рассмотрены аналитические решения по определению фильтрационных расходов для наиболее простых случаев. В сложных гидрогеологических условиях фильтрационные задачи решаются с помощью электрического или гидравлического моделирования.

**Фильтрация под плотиной при однородном строении основания.** Фильтрационный расход под основанием плотины с плоским флютбетом в однородном пласте при горизонтальном водоупоре определяется по формуле Н.Н.Павловского:

$$q = kHq_r, \quad (111)$$

где  $q$  – фильтрационный расход, приходящийся на единицу длины плотины;  $k$  – коэффициент фильтрации водоносных пород под плотиной;  $H$  – действующий напор (рис.45), разность между напорами в верхнем и нижнем бьефах –  $H = H_1 - H_2$ ;  $q_r$  – приведенный фильтрационный расход, т.е. расход при  $k = 1$ ,  $H = 1$  определяется по графику рис. 46.

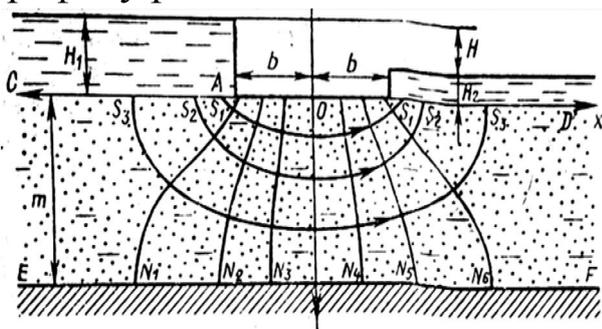


Рис.45. Схема к расчету фильтрации под плотиной с плоским флютбетом при однородном строении основания:

$S_1, S_2, S_3$  – линии тока;

$N_1, N_2, \dots, N_6$  – линии равных напоров;

$b$  – половина ширины флютбета;

$m$  – мощность фильтрующей толщи.

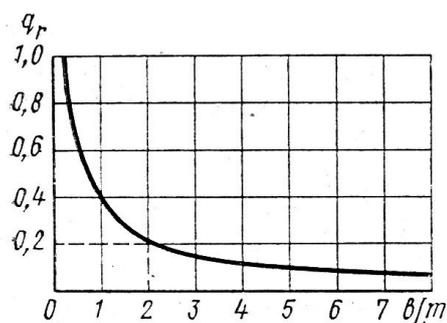


Рис. 46. График для определения приведенного фильтрационного расхода

Зная длину плотины  $B$ , легко определить общий расход под плотиной по формуле

$$Q = B \cdot q \quad (112)$$

**Задача.** В основании плотины с плоским флютбетом шириной 36 м и длиной 150 м залегают мелкозернистые пески с коэффициентом фильтрации 3,4 м/сут. Мощность песков 9,45 м. подстилаются пески слоем горизонтально залегающих глин. Напоры в верхнем и нижнем бьефах соответственно равны 13,0 и 3,0 м.

Требуется определить единичный расход и общий расход потока под плотиной.

**Решение.** Единичный расход под плотиной определяем по формуле:

$$q = kHq_r$$

Действующий напор – разность напоров в верхнем и нижнем бьефах, т.е.  $H = H_1 - H_2 = 13,0 - 3,0 = 10,0$  м. При  $\frac{b}{m} = \frac{18}{9,45} = 1,9$  приведенный расход  $q_r$ , определённый по графику рис. 43, равен 0,22. Подставляя полученные цифровые значения в формулу (111), найдем единичный расход:

$$q = 3,4 \cdot 10,0 \cdot 0,22 = 7,48 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий расход под плотиной может быть определен по формуле (112):

$$Q = Bq = 150 \cdot 7,48 = 1122 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

**Фильтрация под плотиной при многослойном основании.** Для такого случая нет точных аналитических решений. Существующие способы расчета весьма приближенные. Рассмотрим один из них (метод виртуального приведения неоднородной толщи к однородной) на конкретном примере.

**Задача.** Плотина с плоским флютбетом проектируется на многослойном основании, которое состоит из четырех водопроницаемых слоев, имеющих (сверху вниз) мощность  $m_1 = 2,15$ ;  $m_2 = 1,25$ ;  $m_3 = 4,30$ ;  $m_4 = 1,75$  м. Соответственно коэффициенты фильтрации равны:  $k_1 = 1,0$ ;  $k_2 = 1,5$ ;  $k_3 = 12,0$ ;  $k_4 = 8,0$  м/сут. Размеры плотины и высота напоров в верхнем и нижнем бьефах такие же как в предыдущей.

**Определить** единичный расход под основание плотины.

**Решение.** Четырехслойная толща приводится к схеме двухслойного строения. Для этого в качестве основных выбираются первый и третий слои (с минимальными максимальными коэффициентами фильтрации). Двухслойная толща будет характеризоваться коэффициентами фильтрации верхнего слоя

$k_I = k_1 = 1,0$  м/сут нижнего слоя  $k_{II} = k_3 = 12,0$  м/сут. Мощности верхнего и нижнего слоев будут соответственно равны:

$$m_I = m_1 + \frac{k_2}{k_1} m_2 = 2,15 + \frac{1,5}{1,0} \cdot 1,25 = 4,02 \text{ м};$$

$$m_{II} = m_3 + \frac{k_4}{k_2} m_4 = 4,30 + \frac{8,0}{12,0} \cdot 1,75 = 5,47 \text{ м}.$$

При двухслойном строении основания единичный расход под плотиной определяется по формуле Г.Н.Каменского:

$$q = \frac{H}{\frac{2b}{k_{II} m_{II}} + 2\sqrt{\frac{m_I}{k_I k_{II} m_{II}}}} \quad (113)$$

где  $H$  – высота напора, м;  $b$  – половина ширины флютбета, м;  $k_I$ ,  $k_{II}$ ,  $m_I$ ,  $m_{II}$  – коэффициенты фильтрации (м/сут) и мощности верхнего I и нижнего II слоев, м. Подставив в формулу цифровые значения, получим

$$q = \frac{10}{\frac{36}{12 \cdot 5,47} + 2\sqrt{\frac{4,02}{1,0 \cdot 12,0 \cdot 5,47}}} = 9,52 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Аналогичным способом многослойное основание под плотиной можно привести к условно однородной толще по коэффициенту фильтрации одного из слоев.

**Фильтрация в обход плечевых примыканий плотины.** Для простых гидрогеологических условий обходную фильтрацию можно рассчитать по формуле Н.Н.Веригина, преобразованной Н.Н.Биндеманом:

$$Q = \frac{0,366kH(h_1 + H_1) \lg B_1}{r_0} \quad (114)$$

где  $Q$  – фильтрационный расход на обходную фильтрацию;

$k$  – коэффициент фильтрации;

$B_1$  – ширина зоны обходной фильтрации;

$r_0$  – радиус полуокружности, длина которой равна периметру об-

текаемого контура берегового примыкания плотины ( $r_0 = \frac{l}{\pi}$ ), где  $l$  – периметр плечевого примыкания плотины).

Остальные буквенные обозначения см. на рис.47.

**Задача.** Плотина одним плечом примыкает к берегу, сложенному плотными глинами, другим – к берегу, сложенному крупнозернистыми песками с коэффициентом фильтрации 35 м/сут. Пески на расстоянии 250 м от уреза водохранилища сменяются плотными гли-

нами. Расстояние от уровня воды в верхнем бьефе до водоупора 15 м, а от уровня в нижнем бьефе до водоупора 8 м. периметр плечевого примыкания плотины 34,5 м (рис.47).

*Требуется определить* расход на обходную фильтрацию.

**Решение.** Исходя из гидрогеологических условий, устанавливаем, что обходная фильтрация будет иметь место только по одному из берегов. Ее расход определяем по формуле (114). Однако сначала необходимо вычислить все величины, входящие в формулу (114).

Высота напора на плотину  $H = H_1 - h_1 = 15 - 8 = 7$  м. Ширина зоны обходной фильтрации  $B_1$  обусловлена распространением крупнозернистых песков, т.е.  $B_1 = 250$  м. Радиус  $r_0 = \frac{l}{\pi} = \frac{34,5}{3,14} = 11,0$  м. Подставив в формулу числовые значения, получим

$$Q = \frac{0,366 \cdot 35 \cdot 7(8 + 15) \lg 250}{11} = 2797 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

**Фильтрация воды из водохранилищ.** По предложению Н.Н.Биндемана, необходимо различать понятия «фильтрационный расход» и «фильтрационные потери».

Фильтрационным расходом из водохранилища называется объем воды, фильтрующийся из водохранилища в единицу времени. Фильтрационными потерями следует называть разность между размером грунтового питания реки до и после устройства водохранилища. Фильтрационный расход и фильтрационные потери могут быть временными (в период насыщения берегов и дна водохранилища) и постоянными (при стабилизации депрессионной кривой).

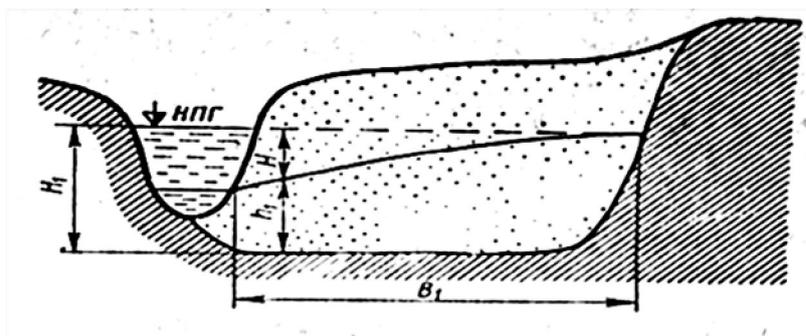


Рис.47. Схема к расчету фильтрации в обход плеч плотины:  
 $H_1$  – превышение горизонта водохранилища над водоупором;  
 $h_1$  – превышение горизонта воды в нижнем бьефе над водоупором,  
 $H$  – напор на плотине

При гидрогеологических расчетах должен учитываться не фильтративный расход, а фильтрационные потери, так как только они представляют интерес для водохозяйственных расчетов водохранилища. В большинстве случаев временные фильтрационные потери незначительные в общем водном балансе водохранилища, поэтому определяют только постоянные фильтрационные потери, которые могут быть определены по формуле

$$q_n = q_1 - q_2 = \frac{k}{2L_{1-2}}(y_1^2 - h_1^2) \quad (114)$$

где  $q_n$  – фильтрационные потери из водохранилища на единицу длины берега;  $q_1$  – расход грунтового потока до подпора на единицу длины берега;  $q_2$  – то же, но при подпоре;  $k$  – коэффициент фильтрации;  $h_1$  – мощность водоносного пласта у уреза реки до подпора;  $y_1$  – мощность водоносного пласта у уреза водохранилища после подпора;  $L_{1-2}$  – расстояние между урезами рек междуречья. Величины  $q_1$  и  $q_2$  положительные, если грунтовый поток направлен к реке (водохранилищу) и отрицательные, если поток направлен в противоположную сторону. Формула (114) справедлива для всех типичных схем при горизонтальном залегании водоупора.

**Задача.** (по П.П.Кононову, 1973). Определить величину постоянных фильтрационных потерь из водохранилища, проектируемого на реке А при подъеме в нем уровня до отметки 95,0 м, а также отметку горизонта, при которой фильтрация воды из водохранилища прекратится, и размер отвечающих этому положению фильтрационных потерь. Коэффициент фильтрации в пределах междуречья равен 50 м/сут. Горизонтальный водоупор залегает на нулевой отметке. Остальные данные см. на рис. 48.

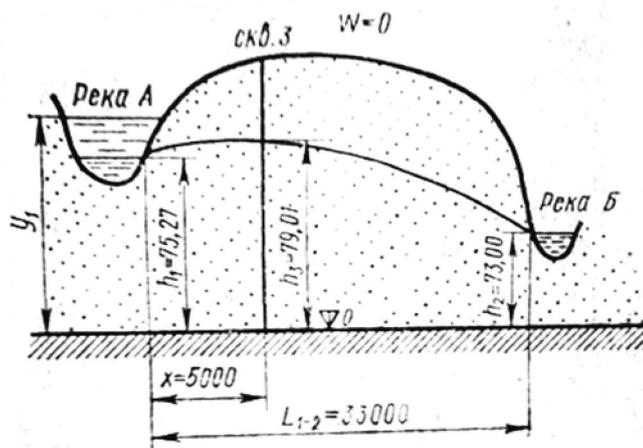


Рис.48. Схема к расчету фильтрации потерь из водохранилища (к задаче)

**Решение.** Имея данные о положении уровня в трех сечениях, определяем вначале размер инфильтрационного питания по формуле:

$$W = k \left[ \frac{h_2^2 + h_1^2}{(L_{1-2} - x)x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L_{1-2} - x)L_{1-2}} \right] = 50 \cdot \left[ \frac{79,01^2 + 75,27^2}{(33000 - 5000)5000} + \frac{75,27^2 - 73,00^2}{(33000 - 5000)33000} \right] = 0,00022 \text{ м/сут.}$$

Затем вычисляем фильтрационные потери при подъеме уровня до отметки 95,0 по формуле (114):

$$q_n = k \cdot \frac{y_1^2 - h_1^2}{2L_{1-2}} = 50 \cdot \frac{95^2 - 75,27^2}{2 \cdot 33000} = 2,54 \text{ м}^3/\text{сут}$$

на 1 м длины берега водохранилища.

Напишем формулу расхода через сечение у уреза реки  $A$  после подпора  $q_A$ . Ее можно получить из формулы (90), приравняв значение  $x$  нулю и заменив  $h_1$  и  $y_1$ . Тогда формула примет вид

$$q_n = k \cdot \frac{y_1^2 - h_1^2}{2L_{1-2}} - \frac{W L_{1-2}}{2}$$

Горизонт, при котором на урезе водохранилища фильтрационный расход будет равен нулю, можно найти, приравняв расход в сечении у уреза водохранилища нулю и решив его относительно  $y_1$ :

$$y_1 = \sqrt{\frac{W}{k} L_{1-2}^2 + h_1^2} = \sqrt{\frac{0,00022}{50} \cdot 33000^2 + 73,0^2} = \sqrt{10120,6} = 100,60 \text{ м.}$$

При этой отметке горизонта воды в водохранилище фильтрационный расход на урезе водохранилища будет равен нулю, а фильтрационные потери составят:

$$q_n = q_1 - q_2 = q_1 - 0 = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} - \frac{WL}{2} = 50 \cdot \frac{75,27^2 - 73,00^2}{2 \cdot 33000} - \frac{0,00022 \cdot 33000}{2} = -3,38 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Таким образом, фильтрационные потери – отрицательна величина, т.е. водохранилище не теряет. А получает то количество воды, которое река получала до подпора за счет грунтового питания.

**Фильтрация воды из каналов.** При анализе фильтрации воды из каналов выделяют стадию свободной фильтрации, когда вследствие просачивания воды из канала происходит промачивание пород зоны аэрации, и стадию подпертой фильтрации, когда движение воды из канала происходит в условиях взаимодействия с естественным грунтовым потоком, который как бы подпирает фильтрующий поток и уменьшает его расход и распространение.

Рассмотрим свободную фильтрацию при установившемся режиме и отсутствии грунтовых вод и дренажных понижений. Канал проло-

жен в мощной однородной толще (рис. 46). Фильтрационный расход из канала на 1 м его длины может быть определен по формуле В.В.Ведерникова:

$$q = k(B_0 + Ah_0) \quad (115)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации;  $B_0$  – ширина канала трапециевидального сечения по урезу воды;  $h_0$  – глубина воды в канале;  $A$  – коэффициент, определяемый по графику (рис.47).

**Задача.** Определить фильтрационный расход из канала на 1 м его длины по данным: ширина канала по урезу воды  $B_0 = 12$  м, глубина воды в канале  $h_0 = 2$  м; коэффициент заложения откосов  $m = \text{ctg}\varphi = 1,5$ ; коэффициент фильтрации породы  $k = 0,5$  м/сут.

**Решение.** Находим отношение  $\frac{B_0}{h_0} = \frac{12}{2} = 6$ . По графику на рис.47 определим величину  $A = 2,5$  м. Зная отношение  $B_0/h_0$  и  $A$ , по формуле (115) вычислим фильтрационный расход:

$$q = k (B_0 + Ah_0) = 0,5 (12 + 2,5 \cdot 2) = 8,5 \text{ м/сут.}$$

Фильтрация воды из каналов в случае подпертой фильтрации в зависимости от конкретных гидрогеологических условий рассчитывается с помощью тех же формул, которые применяются для водохранилищ.

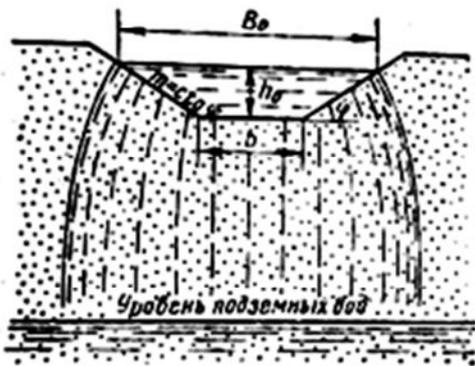


Рис.49. Схема фильтрации из канала при глубоком залегании уровня грунтовых вод

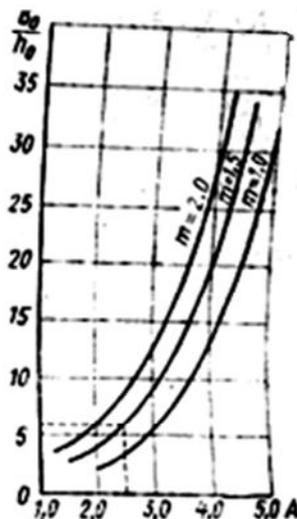


Рис.50. График для определения значения коэффициента  $A$ :  
 $[A = f(B_0/H_0, m)]$

## Глава 16 Движение подземных вод к водозаборным и дренажным сооружениям

Водозаборы инженерные сооружения по захвату подземных вод для водоснабжения, орошения и других целей. Осушение той или иной территории осуществляется искусственным понижением уровня грунтовых вод при помощи дренажных сооружений.

Водозаборные и дренажные сооружения подразделяются на вертикальные (скважины, шахтные колодцы, шурфы), горизонтальные (каптажные галереи, кяризы, горизонтальные скважины, дренажные канавы) и комбинированные (сочетание вертикальных сооружений с горизонтальными). Примером последних может быть лучевой водозабор сочетание шахтного колодца с горизонтальными скважинами. В гидрогеологической практике наибольшее распространение получили скважины, колодцы и горизонтальные дрены открытого и закрытого типов.

### 16.1 Расчеты одиночных водозаборов

Установившееся движение подземных вод к совершенным грунтовым и артезианским скважинам. Артезианская скважина (рис.48). Приток воды к совершенной артезианской скважине (дебит  $Q$ ) определяем по формуле Ж.Дюпюи:

$$Q = \frac{2\pi km (H_e - h_c)}{\ln \frac{R}{r_c}} = \frac{2,73kmS_c}{lq \frac{R}{r_c}} \quad (116)$$

где  $m$  – мощность водоносного горизонта;

$H_e$  – напор в скважине до откачки;

$h_c$  – столб воды в скважине во время откачки;

$R$  – радиус влияния откачки;

$r_c$  – радиус скважины;

$S_c$  – величина понижения.

Для построения пьезометрической кривой может быть использована формула

$$H_r = H_e - \frac{0,366}{km} \lg \frac{R}{r} \quad (117)$$

где  $H_r$  – высота напора при откачке в сечении, отстоящем от центра скважины на расстоянии  $r$ .

Задаваясь значениями  $r$  в пределах от  $r_c$  до  $R$  по формуле (117) определяем  $H_r$ . Имея несколько значений  $r$  и соответствующие им величины  $H_r$ , строим пьезометрическую кривую.

При двух наблюдательных скважинах, расположенных от действующей скважины на расстояниях  $r_1$  и  $r_2$ , с пьезометрической кривой  $H_r$  определяется по формуле

$$H_r = \frac{H_2 - H_1}{\lg \frac{r_2}{r_1}} \lg \frac{r}{r_1} + H_1 \quad (118)$$

Формула (118) обеспечивает более надежное построение пьезометрической кривой, чем (117), так как исключает использование в расчетах радиуса влияния  $R$ , определение которого весьма приближенное.

Грунтовая скважина. Формула дебита совершенной грунтовой скважины, как и артезианской, дана Ж.Дюпюи и имеет вид

$$Q = \frac{\pi k (H - h)}{\ln \frac{R}{r_c}} = 1,36 \delta k \frac{(2H_e - S_c) S_c}{\lg \frac{R}{r_c}} \quad (119)$$

Буквенные обозначения формулы (115) см. на рис. 52. Эту формулу можно использовать и для построения депрессионной кривой. Задаваясь вместо  $r_c$  и  $h_c$  различными значениями расстояния  $r$  (расстояния от центра скважины до сечения, где определяется мощность водоносного горизонта при откачке  $h_r$ ), решаем уравнение (115) относительно  $h_r$  и получаем

$$h_r = \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}} = \sqrt{H_e^2 - \frac{0,732 Q}{k} \lg \frac{R}{r}} \quad (120)$$

Более точно депрессионную кривую можно построить при двух наблюдательных скважинах, расположенных в пределах депрессионной воронки на расстояниях  $r_1$  и  $r_2$  от действующей и имеющих соответственно мощности потока  $h_1$  и  $h_2$ . Используется формула

$$h_r = \sqrt{\frac{h_2^2 - h_1^2}{\lg \frac{r_2}{r_1}} \lg \frac{r}{r_1} + h_1^2} \quad (121)$$

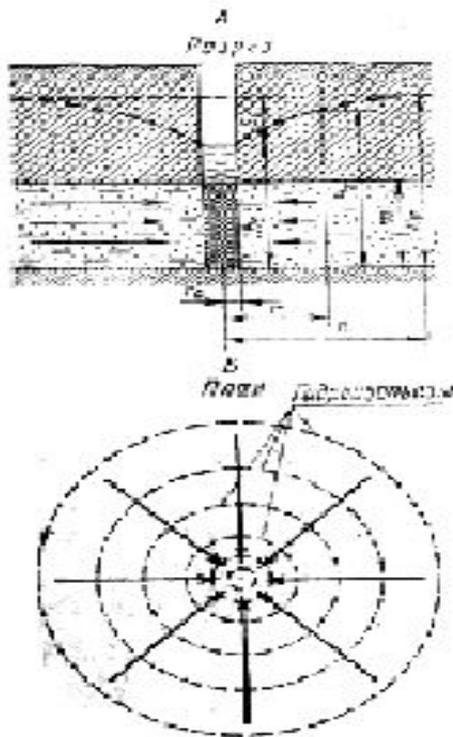


Рис.51. Схема движения воды к артезианской скважине:  
*A* – разрез, *B* – план.

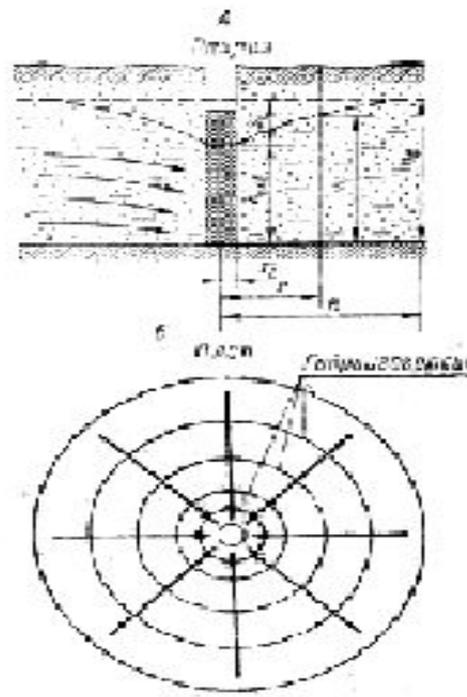


Рис.52. Схема движения воды к грунтовой скважине: *A* – разрез, *B* – план:  
 $h_{скв.}$  – столб воды в скважине во время откачки;  $S_c$  – понижение уровня в скважине,  $H_e$  – мощность водоносного горизонта до откачки,  $h_r$  – мощность водоносного горизонта во время откачки в сечении, отстоящем от центра скважины на расстоянии  $r$ ,  $r_c$  – радиус скважины,  $R$  – радиус влияния откачки.

### Установившееся движение подземных вод к несовершенным скважинам (грунтовым и артезианским)

*Определение понижения.* Имеется много расчетных формул для несовершенных скважин (грунтовых и артезианских), базирующихся на решениях Н.К.Гириного, В.Д.Бабушкина, И.А.Чарного, Н.Н.Веригина и др. при работе несовершенных скважин возникает дополнительные сопротивления, которые вызывают более значительные понижения уровня воды по сравнению с совершенными скважинами при одинаковых их дебитах. Расчетные формулы учитывают несовершенство скважин путем введения поправок.

При определении понижении в несовершенных скважинах  $S_{н.с}$  при установившемся движении можно пользоваться формулами:

1) для артезианской скважины

$$S_{н.с.} = \frac{Q}{2\pi km} \left( \ln \frac{R}{r_c} + \zeta_1 \right) \quad (122)$$

2) для грунтовой скважины

$$S_{н.с.} = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \left( \ln \frac{R}{r_c} + \zeta_1 \right)} \quad (123)$$

где  $\zeta_1$  – величина, характеризующая дополнительное сопротивление, которая определяется в зависимости от параметров  $l_0/m$  и  $m/r_c$  по графикам (рис.53 и 54). На рисунках 53 представлены графики определения  $\zeta_1$  для условий, когда водопримная часть (фильтр) находится в верхней части водоносного пласта, а на рис. 54 – для условий расположения фильтра в средней части пласта.

**Задача.** Дебит несовершенной грунтовой скважины диаметром 305 мм, заложенной в водоносных песках с коэффициентом фильтрации 10 м/сут,  $Q = 397,9$  м<sup>3</sup>/сут. Верхней части водоносного пласта мощностью 14 м установлен фильтр длиной 8 м. Радиус влияния 300 м. *Определить* понижение уровня.

**Решение.** Вначале определим понижение уровня без учета несовершенства скважины. Воспользуемся формулой (119) без  $\zeta_1$ :

$$S_c = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r_c}} = 14 - \sqrt{14^2 - \frac{397,9}{3,14 \cdot 10} \cdot \ln \frac{300}{0,152}} = 4,0 \text{ м}$$

При работе скважины осушается верхняя часть водоносного горизонта. В результате уменьшаются для рабочей части фильтра и мощность водоносного горизонта. Приняв за средние значения длины фильтра  $l_0 = S_c/2$  и мощности водоносного горизонта  $H_e - S_c/2$ , по графику на рис.53 найдем  $\zeta_1$  при

$$\frac{l_0}{m} = \frac{l_0 - 0,5S_c}{H_e - 0,5S_c} = \frac{8 - 0,5 \cdot 4}{14 - 0,5 \cdot 4} = 0,50 \text{ и } \frac{m}{r_c} = \frac{H_e - 0,5S_c}{r_c} = \frac{14 - 0,5 \cdot 4}{0,152} = 79$$

Примем  $m/r_c \approx 100$ , получим  $\zeta_1 = 3,0$ .

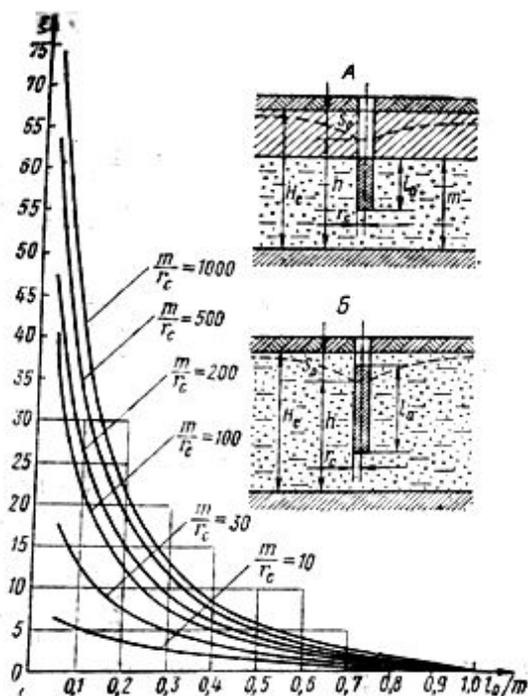


Рис. 53. Графики дополнительного сопротивления  $\xi$  при несовершенстве скважин (фильтр примыкает в водопроводе):  
 А – артезианская скважина,  
 Б – грунтовая скважина:  $m$  – мощность водоносного горизонта,  $r_c$  – радиус скважины;  $l_o$  – рабочая часть фильтра.

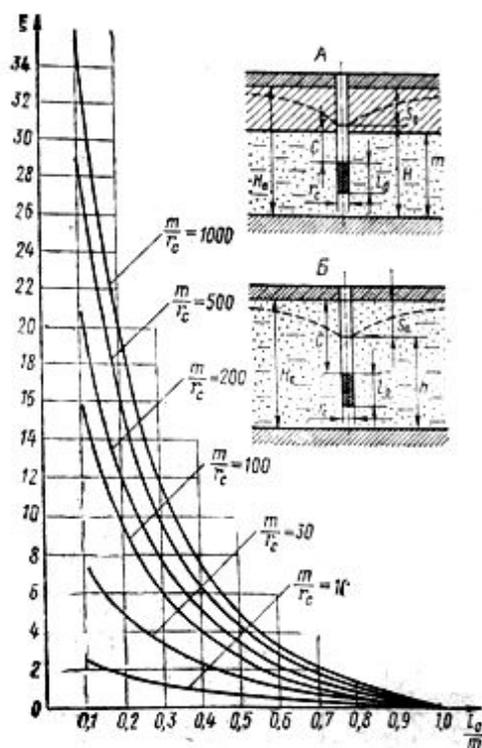


Рис. 54. Графики дополнительного сопротивления  $\xi$  при несовершенстве скважин (фильтр в средней части пласта): А – артезианская скважина, Б – грунтовая скважина

Определив  $\xi_1$  вычислим понижение уровня несовершенной скважины по формуле (120):

$$S_{н.с.} = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \left( \ln \frac{R}{r_c} + \xi_1 \right)} = 14 - \sqrt{14^2 - \sqrt{\frac{397,9}{3,14 \cdot 10} \cdot \left( \ln \frac{300}{0,152} + 3,0 \right)}} = 6,13 \text{ м.}$$

Из приведенных расчетов следует, что несовершенство скважины приводит к увеличению понижения уровня на 2,13 м.

**Расчеты дебита скважин.** Дебиты несовершенных скважин, по Н.Н. Веригину, можно рассчитать путем введения поправки в формулы для совершенных скважин. С поправкой расчетные формулы принимают вид:

1) для артезианской скважины

$$Q = 2,73k \frac{mS_c}{I g \frac{R}{r_c} + 0,217\zeta_c} \quad (122a)$$

2) для грунтовой скважины

$$Q = 1,366k \frac{(\zeta H_e - S_c) S_c}{I g \frac{R}{r_c} + 0,217\zeta_c} \quad (123a)$$

Поправка на несовершенство скважин  $\zeta_c$  дана табл.18.  
 Определение поправки на несовершенство скважин  $\zeta_c$

Таблица 18

$l_o/m$	$m/r_c$									
	0,5	1	3	10	80	100	200	500	1000	2000
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	69,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0908	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11,0	12,4
0,7	0,000546	0,0167	0,237	0,876	1,69	2,67	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,000048	0,0015	0,0251	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

Поправка  $\zeta_c$  зависит от отношений  $l_o/m$  и  $m/r_c$  ( $l_o$  – длина рабочей части фильтра;  $m$  – мощность водоносного горизонта;  $r_c$  – радиус скважины). Например  $l_o/m = 0,7$ ;  $m/r_c = 200$ . Поправку  $\xi_0$  находим на пересечении соответствующих вертикальной и горизонтальной граф  $\xi_c = 3,24$ .

**Задача.** Несовершенная скважина диаметром 305 мм вскрыла напорные воды. Мощность водоносного горизонта 15,3 м, высота напора над кровлей 8,8 м, коэффициент фильтрации водовмещающих песков 11,5 м/сут. Фильтр длиной 4,5 м примыкает к кровле водоносного горизонта. Радиус влияния достигает 300 м.

*Определить* дебит скважины при понижении уровня на 6 м.

**Решение.** Определим дебиты скважины по формуле Н.Н.Веригина (122):

$$Q = 2,73k \frac{mS_c}{I g \frac{R}{r_c} + 0,217\zeta_c}$$

Для определения поправки на несовершенство скважины  $\zeta_c$  найдем отношения  $l_o/m$  и  $m/r_c$ .

$$l_o/m = 4,5/15,3 = 0,3; m/r_c = 15,3 = 0,152 = 101.$$

По табл.18 определяем  $\xi_c = 14,5$ .

Подставив цифровые значения в формулу (122), найдем

$$S = 2,73 \cdot 11,5 \frac{15,3 \cdot 6}{\lg \frac{300}{0,152} + 0,217 \cdot 14,5} = 447 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

### **Неустановившееся движение подземных вод к совершенным и несовершенным скважинам (грунтовым и артезианским) в неограниченном пласте**

*Совершенные скважины.* При неустановившемся движении подземных вод в зоне влияния действующих скважин (грунтовых и артезианских) происходит непрерывное изменение во времени уровней, скоростей движения и расходов подземных вод. Обычно при расчетах принимают расход скважин постоянным во времени, а напор переменным по площади и во времени:

$$H = f(r, t).$$

Для получения расчетных формул при неограниченном пласте используют решения, применяемые в теории теплопроводности для характеристики температурного режима при мгновенном действии линейного теплового источника постоянной интенсивности. После соответствующих преобразований формулы приобретают вид:

1) для артезианской скважины

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \left[ -E_i \left( -\frac{r^2}{4xt} \right) \right] \quad (124)$$

2) для грунтовой скважины

$$S = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{2\pi k}} \left[ -E_i \left( -\frac{r^2}{4at} \right) \right] \quad (125)$$

где  $-E_i \left( -\frac{r^2}{4xt} \right)$  и  $-E_i \left( -\frac{r^2}{4at} \right)$  – интегральные показательные функции ( $r$  – расстояние от рассматриваемой точки до центра возмущающей скважины;  $x$  – коэффициент пьезопроводности;  $a$  – коэффициент уровнеспроводности;  $t$  – время от начала работы скважины).

Приведенные формулы – основные в теории неустановившегося фильтрации. Они позволяют определять понижение  $S_e$  любой точке области фильтрации.

При гидрогеологических расчетах обычно интегральные показательные функции с известной степенью точности заменяют логарифмическими функциями. Тогда формулы принимают вид:

1) для артезианской совершенной скважины

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2,25xt}{r^2} = \frac{0,183Q}{km} I_g \frac{2,25xt}{r^2} \quad (126)$$

2) для грунтовой совершенной скважины

$$S = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r^2}} = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{0,336Q}{k} I_g \frac{2,25at}{r^2}}. \quad (127)$$

Погрешность определения понижения уровня по приближенным формулам (124) и (125) при  $r_2/4at < 0,1$  не более 5,7%, а при  $r_2/4at < 0,1$  не превышает 0,25%.

*Несовершенные скважины.* Несовершенство грунтовых и артезианских скважин при неустановившемся движении учитывается также введением поправок в решения для совершенных скважин. Для скважин, работающих в неограниченном пласте, формулы имеют вид:

1) для артезианской несовершенной скважины

$$S_{н.с.} = \frac{Q}{4\pi km} \left[ \ln \frac{2,25xt}{r_c^2} + \zeta_1 \right] \quad (128)$$

2) для грунтовой несовершенной скважины

$$S_{н.с.} = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{2\pi k} \left[ \ln \frac{2,25at}{r_c^2} + 2\zeta_1 \right]} \quad (128a)$$

Поправка на несовершенство скважин  $\zeta_1$  в зависимости от положения фильтра и параметров  $l_0/m$ ,  $m/r_c$  определяется по тем же графикам, которые используются при установившейся фильтрации (см. рис.53 и 54).

## **16.2 Обоснование расчетных схем и расчеты взаимодействующих водозаборов и дренажных сооружений**

Гидрогеологические расчеты выполняются на основе расчетной схемы, учитывающей конкретные природные условия и особенности работы проектируемых сооружений. При схематизации природных условий и обосновании расчетных схем следует иметь в виду, что в области фильтрации подземных вод распределение основных гидродинамических элементов потока определяется начальными и граничными условиями на ее границах. Поэтому точность гидрогеологических расчетов зависит от того, насколько обоснованно будут схематизированы и учтены в расчетной схеме краевые условия и характерные признаки области фильтрации. Ниже рассмотрены некоторые методы расчетов взаимодействующих водозаборных и дренажных сооруже-

ний применительно к оценке эксплуатационных запасов подземных вод и проектированию дренажных сооружений.

**Расчеты ограниченного количества взаимодействующих скважин.** При ограниченном количестве взаимодействующих скважин и условии как установившегося, так и не установившегося движения общее понижение уровня в той или иной точке области фильтрации определяется на основе учета понижений уровня от действия каждой отдельной скважины. Обычно расчетная величина понижения  $S_{расч}$  определяется непосредственно в одной из скважин пласта, находящейся в наиболее неблагоприятных условиях, т.е. в скважине, где расчетное понижение наибольшее из взаимодействующих скважин. Расчетные формулы имеют вид:

1) для артезианской скважины

$$S_{артез} = \frac{Q_c}{4\pi km} (f_c + 2\zeta) + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi km} f_i \quad (129)$$

2) для грунтовой скважины

$$S_{грунт} = H_p - \sqrt{H_p^2 - \left[ \frac{Q_c}{2\pi k} (f_c + 2\zeta) + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{2\pi k} f_i \right]} \quad (130)$$

где  $Q_c$  и  $f_c$  – дебит и гидравлическое сопротивление скважины, в которой определяются понижение;  $\zeta$  – дополнительное сопротивление для несовершенной скважины (если скважины совершенная,  $\zeta=0$ );  $\sum_{i=1}^n$  – сумма срезок всех остальных скважин (значок  $\Delta$  означает, что из суммы исключается скважина, в которой определяется расчетное понижение).

Структура формул остается неизменной. Она не зависит от расчетной схемы, но в качестве  $f_i$  используются гидравлические сопротивления. Так, для условий неограниченного пласта формулы имеют вид:

1) для артезианской скважины

$$S_{артез} = \frac{Q_c}{4\pi km} \left( \ln \frac{2,25xt}{r_c^2} + 2\zeta \right) + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi km} \ln \frac{2,25xt}{r_{c-i}^2} \quad (131)$$

2) для грунтовой скважины

$$S_{грунт} = H_p - \sqrt{H_p^2 - \left[ \frac{Q_c}{2\pi k} \left( \ln \frac{2,25at}{r_c^2} - 2\zeta \right) + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r_{c-i}^2} \right]} \quad (132)$$

где  $x$  и  $a$  – коэффициенты пьезопроводности и уровне проводности;  $t$  – период эксплуатации скважин;  $r_0$  – радиус скважины, в кото-

рой определяется понижение;  $r_{c-1}$  -расстояние понижения, и одной из взаимодействующих с ней скважин, дебит которой  $Q_1$ .

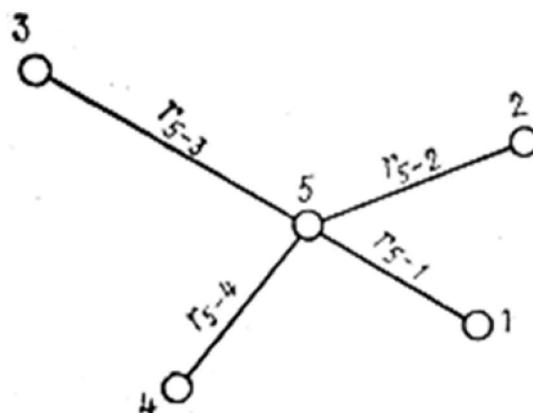


Рис. 55. Схема расчета взаимодействующих скважин (к задаче)

**Задача.** В неограниченном грунтовом потоке запроектирован водозабор из пяти совершенных скважин (рис.55).

*Требуется* определить понижение уровня в скважине 5 и наконец период эксплуатации с учетом взаимодействия всех пяти скважин при следующих исходных данных: мощность горизонта  $H_e = 30$  м; коэффициент фильтрации водовмещающих пород  $k = 15$  м/сут; дебиты скважин при эксплуатации  $Q_1 = 1000$ ,  $Q_2 = Q_3 = Q_4 = 800$  и  $Q_5 = 500$  м/сут; расстояния от скважины 5 до взаимодействующих с нею скважин  $r_{5-1} = 100$ ,  $r_{5-2} = 100$ ,  $r_{5-3} = 300$ ,  $r_{5-4} = 150$ . водоотдача пород  $\mu = 0,15$ .

**Решение.** Расчетное понижение для скважины 5 определим по формуле (132). Для пяти взаимодействующих скважин она имеет вид

$$S_{\text{расч}5} = H_e - \sqrt{H_e^2 - \left( \frac{Q_5}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r_c^2} + \frac{Q_1}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r_{c5-1}^2} + \frac{Q_2}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r_{5-2}^2} + \frac{Q_3}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r_{5-3}^2} + \frac{Q_4}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r_{5-4}^2} \right)}$$

Коэффициент уровне проводности определим, пользуясь формулой

$$a = \frac{kh_{cp}}{\mu} = \frac{15 \cdot 30}{0,15} = 3000 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Подставляя в уравнение исходные данные, получим искомую величину  $S_{\text{рас}}$ :

$$S_{\text{расч}5} = 30 -$$

$$-\sqrt{30^2 - \left( \frac{500}{6,28 \cdot 15} \ln \frac{2,25 \cdot 3 \cdot 10^7}{0,2^2} + \frac{1000}{6,28 \cdot 15} \ln \frac{2,25 \cdot 3 \cdot 10^7}{100^2} + \frac{800}{6,28 \cdot 15} \ln \frac{2,25 \cdot 3 \cdot 10^7}{100^2} + \frac{800}{6,28 \cdot 15} \ln \frac{2,25 \cdot 3 \cdot 10^7}{300^2} + \frac{800}{6,28 \cdot 15} \ln \frac{2,25 \cdot 3 \cdot 10^7}{150^2} \right)} = 7,8 \text{ м.}$$

**Расчет взаимодействующих скважин по методу обобщенных систем.** Для расчета взаимодействующих скважин широко используется метод обобщенных систем. По этому методу большое количество скважин заменяется одним укрупненным сооружением (линейный и кольцевой ряды – галереями, площадное расположение большим колодцем), влияние которого учитывается обобщенно как на участке, где расположены сооружения, так и в пределах всей области фильтрации.

Понижение уровня подземных вод, вызываемое действием обобщенных систем, меньше понижения уровня в самих скважинах, поскольку при этом не учитываются зоны деформации потока вблизи реальных скважин. Поэтому полное расчетное понижение уровня в одной из рассматриваемых скважин зависит от действия обобщенной системы, которая характеризуется внешним фильтрационным сопротивлением  $f_{вн}$  и действия самой скважины, которое может быть определено дополнительным (внутренним) фильтрационным сопротивлением  $\Delta f$ .

Понижение в одной из взаимодействующих скважин в общем виде может быть записано так:

$$S = S_{вн} + \Delta S_{скв}$$

где  $S_{вн}$  – понижение уровня, вызванное действием обобщенной системы;  $\Delta S_{скв}$  – дополнительное понижение уровня воды в скважине, обусловленное внутренним сопротивлением  $\Delta f$ .

Методом обобщенных систем даны решения для линейного ряда скважин, кольцевой батареи и площадной системы. Расчетные формулы для определения понижения уровня в системе взаимодействующих скважин методом обобщенных систем имеют вид:

1) для артезианских скважин

$$S = \frac{Q_{\varepsilon}}{4\pi k m} f_{ВН} + \frac{Q_c}{2\pi k m} \left( \ln \frac{r_n}{r_c} + s \right) \quad (133)$$

2) для грунтовых вод

$$S = H_e - \sqrt{H_e^2 - \left[ \frac{Q_{\varepsilon}}{2\pi k} f_{ВН} + \frac{Q_c}{\pi k} \left( \ln \frac{r_n}{r_c} + s \right) \right]} \quad (134)$$

где  $Q_{\varepsilon}$  – суммарный дебит взаимодействующих скважин;

$Q_c$  и  $r_c$  – дебит и радиус скважины, для которой ведется расчет понижения;

$\xi$  – дополнительное сопротивление, учитывающее несовершенство скважины, в которой определяется понижение (если скважина совершенная  $\xi = 0$ );

$f_{BH}$  – безразмерное гидравлическое сопротивление для обобщенной системы скважин (определяется по графикам и формулам см. ниже);

$r_n$  – приведенный радиус некоторой условно выделяемой внутренней области влияния скважины (области влияния локальных фильтрационных сопротивлений).

Значение  $r_n$  для линейной и кольцевой систем скважин при одинаковых расстояниях между скважинами  $2\sigma$  равно  $r_n = \frac{\sigma}{\pi}$ , а при разных  $2\sigma_1$  и  $2\sigma_2$ , (см. рис. 56-А) –  $r_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\pi}$ . При площадном расположении скважин (рис.56-Б)  $r_n = 0,27\sqrt{F_0}$ .

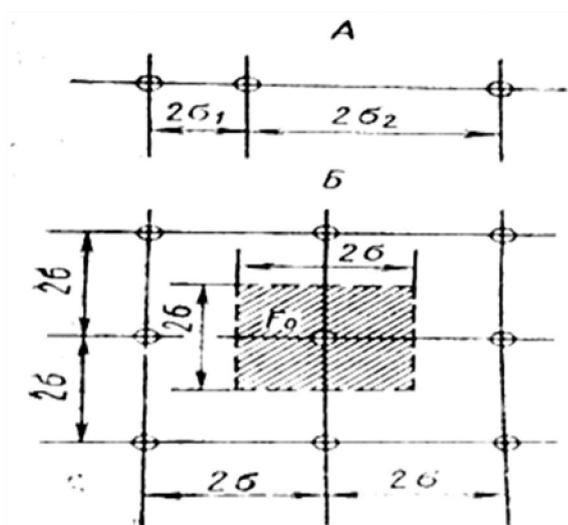


Рис. 56. Схема к определению радиуса внутренней области влияния скважины  $r$ : А – линейное расположение скважин, Б – площадное расположение скважин

Безразмерное гидравлическое сопротивление в линейном ряду представляет собой гидравлическое сопротивление линейной галереи  $f_l$ , в кольцевой системе – гидравлическое сопротивление кольцевой галереи  $f_k$  и в площадной системе – гидравлическое сопротивление большого колодца  $f_{пл}$ . Эти величины обычно определяются по графикам, которые приведены в работе П.П. Климентова. Гидравлические

сопротивления вычисляются и по формулам. Так, для линейного ряда грунтовых скважин формулы гидравлического сопротивления имеют вид:

1) для центральной скважины ряда

$$f_n = \ln \frac{16,4at}{l^2} \quad (135)$$

2) для крайних скважин ряда

$$f_n = \ln \frac{4,1at}{l^2} \quad (136)$$

где  $a$  – коэффициент уровнепроводности;

$t$  – период эксплуатации скважин;

$l$  – половина общей длины ряда скважин.

Для артезианских скважин используются те же формулы с заменой в них коэффициента уровнепроводности на коэффициент уровнепроводности  $\alpha$ .

**Задача.** В неограниченном потоке грунтовых вод запроектировано строительство линейного водозабора, состоящего из 11 разноразмерных совершенных скважин с суммарным дебитом  $6655 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Требуется определить понижение уровня в центральной и крайней скважинах водозабора через 25 лет его эксплуатации, если через 10 лет после ввода его в работу будет действовать другой водозабор, отстоящий от первого на расстоянии  $r = 2500 \text{ м}$ , с суммарным дебитом  $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Мощность водоносного горизонта до начала эксплуатации  $H_e = 30 \text{ м}$ , коэффициент фильтрации  $k = 15 \text{ м/сут}$ , водоотдача водоносных пород  $\mu = 0,25$ . Расположение линейного ряда равномерное (расстояние между скважинами  $2\sigma = 80 \text{ м}$ ). Радиус скважин  $r_c = 0,2 \text{ м}$ .

**Решение.** Пользуясь методом обобщенных систем, рассмотрим линейный водозабор как линейную галерею, а другой водозабор, оказывающий влияние на первый, как большой колодец. Понижение уровня в скважинах от действия самого линейного водозабора вычисляем по формуле (134):

$$S = H_e - \sqrt{H_e^2 - \left[ \frac{Q_\varepsilon}{2\pi k} f_{ВН} + \frac{Q_c}{\pi k} \left( \ln \frac{r_n}{r_c} + \zeta \right) \right]}$$

Определим неизвестные величины, входящие в приведенную формулу  $f_n, r_n, \zeta$ .

Гидравлическое сопротивление линейной галереи  $f_n$ , заменив линейный ряд, вычислим для центральной и крайней скважин ряда по

формулам (135) и (136), в которые входят  $a$  и  $l$ . Коэффициент уровне проводности  $a$  вычислим по формуле

$$a = \frac{kh_{cp}}{\mu} = \frac{kH_e}{\mu} = \frac{15 \cdot 30}{0,25} = 1800 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общая длина равна  $2l = (n - 1)2\sigma = 10 \cdot 80 = 800 \text{ м}$ ,  $l = 800/2 = 400 \text{ м}$  ( $n$  – количество скважин водозабора). Зная  $a$  и  $l$ , определим гидравлическое сопротивление  $f_n$ :

1) для центральной скважины

$$f_n = \ln \frac{16,4at}{l^2} = \ln \frac{16,4 \cdot 1800 \cdot 9125}{400^2} = 7,40;$$

2) для крайней скважины

$$f_n = \ln \frac{4,1at}{l^2} = \ln \frac{4,1 \cdot 1800 \cdot 9125}{400^2} = 6,04.$$

Приведенный радиус  $r_n$  при одинаковых расстояниях между скважинами равен:

$$r_n = \frac{\sigma}{\pi} = \frac{40}{3,14} = 12,74 \text{ м.}$$

Дополнительное сопротивление  $\zeta$  в данном случае равно нулю,

поскольку скважины линейного ряда совершенные. Подставляя, исходные данные в формулу (133), получим понижение уровня для центральной скважины:

$$S = 30 - \sqrt{30^2 \left[ \frac{6655}{6,28 \cdot 15} \cdot 7,4 + \frac{605}{3,14 \cdot 15} \left( \ln \frac{12,74}{0,2} + 0 \right) \right]} = 12,00 \text{ м.}$$

Аналогичный расчет для крайней скважины дает  $S = 9,51$

Срезку уровня от действия другого водозабора опережим по формуле для одиночной скважины (125), так как он (расположен на расстоянии  $r = 2500 \text{ м}$ ) рассматривается как большой колодец, дебит которого  $Q_{\Sigma B} = 5000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , а время действия 15 лет, т.е. 5475 сут.

$$S_{\text{расч}} = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q_{\Sigma B}}{2\pi k} \ln \frac{2,25at}{r^2}} =$$

$$30 - \sqrt{30^2 - \frac{500}{6,28 \cdot 15} \ln \frac{2,25 \cdot 1800 \cdot 5475}{2500^2}} = 1,15 \text{ м}$$

С учетом срезки уровня от действия другого водозабора понижение в центральной скважине ряда равно  $S_{\text{расч}} = 12,00 + 1,15 = 13,15 \text{ м}$ , а в крайней скважине  $S_{\text{расч}} = 9,51 + 1,15 = 10,66 \text{ м}$ .

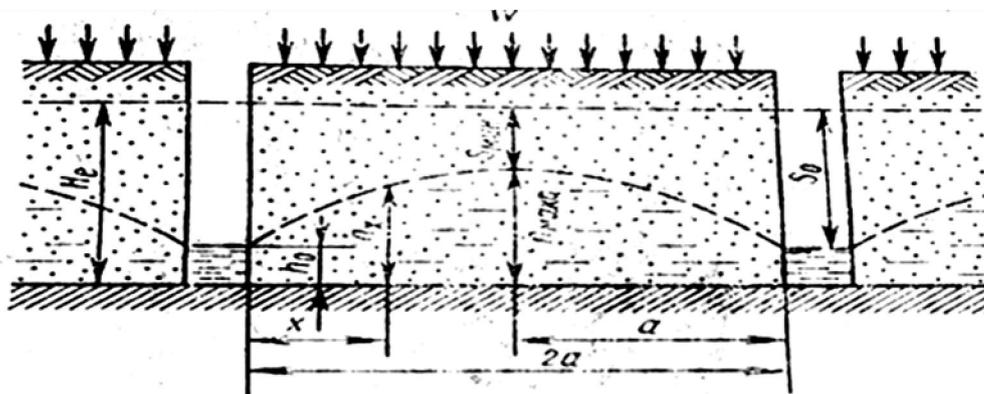


Рис. 57. Схема к расчету систематического горизонтального дренажа совершенного типа:  $W$  – величина инфильтрации атмосферных осадков,  $H_e$  – мощность водоносного горизонта в естественных условиях,  $S_0$  – понижение уровня грунтовых вод в дренаже,  $S_{\text{мин}}$  – минимальное положение уровня грунтовых вод между дренажами,  $h_0$  – столб воды в дренаже,  $h_{\text{макс}}$  – максимальная мощность потока между дренажами,  $h_x$  – мощность потока в сечении, отстоящем от ближайшей дрены на расстоянии  $x$ ,  $a$  – половина расстояния между дренажами.

**Расчеты систематических горизонтальных дренажей.** Систематический, или площадной, горизонтальный дренаж представляет собой расположенные по системе (параллельно) горизонтальные дренажи, которые сооружаются в пределах осушаемой площади. Гидрогеологические расчеты систематического дренажа сводятся к определению расстояний между дренажами, их дебита, а при необходимости и понижений уровня подземных вод.

Систематический горизонтальный дренаж совершенного типа.

Для определения расстояния между дренажами используется формула Ротэ:

$$2a = \sqrt{\frac{k}{W} (h_{\text{макс}}^2 - h_0^2)} \quad (137)$$

Буквенные обозначения формулы (рис.54). При определении расстояния между дренажами по указанной формуле задаются необходимым понижением  $S_{\text{мин}}$ . Зная понижение, получим максимальную мощ-

ность потока между дренами. ( $h_{max} = H_e - S_{min}$ ). Расход каждой дрены систематического дренажа определяется по формуле

$$Q = 2aWL \quad (138)$$

где  $W$  – величина инфильтрации;  $L$  – длина дрены.

Мощность водоносного горизонта в любом сечении в период работы дрен может быть выражена уравнением

$$h_x = \sqrt{h_0^2 + \frac{W}{k}(2a - x)x} \quad (139)$$

Систематический горизонтальный дренаж несовершенного типа.

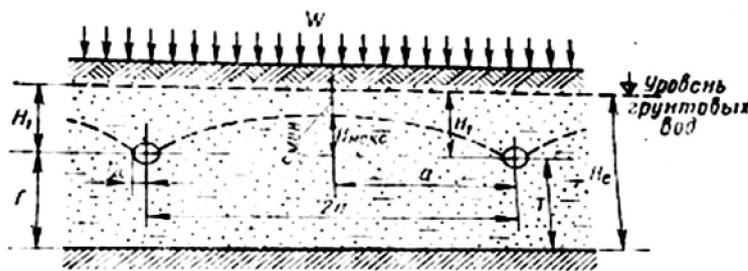


Рис.58. Схема к расчету систематического горизонтального дренажа несовершенного типа:  $H_1$  – глубина заложения дрены под естественный уровень грунтовых вод,  $T$  – расстояние от центра дрены до водоупора,  $r_0$  – радиус дрены, другие обозначения см. рис.55.

Этот вид дренажа применяют при значительной мощности водоносного горизонта. Расстояние между дренами (рис.58) определяется по формуле С.Ф.Аверьянова:

$$2a = T \left[ \sqrt{\frac{8kh_{max}}{WT} \left( 1 + \frac{h_{max}}{2T} \right) + B_1^2} + B_1 \right] \quad (140)$$

где  $B_1$  – поправочный коэффициент, равный  $B_1 = -2,94 \lg \left( \sin \frac{\pi r_0}{T} \right)$  ( $r_0$  – радиус дрены). Дебит каждой дрены определяется по формуле (138).

**Задача.** На участке сельскохозяйственных угодий проектируется дренаж совершенного типа. Глубина залегания уровня грунтовых вод на участке 0,5 м, мощность грунтовых вод  $H_e = 3,5$ . Коэффициент водовмещающих песков  $k = 11,3$  м/сут. Водоносные пески подстилается горизонтально залегающим слоем глин. Мощность слоя воды в дренах  $h_0 = 0,2$  м. длина каждой дрены 300 м величина инфильтрационного питания  $W = 0,002$  м/сут.

Определить расстояние между дренами при минимальном понижении уровня на 2,0 м и расход каждой дрены.

**Решение.** Максимальная мощность  $h_{max}$  при работе дрен равна  $h_{max} = H_e - S = 3,5 - 2,0 = 1,5$  (рис.58). Расстояние между дренами вычисляем по формуле (137):

$$2a = \sqrt{\frac{k}{W}(h_{max}^2 - h_0^2)} = \sqrt{\frac{11,3}{0,002}(1,5^2 - 0,2^2)} = 111,7\text{ м} \approx 110\text{ м}.$$

Расход каждой дрены определяем по формуле (138):

$$Q = 2aWL = 110 \cdot 0,002 \cdot 300 = 66 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

## **ЧАСТЬ III.**

# **МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **Глава 17. Проектирование и производство гидрогеологических съемочных работ**

Проектирование является начальным этапом гидрогеологических съемочных работ. Проект работ, утвержденный в установленном порядке, является основным документом, определяющим содержание, методику, технику, стоимость, график и срок выполнения работ. Проект утверждается не позднее, чем за 2-3 месяца до начала работ, производство которых утверждения проекта запрещается. Составление проекта должно основываться на общем ознакомлении с литературными (фондовыми и опубликованными) и картографическими материалами по району работ. Проект, как правило, составляют исполнители работ начальник партии или коллектив исполнителей: главный геолог экспедиции, начальники партий и начальники отрядов геофизического, геоботанического и др. В случае особой необходимости, кроме гидрогеологических съемочных работ, предусматривается проведение тематических исследований для решения специальных вопросов (гидрохимических, режима подземных вод и др.).

Объемы и направление этих исследований определяются дополнительным проектом. В проекте работ обосновывается: масштаб и площадь, подлежащая съемке, определяемые с учетом технического задания конкретные задачи, требующие разрешения; освещаются условия проведения съемочных работ, геологического строения и гидрогеологические условия района, степень проходимости и обеспеченности района работ, а также дешифрируемости аэрофотоматериалов. При проектировании гидрогеологических съемочных работ масштабов 1:200 000 – 1:100 000 необходимо тщательно изучить имеющуюся геологическую карту, которая будет служить основой при проведении гидрогеологической съемки, и наметить основные геологические вопросы, подлежащие уточнению, а также гидрогеологические задачи, которые должны быть решены в процессе гидрогеологической съемки. При этом ни в коем случае нельзя допускать включения в проекты излишних объемов и дублирования работ, проведенных при геологической съемке. Проектом определяются состав и объемы необходимых работ: геофизических и геоботанических исследований, горных, буровых и опытных работ и т.д., а также уста-

навливаются методика их проведения. В проекте определяются: тип гидрогеологической партии (или экспедиции с несколькими партиями) разделение партий на отряды способы транспортировки к месту работ и обратно, организация транспорта на месте работ, организация баз снабжения, лабораторий и сроки выполнения отдельных видов работ. В проекте устанавливаются также наиболее пригодные виды оборудования и механизмов, необходимые для выполнения работ. Обращается особое внимание на использование наиболее совершенного и высокопроизводительного оборудования, новейших приборов и снаряжения, на применение наиболее эффективных методов производства работ. При составлении проекта следует исходить из необходимости наиболее полного и качественного изучения района с наименьшими затратами средств. Проект должен быть кратким, четким, ясным и содержать необходимые сведения для составления сметных расчетов. Проект разрабатывается в соответствии с методическими указаниями по составлению проектов по гидрогеологическим и инженерно-геологическими работам. Проект делится на две части: гидрогеологическую и производственно– техническую. К проекту прилагается:

- а) обзорная карта района работ в мелком масштабе;
- б) схема гидрогеологической изученности;
- в) копия имеющейся геологической карты района в масштабе проектируемой гидрогеологической съемки или крупнее.

Смета является обязательной частью проекта и вытекает из него. Она составляется на весь объем работ для данного листа по «Справочнику укрупненных сметных норм».

Проект должен быть надлежаще оформлен, переплетен, иметь оглавление и перечень графических и табличных материалов.

Проект и смета, подписанные составителями, проверенные начальником отдела съемки или отраслевым инженером, рассматриваются на техническом совещании при главном инженере или главном геологе и затем утверждаются начальником управления, треста или директором института.

### **Производство полевых гидрогеологических съемочных работ**

При производстве гидрогеологической съемки следует принимать расчленение осадочных, вулканогенных и метаморфических толщ, принятое на имеющейся геологической карте, являющейся ос-

новой, на которой должна проводиться гидрогеологическая съемка. В тех случаях, когда в процессе этой съемки выявляются новые данные. Уточняющие представление о геологии района, они должны быть использованы для дополнения и детализации имеющейся геологической карты.

В процессе проведения гидрогеологической съемки и обработки материалов:

1) выясняются распространение и условия залегания подземных вод;

2) выясняются условия питания, циркуляции, разгрузки подземных вод особенности их режима и формирования;

3) изучаются водообильность водоносных горизонтов, комплексов и зон, качество подземных вод;

4) выясняется возможность использования подземных вод для удовлетворения нужд народного хозяйства;

5) изучается существующее водоснабжение населенных пунктов, промышленных районов и сельскохозяйственных объектов;

6) устанавливается степень обводненности месторождений полезных ископаемых, и изучаются условия борьбы с подземными водами при промышленной разработке месторождений полезных ископаемых.

В процессе гидрогеологической съемки водосодержащие породы расчленяются на отдельные водоносные горизонты или зоны. Выделение водоносных горизонтов в толщах осадочных пород производится, как правило, по стратиграфическому положению водосодержащих пород, выделение обводненных зон в вулканогенных породах – по петрографическому составу или возрастным группам этих пород, водоносных горизонтов или обводненных зон четвертичных отложений – по генезису последних или их возрасту.

Для выделенных комплексов водоносных горизонтов или обводненных зон изучаются условия залегания выясняются площадь распространения, мощность и литологический состав водовмещающих и водоупорных пород, глубина залегания уровня подземных вод, наличие напоров и их величины, вода обильность, качество подземных вод, условия их питания, циркуляции и разгрузки; изменение напоров по площади.

Густота сети маршрутов и выбор их направления при гидрогеологической съемке определяются степенью расчлененности рельефа,

степенью сложности геологического строения и гидрогеологических условий, обнаженностью и проходимостью местности.

Расположение точек наблюдений подземных вод на местности и выбор направления гидрогеологических маршрутов обуславливаются принятым методом гидрогеологической съемки (метод пересечений водоразделов, маршруты по речным долинам, балкам и оврагам, прослеживание по простирацию водосодержащих пород, съемка путем искусственного вскрытия подземных вод и др.). Принимаемое размещение точек наблюдений и направление маршрутов должны обеспечивать наиболее полное освещение гидрогеологических условий картируемой площади. При гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000 границы между водоносными горизонтами, комплексами или обводненными зонами могут считаться обоснованными лишь в том случае, если они подтверждаются имеющейся кондиционной геологической картой.

В случае производства гидрогеологической съемки с дешифрованием, аэрофотоснимков в районах хорошей дешифрируемости точность нанесения гидрогеологических границ должна соответствовать точности их проведения на аэрофотоснимках.

Естественные вода проявления и физико-геологические явления, изучаемые в процессе гидрогеологической съемки, независимо от их размеров, наносятся на карту условным знаком; при этом допускается объединение в один обобщенный условный знак группы родников, скважин, колодцев, карстовых воронок, оползней и т.п., расположенных поблизости друг от друга.

Перед началом проведения полевых съемочных работ рекомендуется произвести рекогносцированное аэровизуальное обследование всего района предстоящих работ. Это даст возможность получить общее представление о районе, его рельефе, обнаженности, распределения и характере гидрографической сети (реки, озера, болота) и растительного покрова, а также о характере геологического строения района.

Наиболее оптимальной высотой полетов для производства рекогносцировки является высота в пределах 200–400 м. При отсутствии посадочных площадок для рекогносцировок целесообразно использовать вертолеты.

В тех случаях, когда в пределах границ исследуемого района нет хорошо обнаженных разрезов, но они имеются на примыкающей территории, исполнители съемки должны совершить специальные мар-

шруты на эти разрезы. Изучение опорных разрезов производится с целью:

а) сопоставления имеющейся геологической основы с полным стратиграфическим разрезом в натуре, ознакомления с характером стратиграфических границ и контактов между различными породами;

б) ознакомления с вещественным составом пород изучаемого разреза, их фациальными, структурными и текстурными особенностями, трещиноватостью, степенью и характером метаморфизации, развитием различных физико-геологических явлений (карста, оползней, многолетней мерзлоты, заболоченности и т.д.);

в) изучения характера водоносности пород, их водопроницаемости, возможного влияния вещественного состава пород отдельных толщ на минерализацию подземных вод;

г) установление общего суждения об условиях залегания пород и характере циркуляции подземных вод, определения возможных областей питания, стока и разгрузки подземных вод.

*Примечание.* Если в районе съемки отсутствуют полные разрезы, следует изучать ряд неполных разрезов, которые в совокупности могут дать необходимое представление о полном разрезе горных пород и характере их водоносности.

При производстве гидрогеологической съемки в закрытых районах ознакомление с разрезом пород и водоносностью их производится по данным ранее пробуренных скважин. По опорным скважинам должен быть просмотрен керновый материал, составлена коллекция и изучены данные о подземных водах, фауне, петрографическом составе пород и химическом составе вод. При отсутствии таких скважин необходимо производить бурение специальных структурно-гидрогеологических скважин.

После ознакомления с опорными разрезами горных пород и характером их водоносности приступают к проведению гидрогеологической съемки.

Гидрогеологическая съемка проводится по маршрутам.

*Примечание.* Густота маршрутов определяется сложностью геологического строения и гидрогеологических условий картируемой территории. Приведенные в СУСН нормативы в отношении густоты маршрутов следует рассматривать как средние.

В процессе проведения гидрогеологической съемки плотность маршрутов должна определяться сложностью того или иного картируемого участка. На одних участках (с простым геологическим

строением) плотность маршрутов может быть значительно уменьшена и, наоборот, при сложном строении участков она может быть увеличена против указанных в СУСН норм.

В тех случаях, когда прослеживаемые водоносные горизонты или комплексы не выходят на поверхность там где их следовало бы ожидать, исходя из направления простираения водосодержащих пород, т.е. если они « теряются» между двумя соседними маршрутами, необходимо между этими маршрутами сделать промежуточный маршрут и выяснить причины изменения предполагаемых границ.

Направления маршрутов при гидрогеологической съемке, как правило, должны совпадать с направлениями речных долин, их притоков, а также оврагов, балок и других естественных дрен, вскрывающих водоносные горизонты, комплексы и обводненные зоны. Кроме того, должны быть маршруты, пересекающие водораздельные пространства.

В закрытых равнинных районах, не расчлененных гидрографической и овражно-балочной сетью, направление маршрутов приурочивается к намеченным линиям заложения скважин картировочного бурения и других горных выработок, которые в свою очередь должны располагаться с учетом имеющихся геологической и геоморфологической карт с дальнейшим уточнением на местности при проведении съемки.

В процессе проведения маршрутов по речным долинам необходимо изучать их форму и размеры, гипсометрическое положение, глубину вреза, уклоны дна, характер поверхности дна и склонов; устанавливать наличие террас с детальной характеристикой их формы, размеров, высоты уступов, взаимного расположения, литологического состава слагающих пород и их водоносности. Если при съемке в долинах рек не обнаруживаются естественных выходов подземных вод, они должны быть вскрыты горными выработками (скважинами, шурфами).

В процессе проведения маршрутов на водоразделах отмечается наличие рыхлых отложений, их обводненность, выявляются следы древней гидрографической сети, погребенные русла, карстовые и другие понижения, водопроявления, приуроченные к этим формам. Если естественные водопроявления на указанных формах не обнаружены, необходимо прибегать к разбуриванию и шурфовке

наиболее характерных из этих форм с целью возможного вскрытия подземных вод.

При проведении гидрогеологической съемки в горных и предгорных районах особое внимание уделяется изучению пролювиальных шлейфов и отдельных конусов выноса. При этом выявляются: мощность пролювиальных отложений, характер поверхности и уклоны ее, изрезанность современными руслами, характер и состав обломочного материала, слагающего пролювиальный шлейф, естественные выходы подземных вод. Обращается внимание также на выявление зон разгрузки подземных вод в периферийной части пролювиального шлейфа или отдельных конусов выноса.

В тех случаях, когда на площади распространения пролювиального шлейфа не обнаружено естественных выходов подземных вод, необходимо закладывать буровые скважины и разведочные шурфы (желательно в сочетании с геофизическими методами разведки). Кроме того, необходимо обращать внимание на возможность поглощения поверхностных вод отложениями пролювиального шлейфа (уменьшение расхода ручьев, полное прекращение поверхностного стока, наличие промоин, выполненных промытым крупнообломочным материалом и т.д.). При проведении гидрогеологических маршрутов подробно описываются естественные выходы подземных вод (родники, заболоченности и др.), шахтные колодцы, буровые скважины, кяризы и другие выработки, вскрывающие подземные воды.

При изучении естественных выходов подземных вод и выработок, вскрывающих подземные воды, необходимо:

а) установить местоположение водоисточника (родника, шурфа, колодца, скважины) и показать его соответствующим условным знаком и номером на карте;

б) выяснить положение водоисточника на местности (склон, долина, водораздел и т.п.) и высоту его по отношению к уровню ближайшей реки, озера или какой-нибудь другой дренирующей системы, (балки, оврага, впадины и т.п.);

в) выяснить, к каким породам приурочены подземные воды, питающие данный водоисточник, и дать подробную характеристику водоносных горизонтов, отметив возраст пород, условия их залегания, литологический состав, характер слоистости и трещиноватости;

г) описать физические свойства воды: температуру, вкус (пресная, солоноватая, соленая, горьковатая, кислая, вяжущая и т.п.), запах (хлорный, землистый, болотный, затхлый, сероводородный и т.п.), цвет (без цвета, желтоватая, зеленоватая, голубоватая, бурая и т.п.), прозрачность (прозрачная, опалесцирующая, слабо опалесцирующая, мутная, слегка мутная, сильно мутная);

д) произвести полевой химический анализ воды

При изучении родников, необходимо:

а) выяснить тип родника – нисходящий или восходящий;

б) установить характер выхода подземной воды из породы (коренной выход или дериват, одна струя или несколько, спокойное истечение или в виде грифонов и т.п.), форму и размеры родниковой воронки, если она имеется; зарисовать и сфотографировать место выхода родника;

в) определить характер трещины, ее размеры, падение и простирание, если родник вытекает из трещины;

г) охарактеризовать минеральные отложения родника (охры, гуды, соли, грязи) и отобрать из них пробы для химического анализа;

д) замерить дебит родника (мерным сосудом, водосливом или поплавком) и по возможности выяснить постоянство его действия.

При описания шурфа, колодца, скважины, кроме вышеперечисленного, необходимо:

а) определить глубину от поверхности земли до дна выработки в метрах;

б) измерить диаметр (сечение) выработки;

в) определить уровень воды в метрах от поверхности земли;

г) установить, для чего используется вода, и выяснить характер водоподъемных устройств, если таковые имеются;

д) определить в необходимых случаях дебит;

е) произвести полевой химический анализ воды.

При наличии эксплуатационных на воду скважин необходимо получить из архивных материалов геологический и технический разрезы этих скважин, выяснить количество вскрытых ими водоносных горизонтов, их стратиграфическое положение, производительность и химический состав воды каждого горизонта.

Из характерных водопунктов должны быть отобраны пробы воды (а в ряде случаев и газа) для сокращенного и полного анализов. Опробованию должны быть подвергнуты все водоносные горизонты вразличных характерных участках, выделенных по геоструктурным,

гео-морфологическим, литологическим и другим признакам (например, должны опробоваться водоносные горизонты в областях питания, погружения и разгрузки). Количество проб воды для этих анализов определяется также пестротой минерализации воды в том или ином водоносном горизонте.

Для сокращенного химического анализа отбирается проба воды в объеме 1 л, для полного химического анализа в объеме 2 л.

В перспективных на нефть и горючие газы районах, воды которых содержат соли иода, брома, бора, калийную и поваренную, берутся пробы воды в объеме 3-5 л.

Ориентировочно при съемке масштаба 1:200 000 рекомендуется брать одну пробу на 5 км<sup>2</sup> в горных районах и на 10 км<sup>2</sup> в равнинных районах. При съемке масштаба 1:100 000 количества отбираемых проб воды удваивается. Необходимо также производить отбор проб воды из болот, рек и озер.

При проведении гидрогеологической съемки в платформенных областях, вне развития кристаллических щитов, необходимо:

а) учитывать преобладающее развитие пластовых и пластово-трещинных подземных вод, часто образующих артезианские бассейны;

б) выявлять и изучать возможную обводненность зон регионально проявленных разломов;

в) изучать минерализацию подземных вод и ее изменение с глубиной, так как в этих областях нередко в нижних их частях разреза минерализация подземных вод сильно повышается в связи с затрудненной циркуляцией;

г) привязывать все водопункты, особенно родники, выходы которых закрыты делювием, к стратиграфическим горизонтам, выделенным на геологической карте, используемой в качестве основы при проведении гидрогеологической съемки;

д) изучать литологический состав и фациальные изменения пород с целью выделения водоупорных и водопроницаемых слоев. Одновременно надо вести наблюдения за распространением подземных вод, выклиниванием водоносных горизонтов, выдержанностью их по площади, характером выходов, предпринимая с этой целью маршруты как по основным долинам, так и по верховьям балок и оврагов, где часто наблюдается выклинивание водоносных горизонтов;

е) определять абсолютные отметки пьезометрических уровней напорных водоносных горизонтов по данным вскрывших их буровых скважин.

При проведении гидрогеологической съемки масштабов 1:200 000–1:00 000 в складчатых областях следует учитывать:

а) зональное распределение прогибов и поднятий, вытянутых в общем параллельно геосинклинальной области, обуславливающее зональность фаций осадочных отложений, а также условия водоносности пород и концентрации подземных вод в зонах прогибов;

б) большую, исчисляемую тысячами метров мощность отложений, часто довольно резко меняющуюся на коротких расстояниях в соседних, фациальное различных зонах и связанные с этими зонами особенности водоносности пород, закономерности распространения подземных вод и изменения их состава и минерализации;

в) общую линейную складчатость со сжатыми, обычно равной величины антиклиналями и синклиналями и сопряженными с ними линейно вытянутыми разломами, а также одинаковой на большой площади наклон осевых поверхностей складок. Зоны разлома часто могут быть выявлены по выходам подземных вод, поэтому следует самым тщательным образом учитывать все проявления подземных вод на дневной поверхности. С другой стороны, зоны разлома, выявленные геологическими методами, должны быть тщательно изучены в гидрогеологическими методами, должны быть тщательно изучены в гидрогеологическом отношении.

Исходя из особенностей строения складчатых областей, при гидрогеологической съемке необходимо:

а) особенно внимательно изучать степень трещиноватости различных по возрасту и петрографическому составу горных пород и различия в степени их обводненности;

б) выявлять мощность обводненных зон трещиноватых пород;

в) прослеживать региональные зоны разлома и изучать условия их обводненности;

г) устанавливать мощность, состав и характер залегания пролювиальное – аллювиальных отложений предгорий, сев и межгорных понижений с целью изучения обводненности этих отложений, учитывая, что при большой расчлененности рельефа они являются аккумуляторами подземных вод; для этой цели необходимо обычно проводить шурфы или скважины ударно-канатного бурения;

д) обращать особое внимание на температуру, газовый и химический состав подземных вод для выявления термальных и минеральных источников;

е) особое внимание уделять изучению контактов изверженных пород с вмещающими, так как зоны контактов часто обладают повышенной водообильностью, особенно в случаях контактов часто кристаллических пород с осадочными (глинами) или с породами меньшей трещиноватости.

В областях распространения интрузивных образований при съемке по выявленным источникам и при помощи бурения скважин необходимо:

а) выяснить границы распространения подземных вод и степень обводненности интрузивных пород;

б) изучить текстурные и структурные особенности горных пород, условия их залегания и вещественный состав;

в) изучить трещиноватость и ее генезис, характер трещин, установить глубину трещиноватой зоны, закономерность распределения трещин;

г) выяснить водоносность интрузивных пород, условия питания, циркуляции и разгрузки подземных вод, их вода обильность и качество.

Особенно тщательному изучению подвергаются зоны тектонических нарушений и контактов интрузивных пород с вмещающими, так как обычно такие зоны обладают повышенной обводненностью.

Водоносность интрузивных пород изучается во взаимосвязи с окружающими их водоносными горизонтами или комплексами вмещающих пород, а также поверхностными водотоками или водоемами. Такое изучение, с учетом гипсометрического положения интрузивных образований и условий залегания пород, позволяет выяснить область питания, циркуляции и разгрузки подземных вод интрузивного массива.

Изучению подвергаются не только коренные интрузивные породы, но и делювиальные образования, покрывающие склоны интрузивных массивов, чисто характеризующиеся приуроченностью к ним источников.

В областях распространения эффективных эффузивных пород в процессе съемки, сопровождаемой бурением скважин, необходимо:

а) выяснить литолого-петрографический состав эффузивных покровов и прослоев, элементы их залегания, трещиноватость, распространение и мощность;

б) установить приуроченность подземных вод к отдельным покровам и прослоям, распространение водоносных горизонтов и об-

воденных зон, вода обильность и качество вод, условия питания и дренирования;

в) изучить не только эффузивы в коренном залегании, но и отложения, сформированные из продуктов их разрушения, залегающие в непосредственной близости к эффузивам, часто дающие начало родникам.

В процессе проведения гидрогеологической съемки в районах развития карста необходимо:

а) производить наблюдения за расходом водотоков на участках, где они прорезают закарстованные породы, выполняя одновременно замеры расходов водотоков в двух сечениях и определяя разность расходов, связанную с поглощением карстующимися породами;

б) изучать покровную толщу над карстующимися породами, выявляя ее мощность, литологический состав, фациальное изменение и условия залегания различных фаций, а также водопроницаемость пород;

в) изучать литолого-минералогический и химический состав пород района в стратиграфической последовательности с целью выявления карстующих пород, а также водоупорных не карстующихся прослоев, установления их водопроницаемости, степени растворимости и мощности. Одновременно следует проследить фациальные изменения литолого-минералогического и химического состава пород карстующейся толщи по простиранию, установить условия их залегания, изучить характер тектонических структур, образованных карстующимися породами, линии разломов, сбросов и сдвигов с целью выявления возможных путей циркуляции карстовых вод, мест их концентрации, условий и характера разгрузки.

В процессе полевой съемки из обнажений, буровых скважин и горных выработок отбираются образцы для определения химического состава пород и для изготовления шлифов в объеме кубиков со сторонами до 3 см. Если изучение карста в процессе съемки ставится специальной целью, дополнительно из каждого типа пород отбираются образцы для определения степени их растворимости. Образцы в этом случае должны быть не менее кубика со сторонами 5 см;

г) изучать характер залегания кровли водонепроницаемых пород, подстилающих карстующуюся толщу, т.е. установить ее карстования, ниже которого карстовые процессы отсутствуют.

Для выделения характера рельефа водоупорной подошвы карстующейся толщи необходимо привлекать геофизические методы

разведки с последующим бурением скважин и постановкой стационарных наблюдений в них для изучения режима трещинно-карстовых вод, если в этом возникает необходимость;

д) изучать трещиноватость карстующейся толщи, закономерности распределения которой определяют пути инфильтрации атмосферных осадков, а также движение подземных вод внутри карстующего массива.

Замеры трещиноватости в процессе съемки производятся систематически на всей изучаемой площади с расчетом дальнейшего построения карты и диаграммы трещиноватости для выявления основных направлений простирания и падения трещин, а следовательно, и главнейших возможных путей развития карста.

При изучении трещиноватости следует различать типы трещин (трещины выветривания, тектонические, напластования и т.д.), так как они по-разному влияют на развитие карста. Характеристика трещиноватости должна быть не только качественной, но и количественной;

е) выделять, в случае открытого карста, замкнутые площади на поверхности карстующих пород, характеризующиеся отсутствием поверхностного стока. Подобные площади являются областью усиленного питания трещинно-карстовых вод атмосферными осадками;

ж) определить при изучении поверхностных форм карста характер и размеры этих форм: длину, глубину, ширину, направление основных осей (азимуты), характер бортов, склонов, стенок, днищ, а также приуроченность этих форм к слоистым или массивным породам. Кроме того, надо установить связь форм карста с элементами залегания пород (для слоистых толщ), характер трещиноватости и распространение ее, степень обнаженности, задернованности или заселенности участка, зависимость форм от элементов рельефа и литологического состава пород, степень частоты форм и карста на единицу площади и характер их взаимного расположения в плане.

Для карстовых форм больших масштабов, помимо перечисленного, необходимо отметить также степень задернованности, характер днищ, растительности и почвенного покрова, наличие или отсутствие внутреннего поверхностного стока, эрозионную деятельность атмосферных осадков, понижение днищ относительно наиболее высоких точек рельефа, указывающее на величину денудации рельефа. Также необходимо установить наличие и закономерности распространения воронок в обширных карстовых формах, задернованность их днищ,

наличие в них ходов, пещер, колодцев и шахт. Все характерные элементы наблюдений в карстовых районах должны наноситься на карту;

з) изучать характер поверхностного стока, инфильтрации и поглощения, поэтому в период полевых работ, если они продолжаются не менее года, необходимо провести специальные наблюдения за стоком в дождевые и ливневые периоды, а главным образом весной в паводочный период;

и) собирать опросные сведения у местного населения об изменении расхода, качества воды и температуры родников. Особенностью родников карстовых районов является резкая изменчивость их расходов в течение месяца, сезона и года. В обязательном порядке собираются все данные гидрометрических пунктов на водотоках и родниках в карстовых районах. Если родник каптирован, и вода его используется, сведения об изменении расходов, температуры и качестве его воды выясняются в местных организациях, эксплуатирующих родник.

Кроме того, в процессе съемки необходимо выяснить: зависимость родников от структурных особенностей карстового района, связь выхода с синклиналильными структурами, разломами, падением пластов и т.п., положение и площадь областей их питания, тип родников – восходящие, нисходящие, характер выхода (из трещин в известняках, на контакте с водонепроницаемыми породами, из покрова четвертичных отложений и т.п.), температуру и химический состав воды. Особо следует выделять родники, дающие в межень начало рек. Карстовый характер родника выявляется при анализе зависимости изменения величины расхода от метеорологических факторов. Действие родника в периоды дождей, ливней, весеннего паводка и исчезновение его в сухие период – яркий показатель карстового характера родника;

к) из родников и других вода источников отбирать пробы для полевого химического анализов.

При проведении гидрогеологических съемок в районах широкого развития покрова рыхлых отложений четвертичного возраста необходимо:

а) расчленить толщу рыхлых отложений на генетические типы и стратиграфические горизонты, опираясь на имеющуюся геологическую карту, характеризуя вещественный состав и водоносность выделенных типов и горизонтов;

б) установить площади распространения выделенных водоносных горизонтов и комплексов;

в) установить глубину залегания, химический состав и тип минерализации подземных вод, приуроченных к различным литолого-генетическим типам и стратиграфическим горизонтам четвертичных отложений;

г) изучить вода обильность выделенных горизонтов и комплексов.

Изучение четвертичных отложений и их водоносности должно проводиться в первую очередь по естественным обнажениям, колодцам и вода проявлениям на поверхности земли. Маршруты следует предусматривать как по долинам рек, так и по водоразделам. При этом плохая, как правило, обнаженность водораздельных территорий, особенно в равнинных районах, вынуждает задавать на водоразделах шурфы и буровые скважины. Неглубокие горные выработки необходимо также задавать и на плохо обнаженных склонах долин и на поверхности речных террас.

Горные выработки на склонах долин и водоразделах располагают через неодинаковые промежутки в зависимости от особенностей рельефа с учетом ряда признаков, позволяющих предполагать смену одних типов отложений другими. Такими признаками являются изменение уклона поверхности, появление мелких форм, ранее не встречавшихся в рельефе, изменения в характере растительности и почвенного покрова и т.д.

Кроме естественных обнажений, расчисток и горных выработок, для составления полного разреза четвертичных отложений и выяснения их распространения, необходимо изучать и описывать все встречающиеся в районе карьеры, кирпичные ямы, железнодорожные выемки и другие искусственные обнажения. При описании колодцев, помимо гидрогеологических данных, необходимо отметить сведения и мощности пройденных колодцем пород. Особое внимание надо уделить получению данные о всех скважинах, пробуренных в районе работ, так как часто лишь по ним удастся составить представление о полной мощности, строении и водоносности четвертичного покрова.

При проведении гидрогеологической съемки в пустынных и полупустынных районах изучаются геоморфологические условия с учетом микрорельефа, особенности гидрографической сети, распределение поверхностных водоемов и водотоков, характер их режима, выясняется наличие лиманов, западин, дефляционных понижений, со-

лончаков, такыров, соров, чеколак (бугров выноса восходящих источников), участков развеваемых и закрепленных песков, дюн, барханов, бугристых и грядовых песков (кучугуров). При этом:

а) устанавливаются данные, позволяющие оценить влияние микрорельефа на неравномерность стока, инфильтрации и испарения, а также необходимые для суждения о возможных явлениях конденсации;

б) выявляются площади распространения пресных линз грунтовых вод, «плавающих» на поверхности сильноминерализованных грунтовых вод; устанавливаются характерные поисковые признаки на эти линзы (влаголюбивая растительность, приуроченность их к определению формам рельефа и др.); устанавливаются мощности линз с пресной водой, химический состав воды, ориентировочные запасы и условия водо отбора. Следует иметь в виду что размеры пресных линз в некоторых районах (например Кара кумы) достигают значительных размеров, и они могут служить, при правильной эксплуатации, надежным источником водоснабжения. Для выявления таких линз, помимо бурения поисковых скважин и проходки шурфов, могут успешно применяться геофизические работы и геоботаническая съемка.

На наличие пресных напорных подземных вод в некоторых пустынных районах могут указывать, например, такие поисковые признаки, как обширные понижения и котловины, покрытые солончаками и так называемые чеколаки. При этом, если в местах наличия чеколак подземные воды могут залегать неглубоко или выходить на поверхность, то в котловинах и понижениях, покрытых солончаками, они могут залегать на значительной глубине и для их вскрытия потребуются бурение скважин глубиной до 100 м и более. В отдельных случаях небольшие скопления пресных вод могут быть приурочены к барханам:

в) в процессе съемки и сопровождающего ее поискового бурения обращать внимание на выявление погребенных под эоловыми песками древних русел, к которым часто приурочены опресненные грунтовые воды.

Большое значение для выявления таких русел применение аэрогеологических методов (дешифрирование и аэровизуальные наблюдения), а также геоботанические и геофизические работы.

Детально изучаются участки на которых реки исчезают или резко уменьшают поверхностный сток;

г) тщательно изучается химический состав воды рек, озер, лиманов, а также всех вскрываемых водоносных горизонтов, комплексов и зон. Пробы воды должны исследоваться на месте в полевой гидрохимической лаборатории. При этом обязательны определения: жесткости воды, хлора, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, магния и рН. Оценка качества воды для питьевых и хозяйственных нужд проводится по местным нормам.

При производстве съемочных работ в пустынных и полупустынных районах, непосредственно примыкающих к горным хребтам, устанавливаются границы пролювиальных и эоловых образований как возможные зоны выклинивания подземных вод конусов выноса.

Изучается взаимосвязь подземных и поверхностных вод. Выявляются участки распространения пресных грунтовых вод, питающихся за счет подтока из рек и оросительных каналов.

Окунтуриваются площади разлива рек, за счет которых происходит накопление и питание грунтовых вод. При этом учитываются как весенние паводки, так и осенне-зимние местные разливы, возникающие в результате заторов льда на реках (например на рис. Сырдарье);

д) ведутся тщательные наблюдения за явлениями, связанными с новейшими тектоническими движениями, существенно изменяющими гидрогеологические условия пустынь.

Гидрогеологическая съемка сопровождается бурением скважин (в отдельных случаях проходкой шурфов и канав) и опытными работами для изучения водоносности пород, их литологического состава, глубины залегания подземных вод, наличия напора и его величины, химического состава подземных вод, производительности водопунктов и оценки ориентировочных запасов подземных вод, а также работами по изучению режима подземных вод. В процессе проведения гидрогеологической съемки бурение должно производиться с таким расчетом, чтобы оно позволяло уточнять геологические и гидрогеологические карты. Для закрытых равнинных районов и предгорий результаты бурения являются основными материалами для составления гидрогеологической карты.

Расположение буровых скважин при съемке производится с таким расчетом, чтобы ими были охарактеризованы основные водоносные горизонты в различных геолого-структурных и геоморфологических элементах.

Первые от поверхности водоносные горизонты должны быть охарактеризованы количеством точек наблюдений от 0,008–0,18 до 0,16–0,36 на 1 км<sup>2</sup>, в зависимости от сложности гидрогеологических условий и масштаба съемки.

Для характеристики более глубоких водоносных горизонтов буровые скважины проходятся из расчета 1–2 на каждый геоструктурный элемент в пределах планшета, но не менее 3 на 1 планшет.

Глубина скважин для освещения водоносности пород определяется, как правило, глубиной залегания водоносного горизонта, имеющего практическое значение для данного района. В отдельных случаях на площадях съемки могут буриться более глубокие структурно– гидрогеологические скважины.

Для проходки скважин используются самоходные буровые станки: вращательного бурения– СБУ-150-ЗИВ, АВБ-100, УРБ-3-АМ, ударно-канатного бурения– 75-V, УКС-22 и комбинированного бурения – УГБ-50. Кроме того, при бурении неглубоких скважин, особенно на участках трудно доступных для автотранспорта, могут применяться комплекты ручного вращательного бурения. При бурении скважин колонковым способом производится сплошной отбор керна и шлама с последующим тщательным литолого-петрографическим его изучением. При ударно-вращательном бурении образцы пород отбираются не реже чем через 0,5м и при каждом смене пород. Геологические разрезы скважин должны составляться параллельно с бурением, чтобы можно было правильно направлять процесс бурения, своевременно вносить необходимые изменения в конструкцию скважины и подготавливать ее гидрогеологическое опробование. Бурение скважин должно обязательно сопровождаться тщательным гидрогеологическими наблюдениями, количественным и качественным опробованием всех водоносных горизонтов, при этом:

а) данные всех наблюдений документируются в буровом журнале, в котором подробно описываются все пройденные породы и вскрытые водоносные горизонты, отмечаются мощность слоев, глубины появления воды и установившегося уровня по каждому встреченному водоносному горизонту, изменение уровня воды в процессе бурения за счет поглощения промывочной жидкости, процент выхода керна, провалы инструмента, способы изоляции отдельных водоносных горизонтов, глубина отбора проб;

б) качественное опробование водоносных горизонтов заключается в отборе проб для производства полевых, сокращенных и полных химических анализов воды и газа, а также отборе образцов пород для гранулометрического анализа и определения коэффициента фильтрации (только для рыхлых песчаных пород). Пробы на полевые химические анализы воды отбираются из всех скважин и всех пройденных водоносных горизонтов. При большой мощности водоносного горизонта рекомендуется отбирать 3 пробы – из верхней, средней и нижней его частей. Образцы пород для определения гранулометрического состава и коэффициента фильтрации должны отбираться из всех скважин, в которых будут производиться пробные и опытные откачки. Анализы эти выполняются в поле и используются для выбора конструкции фильтра.

Пробы воды на сокращенный и полный химический анализы отбираются из такого расчета, чтобы охарактеризовать каждый водоносный горизонт и каждый выделенный по данным полевых химических анализов тип подземных вод не менее чем тремя полными химическими анализами;

в) количественное опробование водоносных горизонтов производится путем проведения прокачек (тартание), пробных и опытных откачек.

Прокачки производятся во всех скважинах, вскрывающих водоносные горизонты. Пробные откачки продолжительностью не менее 8 час. При установившихся уровне и дебите проводятся с таким расчетом, чтобы охарактеризовать все водоносные горизонты. Они проводятся с одним понижением уровня воды не менее чем на 1 м, за исключением случаев больших притоков. Количество пробных откачек из каждого водоносного горизонта на площади одного планшета не менее 5. Для характеристики основных водоносных горизонтов или комплексов опытные откачки продолжительностью не менее 24 час. При установившихся уровне и дебите проводятся с 3 понижениями. Каждый основной водоносный горизонт или комплекс должен быть охарактеризован не менее чем одной опытной откачкой. Рекомендуемое количество пробных и опытных откачек и их продолжительностью дается как среднее на один планшет при съемке данного масштаба.

В процессе полевых работ, с учетом конкретных природных условий (изменение фациального состава водоносных горизонтов или комплексов, величина площади распространения и степень изменчи-

ности химического состава подземных вод), количество пробных и опытных откачек, так же как их продолжительность, могут быть изменены с соответствующим обоснованием.

В процессе гидрологической съемки проводятся наблюдения за режимом подземных вод в специально оборудованных для этой цели наблюдательных точках. Наблюдения за режимом подземных вод производятся с целью выявления закономерностей изменения уровня и температуры подземных вод, химического и газового состава, а также расходов по отдельным водопунктам во времени. Точками для наблюдений за режимом подземных вод могут служить буровые скважины, колодцы, шурфы, родники; в районах распространения многолетней мерзлоты наряду с наблюдениями за родниками проводятся наблюдения за наледями. Выбор точек и момента начала наблюдений за режимом подземных вод производится в процессе изучения опорных разрезов в начальный период гидрогеологической съемки с тем, чтобы к ее окончанию иметь данные за наиболее длительный период наблюдений. При организации точек наблюдений за режимом подземных вод принимается такое их расположение, чтобы можно было получить данные о режиме подземных вод в наиболее характерных условиях их распространения (например в речных долинах, на водоразделах и т.п.). Данные о режиме подземных вод, полученные в процессе проведения гидрогеологической съемки, используются при составлении отчета, а также гидрогеологических карт. Для правильного анализа и использования этих данных необходимо собрать и обработать материалы, характеризующие метеорологические (осадки, температура воздуха и т.п.) и гидрологические условия района расположения наблюдательных точек.

Объем и методика наблюдений за режимом подземных вод определяются проектом работ. При установлении порядка и сроков этих наблюдений необходимо руководствоваться специальной инструкцией и методическим руководством, изданными ВСЕГИНГЕО.

При проведении гидрогеологической съемки масштабов 1:200 000 – 1:100 000 сопровождается геофизическими работами, позволяющими в более короткие сроки получить представление о гидрогеологических условиях района работ.

В отдельных случаях гидрогеологическая съемка масштабов 1:200 000–1:100 000 сопровождается геофизическими работами, позволяющими в более короткие сроки получить представление о гидрогеологических условиях района работ.

Геофизические методы при гидрогеологической съемке применяются для решения следующих основных задач:

а) изучения геологических структур, выявления и прослеживания тектонических зон разломов, трещиноватых и закарстованных зон среди скальных и полускальных пород, погребенных долин, к которым, как правило, приурочены подземные воды;

б) определения глубины залегания подземных вод и их минерализации, направления и скорости подземного потока, выделяются линзы пресной воды среди соленой и, наоборот, минерализованных пластовых вод, залегающих среди пресных пластовых вод, а также минеральных вод, циркулирующих по зонам разлома или разгружающихся в долинах рек под аллювием;

в) уточнения литологического состава пород путем каротажа скважин, особенно пробуренных шнековым и бескерновым способом, а также определения места выхода восходящих вод под насосами.

Геофизические работы проводятся по инструкции и методикам, разработанным специально для этих работ.

В съемки в степных, полупустынных и полупустынных районах важное вспомогательное значение может быть геоботанический метод, основанный на принципе тесной связи материнских почвообразующих пород, грунтовых вод, почв и растительности.

Сущность этого метода заключается в использовании состава, строения, ритма развития и других и других признаков растительного покрова в качестве показателей (индикаторов) геологических или гидрогеологических особенностей района, а также поисков некоторых полезных ископаемых.

Геоботанический метод может быть применен:

а) при составлении карт глубин залегания и химических составов первого водоносного горизонта;

б) при составлении карт засоления грунтов;

в) для выявления линий тектонических нарушений.

Составление карт засоления грунтов не являются обязательным при гидрогеологических работах, однако такие карты имеют большое практическое значение, особенно при проектировании мелиоративных мероприятий в аридных областях.

Индикаторами на ту или иную литологическую разность пород, а также на степень и характер засоления грунтов служат определенные растительные сообщества. Однако следует иметь в виду, что геондикационное значение растительности проявляется по-разному в каж-

дом более или менее однородном по климатическим условиям рай-  
оне, что указывает на отсутствие «универсальных индикаторов»,  
свойственных той или иной породе в любых условиях. Для каждого  
климатически однородного района имеется свой ряд растительных  
сообществ-индикаторов на грунтовые воды.

Использование геоботанического метода особенно целесообразно  
при составлении гидрогеологических карт территорий с пестрым хи-  
мическим составом подземных вод.

Растительный покров является чутким показателем присутствия  
подземных вод. Особое значение для целей изучения подземных вод  
имеют растения фреатофиты («насосы»), корневая система которых,  
как правило, достигает зеркала грунтовых вод или их капиллярной  
зоны. По распространению, развитию и жизнеспособности тех или  
иных видов растений фреатофитов и образуемых ими растительных  
сообществ можно весьма точно судить о глубине залегания первого  
водоносного горизонта, причем предельной глубиной залегания  
уровня подземных вод, которую можно определить геоботаническим  
методом, для пустынь и полупустынь является глубина в 40 м. При-  
сутствие среди растительных сообществ-геоиндикаторов растений,  
приспособленных к жизни в условиях высокой (галофитов) или низ-  
кой (гликофитов) минерализации грунтов и подземных вод позволяет  
судить не только о глубине залегания, но и о степени минерализации  
подземных вод.

В результате изучения распространения растительных сооб-  
ществ-гидроиндикаторов составляются гидроиндикационные карты,  
на которых отражается глубина залегания и минерализация первого  
водоносного горизонта. К гидроиндикационным картам прилагаются  
схемы расположения участков, рекомендуемых для постановки буро-  
вых скважин с целью получения пресных вод, залегающих на не-  
большой глубине. Использование геоботанических наблюдений для  
установления линий тектонических нарушений эффективно в тех  
случаях, когда эти нарушения вызывают резкую смену в гидрогеоло-  
гическом режиме или в режиме засоления исследуемого района, что  
сказывается на растительном покрове. Особенно целесообразно ис-  
пользование геоботанического метода в районах, где предполагается  
наличие неотектонических движений.

Полевые гидрогеологические карты, как уже отмечалось раньше,  
должны составляться непосредственно в маршруте с непрерывным

наращиванием заснятой площади в процессе гидрогеологической съемки.

Увязка гидрогеологических границ смежных районов съемки производится непосредственно в поле при проведении съемочных работ. В случае расхождения границ или различия схем стратиграфических и гидрогеологических подразделений, принятых для двух смежных карт, необходимо перекрывать соседние листы по северной и восточной сторонам не менее чем на 1.5 см в масштабе полевой карты с тем, чтобы установить распространение на соседней территории выделенных свит водоносных горизонтов и комплексов.

Кроме топографической карты, у съемщиков должны быть экземпляры геологической карты, являющиеся основой при проведении гидрогеологической съемки.

Необходимые дополнения и уточнения геологической карты, выявленные в процессе гидрогеологической съемки, должны наноситься на имеющуюся геологическую основу как непосредственно в поле (во время маршрута), так и в процессе камеральной обработки собранных материалов.

Все описанные обнажения, колодцы, родники, буровые скважины и другие точки наблюдений наносятся на карту и нумеруются. Нумерация должна быть единой в пределах планшета.

Обнажениям, источникам и другим точкам наблюдений на карте под теми же номерами должны соответствовать записи и зарисовки в дневнике, фотографии и образцы коллекций. Точности нанесения на карту пунктов наблюдений на карту пунктов наблюдения уделяется особое внимание. При ориентировке на местности должны быть учтены все имеющиеся на карте детали рельефа, особенности гидрографической сети и пр. В случае необходимые надлежит произвести засечкой компасом на видимые и отмеченные на карте пункты, использовать данные барометрического нивелирования или сделать глазомерную съемку с целью привязку.

Условными знаками на карту наносятся все гидрогеологические точки наблюдений: источники, пластовые выходы подземных вод, мочажины, заболоченности, наледи, чеколаки, талики, горные выработки и буровые скважины, вскрывшие подземные воды, места отбора проб воды на химические анализы.

Раскраска карты производится последовательно, по мере выяснения строения отдельных частей площади. К концу полевой работы карта должна быть раскрашена полностью.

В выборе цветов необходимо руководствоваться ясным различием их друг от друга. Принятые обозначения цветов и другие условные знаки должны быть отмечены на карте или на ее обороте. Система обозначений должна быть единой для всей площади листа.

В дневники заносятся все полевые наблюдения, измерения, описания разрезов, родников, колодцев и других точек наблюдений, опросные сведения, зарисовки, а также периодически производимые обобщения и предварительные выводы.

Записи ведутся по числам месяца с общим указанием места работы (в данный день), графитовым карандашом средней твердости (неразмыкающимся), на одной стороне листа; вторая оставляется для чертежей, рисунков, специальных пометок, а также для последующего определения пород и внесения результатов анализов.

Описание точек наблюдений ведутся по порядковым номерам, соответствующим их номерам на карте.

Номер точки наблюдения ставится в начале описания; при нем отмечаются взятые образцы пород, пробы воды и сделанные фотографии.

Для удобства обработки материалов в полевой книжке рядом с номером точки наблюдения рекомендуется ставить условные знаки, обозначающие родник, колодец, скважины, геоморфологические точки наблюдения и т.д. Эти условные знаки могут быть произвольными, но едиными для всех съемщиков партии.

Описание разрезов может производиться как сверху вниз, так и снизу вверх, обязательным указанием порядка описания в дневнике и последующим приведением всех описаний в единую систему.

Рисунки, разрезы (с указанием размера или масштаба) и фотографии должны быть ориентировочны по странам света. В конце описания маршрута в дневнике должна быть дана сводка всех наблюдений за день с изложением главнейших выводов и соображений. Наблюдаемые явления должны всегда резко отделяться в записях от всех предположений и выводов исследователя, как бы они очевидны ни были.

Образцы горных пород отбираются для уточнения имеющейся геологической карты на участках, где намечаются эти уточнения, а также для обоснования водных свойств пород. Образцы рыхлых пород весом от 0,5 до 2 кг отбираются в мешочки в зависимости от однородности состава. В необходимых случаях в полевой лаборатории

определяется коэффициент фильтрации и производится гранулометрический анализ.

Для обеспечения своевременного выполнения камеральных работ материал для изготовления петрографических шлифов, равно как палеонтологические и другие образцы, требующие аналитических исследований, должны присылаться с поля в соответствующие лаборатории заблаговременно, не ожидая конца полевого сезона.

Пробы воды для полевых химических анализов отбираются из всех родников, рек, озер и других водоемов, а также буровых скважин и колодцев. Анализ проб на нестойкие компоненты ( $\text{Pn}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) должен производиться непосредственно у водоисточника либо в полевой лаборатории партии не позднее одного дня после отбора пробы. К пробам воды на сокращенный и полный химические анализы, выполняемые в стационарной лаборатории, прикладываются результаты определения нестойких компонентов.

Пробы воды на полный анализ отбираются с таким расчетом, чтобы были характеризованы все водоносные горизонты района съемки в различных геоструктурных и геоморфологических условиях, а также реки и озера.

В процессе гидрогеологической съемки должны быть отобраны образцы для определения водно-физических свойствах рыхлых пород. Образцы отбираются из обнажений, скважин и шурфов с таким расчетом, чтобы получить общую характеристику водно-физических свойств всех основных литологических и генетических разностей пород.

Изучение образцов производится в инженерно-геологической лаборатории; при этом определяются следующие характеристики: гранулометрический состав (только для рыхлых, несвязных грунтов), объемный и удельный веса, пористость, естественная влажность, пределы пластичности, коэффициенты фильтрации, водоотдача. Указанный перечень лабораторных определений может изменяться и дополняться в зависимости от целевого назначения съемки и особенностей геологического строения района, что должно предусматриваться в проекте работ. Для определения объемного веса отбираются образцы с ненарушенной структурой, которые для сохранения естественной влажности парафинируются. Размер образцов кубиков со стороной 5-10 см.

Определение коэффициента фильтрации песчаных пород может производиться непосредственно в поле при помощи прибора КФ (трубка «Спецгео») или трубки Каменского.

В камеральный период изучается весь собранный коллекционный материал (петрографический, палеонтологический и т.д.), производятся аналитические работы, тщательно корректируются и дополняются новыми данными дневники, составляются, по окончательно дешифрованным материалам, дешифровочные кальки на аэрофотоснимки и фотосхемы, прилагаемые к отчету, уточняются и редактируются полевые карты с внесением к отчету, уточняются и редактируются полевые карты с внесением в них дополнений и изменений по результатам аналитических работ и обработки всех материалов, составляются гидрогеологические разрезы к картам и текст отчета, который утверждается в установленном порядке. Отчет сдается в геологические фонды и направляется заинтересованным организациям.

К дневнику прикладывается карта фактического материала. Описание разрезов буровых скважин, шурфов и других разведочных выработок в перепечатанный дневник не включается.

В необходимых местах дневниках даются ссылки на номера скважин, шурфов и колодцев, колонки, каталоги, разрезы и т.д. которых прикладываются отдельными приложениями.

Аэрофото материалы, отдешифрованные в подготовительный период и проверенные в процессе съемки, в камеральный период подвергаются дополнительному изучению с целью внесения в них всех необходимых уточнений и в окончательном виде используются для составления гидрогеологической карты. Данные геофизических, гидрологических, геоботанических и других исследований используются для уточнения гидрогеологических условий района. Более детальное освещение результатов этих работ дается в самостоятельных отчетах (или в отдельных главах общего отчета), составляемых по специальным инструкциям на эти виды работ.

Данные аналитического изучения горных пород систематизируются по комплексам пород и водоносным горизонтам и оформляются в виде таблиц.

Химические анализы воды систематизируются по водоносным горизонтам и комплексам и оформляется в виде таблиц.

В последней графе этой таблицы химический состав воды выражается формулой Курлова. В примечании к таблице указывается лаборатория, выполнявшая анализы.

По результатам опытных работ выполняются необходимые контрольно-проверочные работы. Данные опытных работ и подсчетов по ним наносятся на чертежи, на которых изображаются разрезы опыт-

ных выработок, план их расположения, конструкция, графики хода опыта, графики зависимости дебита и удельного дебита от понижения, основные расчетные данные. Журналы опытных работ к отчету не прикладываются, а передаются в подлиннике на хранение в архив.

Данные буровых и шуровочных работ оформляются в виде каталогов шурфов, скважин и т.д. Колонки скважин и разведки шурфов к отчету прилагаются только по наиболее характерным выработкам. Журналы скважин, шурфов и других выработок к отчету не прикладываются и в подлиннике сдаются на хранение в архив.

На гидрогеологической карте показываются площади распространения и условия залегания водоносных горизонтов и комплексов. Кроме того, она должна давать представление об областях питания, циркуляции и разгрузки, характере уровней подземных вод (напорные, со свободным зеркалом), изменений напоров по площади, химическом составе воды и его изменениях по площади и на глубину, водообильности водоносных горизонтов или комплексов их. Полнота освещения указанных вопросов на карте обуславливается сложностью гидрогеологических условий картируемой территорией.

В зависимости от целевого назначения гидрогеологической съемки и сложности геологического строения и гидрогеологических условий картируемой территории могут составляться различные виды гидрогеологических карт, например, гидрогеологическая карта четвертичных отложений, гидрогеологическая карта до четвертичных отложений, гидрогеологическая карта первых от поверхности земли водоносных горизонтов, гидрогеологическая карта напорных вод (одного или нескольких водоносных горизонтов), карата гидроизогипс, гидрохимическая карата и другие.

На гидрогеологической карте сплошной закраской показывается площадь распространения первого от поверхности водоносного горизонта. Цвет закраски соответствует цветовому обозначению водовмещающих пород по геологической карте. Оттенками показываются интервалы глубин залегания водоносного горизонта: более темные оттенки соответствуют более глубокому залеганию водоносного горизонта. Верховодка, в том числе перемерзающие зимой надмерзлотные воды, показываются цветной штриховкой (цвета, соответствующего возрасту водовмещающих пород) поверх сплошной закраски первого от поверхности водоносного горизонта. Распространение второго от поверхности и более глубоко залегающих водоносных горизонтов показывается прерывистым цветным контуром с бергштри-

хами, направленными в сторону распространения водоносного горизонта. Цвет контура соответствует цвету, которым показаны водовмещающие породы на геологической карте.

В зоне перехода грунтовых вод в напорные проводится линия нулевого напора. Минерализация подземных вод и водообильность пород показываются по отдельным опробованным точкам. Минерализация подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта показывается цветной закраской внутри знака буровой скважины, источника, колодца. Минерализация подземных вод второго, третьего и т.д. от поверхности водоносных горизонтов показывается закраской последовательно располагающихся колец вокруг условного знака буровой скважины. Дебит водопунктов и понижения уровня воды отмечаются цифровыми справа от знака водопункта. За рамкой карты помещаются гидрогеологические разрезы и условные обозначения, которые содержат:

а) краткую характеристику водоносных горизонтов, в которой указано: условное обозначение водоносного горизонта на карте и на разрезах, индекс геологического возраста водовмещающих пород, название водоносного горизонта или комплекса, литологический состав водовмещающих пород, напорность, минерализация воды, дебит водоисточников, хозяйственное значение горизонта;

б) обозначение минерализации воды в водоисточниках;

в) прочие обозначения.

Независимо от вида гидрогеологической карты на нее наносятся все опорные буровые скважины, источники, колодцы. При выборе опорных водоисточников следует учитывать, что они должны характеризовать все водоносные горизонты на карте в различных геологоструктурных и геоморфологических условиях.

На гидрогеологическую карту наносятся линия тектонических нарушений, имеющие значения для оценки гидрогеологических условий, знаками присвоенными им по геологической карте, а также линии гидрогеологических разрезов.

Гидрогеологические разрезы составляются по направлениям, наиболее полно характеризующим особенности гидрогеологических условий картируемой территории. При составлении гидрогеологических разрезов за основу берется имеющаяся геологическая карта, а также используются данные картировочного бурения, сопровождающего съемку. Составление гидрогеологических разрезов только на

основе имеющейся геологической карты без использования данных картировочного бурения не допускается.

На гидрогеологическом разрезе показываются границы геологических образований и закрашиваются (цветом, приданным водоносному горизонту) обводненные породы. Около буровых скважин, нанесенных на разрез, показываются: мощность обводненных пород, уровень и напор воды различных водоносных горизонтов.

Карта фактического материала может быть составлена либо в масштабе отчетной карты, либо более в более крупном, а именно в том, в каком проводились полевые наблюдения. В последнем случае топографическая основа может быть разгружена от излишних деталей.

На карту фактического материала наносятся:

а) маршруты, все описанные обнажения и точки геоморфологических наблюдений, родники, скважины, шурфы, колодцы, кяризы и т.п. с указанием номеров;

б) места находок ископаемых остатков;

в) места отбора проб воды на химический анализ;

г) участки проведения опытных работ.

Нумерация на карте должна соответствовать нумерации фактического материала, прилагаемого к отчету.

Нумерация фактического материала на карте производится отдельно, по объектам наблюдений (обнажениям, шурфам, скважинам, колодцам, источникам и т.д.), справа налево и сверху вниз.

В гидрогеологическом отчете, представляемом в конце камерального периода, дается сводка и обобщение результатов всех полевых и камеральных работ.

Отчет должен включать:

1) текстовую часть, содержащую описание геологического строения и гидрогеологических условий исследованного района, объемом не более 100 страниц машинописи через 2 интервала (часть 1);

2) карты и другие графические приложения (часть 2);

3) фактический материал, положенный в основу карт и отчета часть (3).

К отчету прилагается аннотации и список использованных литературных и фондовых материалов, оглавление и опись приложенных чертежей и карт.

Текст отчета должен включать следующие главы: введение, физико-географическое описание района, климат, геологическая и гид-

рогеологическая изученность, геологическое строение, подземные воды, заключение.

Первая, вторая, третья и четвертая главы отчета должны быть предельно краткими. Ниже приводится перечень основных вопросов по главам, подлежащих рассмотрению в отчете.

**Введение.** Географическое и административное положение района. Номенклатура планшетов и характеристика использованной топографической основы. Обоснование постановки гидрогеологической съемки с точным изложением целевого назначения работ. Плановые и фактически выполненные объемы всех видов работ (в виде таблицы), организационная структура партии. Методика работы. (В случае разработки новой или усовершенствования ранее известной методики работ, описание ее может быть выделено в самостоятельный раздел). Участие различных лиц в полевой работе и в обработке материалов. В качестве иллюстрации к этой главе должна быть приложена мелко-масштабная обзорная карта с показом района работ.

**Физико-географическое описание района.** Характер рельефа, степень его пересеченности, абсолютные и относительные отметки, обнаженность, описание гидрографической сети и особенностей гидрологического режима, растительность, населения, экономические особенности района и состояние горной промышленности и сельского хозяйства, пути сообщения.

Иллюстрациями к этой главе могут служить гипсометрическая схема, фотографии и аэрофотоснимки наиболее типичных форм ландшафта.

**Климат.** В этой главе дается краткое описание сведений, характеризующих климатические условия всего района или отдельных климатических зон, приводятся данные о температуре воздуха, атмосферных осадках, влажностей воздуха (относительной и абсолютной), атмосферном давлении, господствующем направлении ветров и их силе, испарении испаряемости, сезонном промерзании почвы – грунтов, наличии многолетней мерзлоты, ее распространении, мощности и характере проявления на поверхности земли.

Все фактические данные, характеризующие климатические особенности района исследований, приводятся в тексте главы в виде таблицы среднегодовых и среднемесячных величин за многолетний период, а также в виде максимальных и минимальных среднемесячных и абсолютных наблюдений с указанием месяца и года.

Наиболее характерные данные приводятся не только в виде таблиц но и в виде графиков.

В тексте главы должны быть указаны источники получения сведений, а также расположение метеостанций данные которых использованы в главе.

**Геологическая и гидрогеологическая изученность района.** В хронологической последовательности приводятся краткий обзор результатов всех видов геологических и гидрогеологических работ, проводившихся в районе, а в некоторых случаях и в сопредельных с ним участках. Отмечаются все принципиально новое, внесенное в результате этих работ и изучения района. Дается краткая характеристика имеющихся геологических карт. Рассматриваются основные материалы по подземным водам района и использованию этих вод для водоснабжения, характеризуются имеющиеся гидрогеологические карты. Освещаются работы по изучению режима подземных вод в исследуемом районе. Дается общая оценка детальности и качеству имеющихся гидрогеологических карт.

**Геологическое строение.** В этой главе дается краткое описание стратиграфии и тектоники района исследования. Материалом для составления главы служат имеющаяся геологическая карта с пояснительной запиской к ней, а также результаты наблюдений в процессе гидрогеологической съемки, уточняющие эту карту. Если в результате проведенных работ не получено новых данных, существенно изменяющих существующие представления о геологическом строении района, то эта глава должна быть предельно краткой и содержать только те сведения по стратиграфии, литологии, петрографии и тектоники района которые необходимы для обоснования выделяемых водоносных горизонтов и комплексов, в отношении их стратиграфического положения, условия залегания и особенностей формирования подземных вод.

В главе указывается распространение, литологический состав, условия и глубина залегания (в метрах от поверхности земли и в абсолютных отметках), мощность каждого стратиграфического подразделения, дислоцированность пород, тектонические структуры, складчатость, разрывные нарушения и трещиноватость. Описание стратиграфических подразделений дается снизу вверх.

Эта глава иллюстрируется копией имеющейся геологической карты и сводной стратиграфической колонкой. Для районов, сложных в тектоническом отношении, дается тектоническая схема. При широ-

ком распространении мощной четвертичной толщи дополнительно составляется стратиграфическая схема четвертичных образований (в виде профиля, отражающего соотношения главнейших генетических и возрастных комплексов четвертичных образований в различных формах рельефа), а также дается карта четвертичных отложений.

**Геоморфология.** Приводится краткое описание геоморфологических районов, выделенных по генетическим типам рельефа, с характеристикой зависимости геоморфологических элементов от состава пород и геолого-структурных особенностей района. Более подробно освещается строение долин: указываются количество террас, их ширина, высота и характер поверхности. Дается характеристика современных физико-геологических процессов и явлений (карста, оползней, размывов, овалов, суффозий и другие). В качестве иллюстраций прилагаются фотографии и геоморфологическая карта с нанесенными на нее условными знаками современных физико-геологических явлений. В зависимости от изученности района и количества фактического материала карта может представляться в виде схемы.

**Подземные воды.** В этой главе приводится подробное описание каждого водоносного горизонта по выделенным стратиграфическим подразделениям (сверху вниз) примерно по следующей схеме:

а) распространение водовмещающих пород, их литологический состав и фациальные изменения, характер залегания и мощность (общая для слоя и водонасыщенной его части);

б) глубина залегания кровли и подошвы водовмещающих пород от поверхности земли в метрах и в абсолютных отметках;

г) физико-механические и водные свойства водовмещающих пород;

д) водообильность водоносных горизонтов, комплексов и зон по дебитам скважин, родников и колодцев. Данные о дебитах обязательно сопровождаются указанием величины понижения уровня;

е) химический, газовый состав и данные бактериологического анализа вод, оценка качества воды для целей водоснабжения, орошения и др.;

ж) области и условия питания, движения и разгрузки (источники, водозаборы, горные выработки, специальные дренажные сооружения, а также реки, озера и заболоченности, дренирующие водоносный горизонт, распределение напоров;

з) взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и с поверхностными водами;

- и) режим водоносного горизонта;
- к) ориентировочные данные о геологических запасах подземных вод (для эксплуатируемого или рекомендуемых к эксплуатации водоносных горизонтов);
- л) практическое значение водоносного горизонта;
- м) описание существующего водоснабжения и рекомендаций по его расширению.

В конце главы дается общий вывод о гидрогеологических условиях исследованного района. В том случае, если проектом ставились конкретные задачи водоснабжения, осушения или борьбы с шахтными водами, в заключении к отчету подземные воды освещаются более детально именно с этой стороны. Так, например, если в задачу входило выяснение возможности водоснабжения за счет подземных вод, то указываются рекомендуемые водоносные горизонты, дается описание оптимальных условий и тип каптажа, глубина, рекомендуемая конструкция и т.д.

Для иллюстрации текста помещаются фотографии характерных источников, скважин, графики химического состава дебитов, схематические карточки минерализации, гидрогеологические профили и т.д.

**Заключение.** Содержание этой главы полностью зависит от результатов проведенной съемки в данном районе. В ней даются выводы по результатам изучения подземных вод, а также более детально освещаются вопросы, отвечающие поставленные перед съемкой народнохозяйственной задаче, (организация водоснабжения за счет подземных вод, направление борьбы с подземными водами и т.п.). Также, если это требуется проектом работ, намечаются и очередные задачи дальнейшего, более детального гидрогеологического изучения района.

Глава эта должна быть краткой и четкой, не должна содержать перечислений выполненных работ, описания геологического строения и т.д. В ней должны быть приведены лишь основные результаты работ, научные обобщения и выводы.

Список литературы, помещаемый в конце отчета, составляется в алфавитном порядке. Заголовки работ выписываются полностью, а названия изданий и журналов сокращаются так, чтобы они оставались понятными без объяснений. Следует точно указывать том, выпуск, номер и год издания.

Обязательными графическими приложениями к отчету являются:

- 1) гидрогеологическая карта и гидрогеологические профили к ней;
- 2) карта фактического материала;
- 3) геологическая карта дочетвертичных отложений с геологическими разрезами и сводной стратиграфической колонкой (одной или несколькими);
- 4) геологическая карта четвертичных отложений (только для районов с мощным развитием четвертичных отложений, определяющих гидрогеологические особенности района);
- 5) геоморфологическая карта;
- 6) графики опытных работ;
- 7) геологические разрезы по наиболее характерным скважинам.

Если предусмотрено составление дополнительных карт гидроизогипс, химического состава или какой-либо иной, то они должны удовлетворять требованиям, изложенным в проекте работ.

Если в процессе гидрогеологической съемки выполнялись геофизические, геоботанические и другие работы, то результаты их освещаются в самостоятельных отчетах или в отчет о гидрогеологической съемке вводятся соответствующие дополнительные главы, в которых описываются эти работы с подробными графическими иллюстрациями и основными выводами, независимо от использования этих выводов в других главах гидрогеологического отчета.

Тестовые приложения к отчету брошируются в отдельный том (часть 2 отчета). Эта часть отчета должна содержать: систематизированные описания всех полевых наблюдений, таблицы результатов химических анализов воды и физико-механических свойств пород, систематизированных по комплексам пород и водоносным горизонтам, каталоги источников, буровых скважин, колодцев, шурфов, кяризов и другие фактические материалы. Все таблицы, каталоги и другие материалы должны быть подписаны составителями и начальником партии.

## **Глава 18. Требования к конструкциям гидрогеологических скважин, наблюдение и документация при проходке скважин**

(материалы В.А.Шемелиной)

Вскрытие, изучение и использование подземных вод чаще всего осуществляется буровыми скважинами, поэтому необходимо совершенствовать технологию бурения, опробование и документацию их.

Буровые скважины должны обеспечивать получение полной информации о геолого-гидрогеологических условиях изучаемого участка. Объем и достоверность получаемой при бурении и опробовании скважин информации во многом зависят от обоснованного выбора способа бурения, конструкции скважин, надежной изоляции водоносных горизонтов и технической подготовки их к опробованию.

### **18.1 Обоснование конструкции гидрогеологических скважин**

**Выбор способа бурения и станка.** При сооружении гидрогеологических скважин применяются способы бурения: *вращательный с прямой и обратной промывкой водой, с продувкой воздухом, ударно-канатный, колонковый, реактивно-турбинный, шнековый.* Наиболее часто при гидрогеологических исследованиях скважины проходятся роторным (вращательным) и ударно-канатным способами. Выбор их зависит от состава пород в разрезе, количества типа водоносных горизонтов, назначения и вида скважины, глубины и диаметров бурения, изученности участка и других факторов. При выборе необходимо учитывать достоинства и недостатки рассматриваемых способов бурения.

**Категории гидрогеологических скважин, типы их конструкций.** По целевому назначению различают скважины: поисковые, разведочные, разведочно-эксплуатационные, эксплуатационные и наблюдательные.

*Поисковые скважины* бурят при поисково-съёмочных работах и предназначены для изучения общих геолого-гидрогеологических условий, предварительной количественной и качественной оценки встреченных водоносных горизонтов.

*Разведочные скважины* проходят при предварительной и детальной разведках перспективных участков с целью количественной и качественной оценки наиболее перспективных горизонтов и для изучения гидрогеологических параметров водоносных пластов.

*Разведочно-эксплуатационные скважины,* сооружаемые на детальной стадии разведки в местах будущих водозаборов, предназначены для полного изучения основного водоносного горизонта и последующей их передачи в эксплуатацию.

*Наблюдательные скважины* могут закладываться на предварительной, детальной стадиях разведки и используются для наблюдений за режимом подземных вод как при проведении опытных работ, так и при эксплуатации.

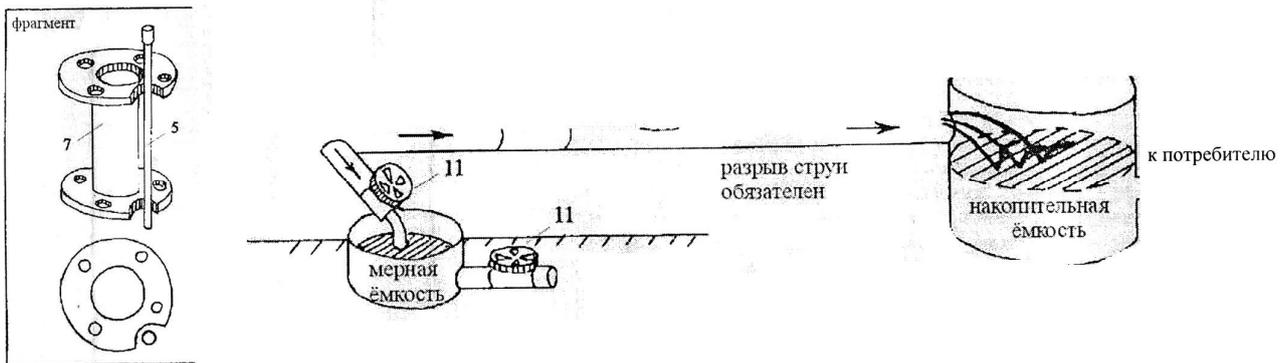


Рис. 59. Схема оборудования эксплуатационной скважины на воду.

I – кондуктор; 2 – цементный замок; 3 – обсадная колонна; 4 – насос: 4-1 – лопасти насоса; 4-2 – двигатель; 4-3 – всасывающее отверстие; 5 – пьезометрическая трубка для измерения уровня воды в скважине (на фрагменте показан монтаж трубки в случае крепления насоса на трубах с фланцами); 6 – уровень воды в скважине; 7 – водоподъёмная труба; 8 – токоподводящий кабель; 9 – страховочный трос насоса; 10 – опорная плита; II – задвижка.

Общие требования ко всем категориям скважин: 1) сооружение их с минимальными затратами труда, времени и средств; 2) качественное и эффективное выполнение гидрогеологических наблюдений, опробования; 3) возможность размещения измерительных приборов опробования, водоподъемников и т.д.; 4) защита водоносных горизонтов от загрязнения, возможность проведения ремонтных работ, извлечения труб.

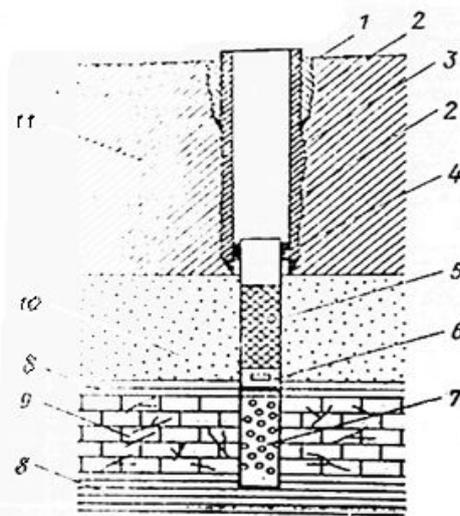


Рис. 59а. Схема конструкции скважины с двумя фильтрами: 1 – кондуктор (направление), 2 – цементация, 3 – эксплуатационная колонна, 4 – сальник, 5 – фильтр сетчатого типа, 6 – ниппель с промывочным окном и цементной пробкой, 7 – фильтр дырчатого типа, 8 – глины, 9 – трещиноватые известняки, 10 – водонасыщенные пески, 11 – суглинки.

Конструкции гидрогеологических скважин разнообразны. Они определяются целевым назначением бурения, глубиной и способом проходки, конечным и начальными диаметрами, способами изоляции и опробования, особенностями водоносных горизонтов. Основными элементами конструкции гидрогеологических скважин (рис.59) являются: кондуктор (направляющая труба); техническая и эксплуатационная колонна; сальник, цементный стакан, фильтр с отстойником и надфильтровой частью.

К параметрам *конструкции скважин* относятся: длина, диаметр, колонн обсадных труб, фильтра, интервалы цементации. Количество и длина обсадных колонн зависят от глубины скважины, геологического разреза и способа бурения. Глубина скважины выбирается в зависимости от глубины залегания водоносного горизонта и мощности его вскрытия (водоносные горизонты мощностью до 20 м вскрываются полностью). Вскрытая мощность водоносного горизонта и конечный диаметр скважины должны обеспечивать проектный дебит, установку фильтра и проведение необходимых исследований. Значения минимальных диаметров различных категорий скважин при вращательном и ударном способе бурения рекомендованы П.П.Климентовым.

Эксплуатационный диаметр скважины, предназначенный для размещения водоподъемника, должен быть на 50–100 мм больше диаметра водоподъемника. Если диаметр фильтра меньше диаметра эксплуатационной или технической колонны, возникает необходимость в установке сальника или переходника. При создании конструкции скважины необходимо учитывать, что при вращательном способе бурения обсадные трубы устанавливаются в скважине после бурения определенного интервала и выход колонны одного диаметра может быть очень значительным (до нескольких сот метров).

При ударном способе бурение ведется с одновременной обсадкой скважины и выход колонны одного диаметра может быть 30–40 м, реже до 70 м с установкой башмака труб в глинистых толщах [47]. Ниже приведены наиболее часто встречаемые конструкции скважин [9].

*Роторный способ бурения* (рис. 60):

а) конструкции скважины позволяет надежно изолировать неиспользуемые водоносные горизонты;

б) конструкция позволяет монтировать водоподъемник выше эксплуатационной колонны, которая устанавливается впотай на сальнике с подбашмачной цементацией;

в) конструкция предусматривает изоляцию верхней части скважины и установку насоса в колонне с переходником на меньший диаметр;

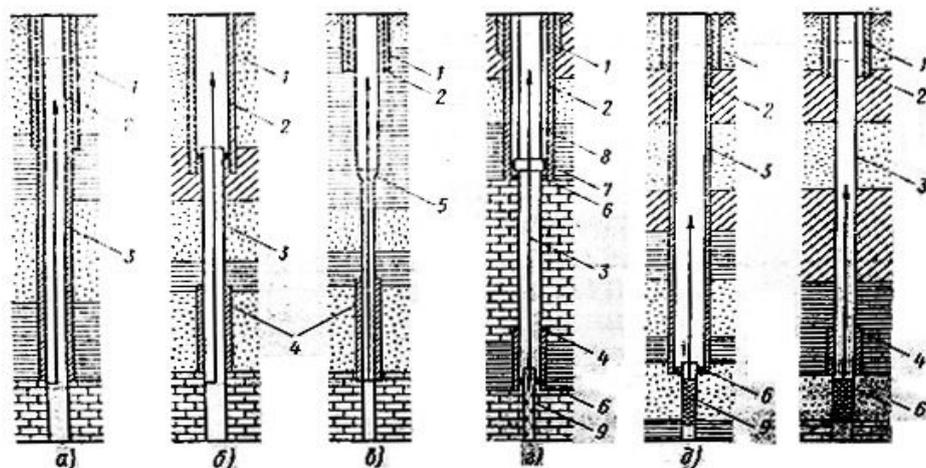


Рис.60. Схема конструкций скважин при роторном бурении:

а, б, в, г, д, е – в равных геологических условиях; 1 – кондуктор, 2 – затрубная цементация, 3 – эксплуатационная колонна, 4 – подбашмачная цементация, 5 – переходник, 6 – сальник, 7 – муфта с левой резьбой, 8 – техническая колонна, 9 – фильтровая колонна. Стрелкой показана высота подъема подземных вод.

г) конструкция позволяет надежно изолировать два интервала с установкой одной эксплуатационной колонны;

д) наиболее простая и экономически выгодная конструкция с использованием одной эксплуатационной колонны; она широко применяется в практике;

е) сходна с предыдущей, но фильтр устанавливается на эксплуатационной колонне с применением специальной манжеты для цементации колонны выше водоносного горизонта.

*Ударно-канатный способ бурения (рис. 61):*

а) скважина закреплена одной колонной в верхней части, остальная часть – в скальных породах без обсадки;

б) при небольшой глубине скважины фильтр установлен на колонне труб;

в) верхняя часть скважины закреплена колонной труб с цементацией, остальная часть – в скальных породах без обсадки;

г) двухколонная конструкция предусматривает изоляцию вышележащих горизонтов;

д) конструкция сходна с предыдущей, но предусматривает установку фильтра в водоносном горизонте;

е) конструкция предусматривает установку фильтра с гравийной обсыпкой и надежную изоляцию двух водоносных горизонтов.

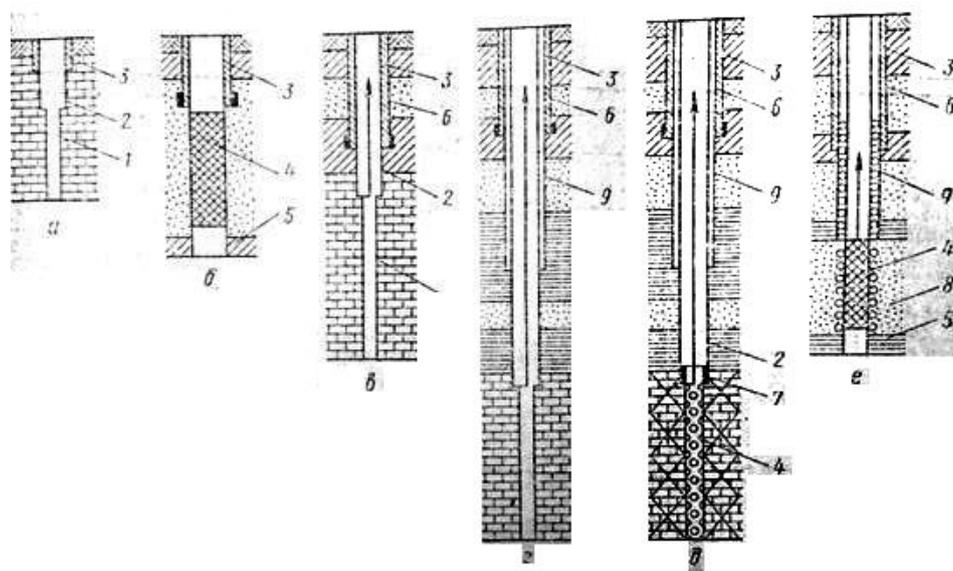


Рис.61. Схема конструкций скважин при ударно-канатном бурении:  
а, б, в, г, д, е – в равных геологических условиях; 1 – водоприемная часть, 2, 4 – эксплуатационная колонна, 5 – отстойник, 6 – межтрубная цементация, 7 – сальник, 8 – гравийная обсыпка, 9 – техническая колонна.

Для обоснования диаметра эксплуатационной колонны в скважине необходимо правильно выбирать водоподъемники с учетом их диаметра, глубины установки и производительности.

**Выбор обсадных труб, долот.** Для закрепления стенок скважин, изоляции водоносных горизонтов, изготовления каркасов фильтров применяются бесшовные трубы (ГОСТ 632-64) (табл.20).

При ударно-канатном способе бурения зазор между предыдущей и последующей колоннами обсадных труб должен быть 10–50 мм (с учетом диаметра муфты), при роторном бурении величина зазора между стенками скважины и муфтой обсадной трубы должна быть 25–50 мм, а между долотом и наружным диаметром обсадной колонны – не менее 100 мм. Так, для спуска колонны диаметром 219 мм скважина должна быть пробурена долотом диаметром 295–346 мм. Соотношения между диаметрами долот и обсадных труб при вращательном бурении приведены у В.В.Дубровского. Для лучшего использования обсадных труб муфты этих труб должны быть обточены.

При бурении в рыхлых неустойчивых породах ударным способом целесообразно пользоваться безмуфтовыми обсадными трубами [47].

**Пример.** Проектируется разведочно-эксплуатационная скважина с обсыпным гравийным фильтром. Параметры каркаса фильтра: наружный диаметр 168 мм, длина рабочей части 30 м, отстойник 10 м, надфильтровая часть 10 м. Диаметр обсадной колонны, в которой будет устанавливаться фильтр, 259 мм. Водоносная порода представлена песками, по данным гранулометрического состава которых  $d_{50} = 0.2$  мм. Необходимо подобрать состав гравия, рассчитать его объем и определить диаметр отверстий каркаса фильтра.

Таблица 20

Диаметры обсадных труб, мм		Муфты, наружный диаметр, мм	Диаметр обсадных труб, мм		Муфты, наружный диаметр, мм
наружный	внутренний		наружный	внутренний	
114	102-98	133	273	259-249	299
127	115-109	146	299	282-274	324
140	127-117	159	324	305-299	351
146	133-124	166	340	321-315	365
168	155-144	188	(351)	333-327	376
178	163-153	198	(377)	359-353	402
194	179-169	216	407	388-382	432
219	205-195	245	508	486	533
245	230-220	270			

Определим состав гравийной обсыпки из соотношения  $\frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{9}{12}$

Приняв  $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 10$  получим  $D_{50} \times 10 = 0.2 \times 10 = 2$  мм.

Диаметр отверстий каркаса фильтра определим из соотношения  $d_0 \leq 1.5 \div 4 D_{50}$ , приняв  $d_0 = 2D_{50}$ . Тогда  $d_0 = 2 \cdot 2 = 4$  мм.

Объем гравийной засыпки определим по формуле:

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)(l_1 + l_2 + l_3)}{4} = \frac{3.14(0.26^2 - 0.17^2)(10 + 30 + 10)}{4} = 1.5 \text{ м}^3 \quad (140a)$$

С учетом непредвиденных расходов и потерь засыпаемого материала к вычисленному количеству добавляется 10–15%, что составит  $1,5 + 0,3 = 1,8 \text{ м}^3$ . С учетом способа бурения, состава пород и диамет-

ров обсадных труб выбирают долота для бурения отдельных интервалов скважины. При бурении гидрогеологических скважин сплошным забоем роторным способом применяются долота различных типов и размеров: трехшарошечные, двух- и трехлопастные, а при бурении с отбором керна – колонковые долота. В зависимости от крепости пород применяют различные типы шарошечных долот: М (мягкие и вязкие породы), МС (мягкие с пропластками пород средней твердости), С (породы средней твердости), СТ (средней твердости с пропластками твердых пород), Т (твердые и крепкие), ТК (крепкие и очень крепкие породы), ОК (очень крепкие породы). Диаметры долот: 93, 97, 112, 118, 132, 135, 140, 145, 151, 161, 190, 214, 243, 269, 295, 320, 346, 370, 394, 445, 490. Двух- и трехлопастные долота (Д2Л и Д3Л) предназначены для бурения в породах мягких и средней твердости и имеют те же диаметры, кроме 97, 151, и 445 мм. Колонковые долота В-ДК имеют диаметры 118, 145, 190, 214, 243, 269, 295, 346 мм.

При ударном способе бурения применяются долота плоские (пластичные, глинистые породы), двутавровые (плотные сухие глины, галечник), округляющие (сланцы, известняки, песчаники), крестовые (твердые трещиноватые и валунно-галечниковые породы) с диаметрами 148, 198, 248, 298, 345, 395, 445, 595, 695 мм.

Для очистки скважин при ударном способе от разбуренной породы и при проходке в песках применяются желонки с одностворчатым клапаном диаметрами 120, 173, 225, 285 мм, желонки с плоским двустворчатым клапаном диаметрами 335, 390, 435, 530 мм. Для извлечения разжиженного шлама, воды из скважины применяются желонки с полусферическим клапаном диаметрами 130, 172, 224, 280 м.

При вращательном бурении скважин может производиться цементация затрубного пространства отдельных колонн обсадных труб до устья или в определенных интервалах для изоляции основного горизонта от остальных, для предохранения затрубного пространства от обвалов, с целью охраны скважины от загрязнения и т.д. Цементирование скважин ведется при помощи двух пробок, с одной пробкой, через заливочные трубки, а также способом манжетного цементирования [47].

В процессе проектирования конструкции, бурения скважин должен составляться геолого-технический наряд – основной документ на проходку скважин. В зависимости от способа бурения, особенностей конструкции, типа скважины формы геолого-технических нарядов отличаются друг от друга, но по содержанию (для одного вида буре-

ния) они сходны. Геолого-технический наряд при вращательном способе бурения делится на две части: геологическую и техническую.

## 18.2 Гидрогеологические наблюдения и документация при бурении скважин

Буровые скважины, хотя и недоступные для непосредственного осмотра, должны дать исчерпывающий материал о геолого-гидрогеологических условиях участка. Это требует тщательной организации гидрогеологических наблюдений и тщательного оформления документации при буровых работах. Наблюдения предусматривают выявление водоносных горизонтов, изучение условий их залегания, состава, мощности, водообильности, фильтрационных свойств, химического состава воды и других особенностей. При бурении глубоких разведочных скважин водоносные горизонты опробуют с помощью испытателей и опробователей пластов различных типов. Наиболее часто в практике используется испытательный снаряд ИСВ для поинтервального опробования скважин глубиной до 200 м, а также СИП-3, ОПГ и др.

Виды и характер гидрогеологических наблюдений при бурении скважин зависят от способа бурения, особенностей геологического разреза и водоносных горизонтов, целевого назначения скважины.

**Вращательный способ бурения.** 1. Ведутся наблюдения за проходимыми породами по керну с учетом процента его выхода, а при бурении сплошным забоем – по шламу, отбираемому лотком-ловушкой, устанавливаемой в циркуляционном желобе в 2–3 м от устья скважины. Шлам отбирают через 1-2 м проходки скважины из каждого пласта, при смене пород его берут одновременно с определением глубины по формуле:

$$h = H - \frac{vk}{v_1} \quad (141)$$

где  $H$  – глубина скважины в момент отбора шлама, м;

$v$  – средняя скорость проходки, м/мин;

$v_1$  – скорость подъема глинистого раствора по межтрубному пространству скважины, м/мин;

$k$  – поправочный коэффициент к скорости подъема частиц шлама, равный  $0,8 \div 0,85$ .

При применении колонковых долот получают керн, процент выхода которого определяют путем деления длины полученного керна (м) на длину рейса (м) и умножают на 100.

2. Наблюдают за водоносностью пород по изменению объема промывочной жидкости в отстойнике по рейке, по изменению физических свойств промывочной жидкости (плотности, вязкости, отстою и др.). Частота наблюдений 2–3 раза в смену, а при необходимости и чаще.

3. Определяют статический уровень, температуру воды после удаления из скважины глинистого раствора и прокачки. Это возможно при использовании пластоиспытателей, креплении фильтром или в устойчивых породах. Пробу воды берут пробоотборниками после прокачки скважины.

4. При газопроявлениях отбирают пробы газа специальными приспособлениями.

**Ударно-канатный способ бурения.** 1. Ведутся наблюдения за проходимыми породами через 0,5–2 м проходки, при отборе образцов пород из-под клапана желонки при последнем ее подъеме из скважины. Породы с ненарушенной структурой отбираются с помощью грунтоносов.

2. Наблюдения за водоносностью пород ведут по косвенным признакам (литологическому составу, чистому обмытому водой инструменту и т.д.). Положение уровня воды в скважине рекомендуется измерять не менее 4 раза в смену.

3. Замер температуры воды, отбор проб воды на анализы производится после желонирования и восстановления уровня воды в скважине.

4. В закарстованных и сильно трещиноватых породах ведут наблюдения за провалами бурового инструмента.

При бурении скважин одной из главных форм документации, которую ведет техник гидрогеолог, служит геологический журнал, составленный по определенной форме.

В зависимости от видов работ, проводимых по скважине, в процессе бурения составляются акты: на заложение скважины; контрольных замеров глубины; опробование водоносных горизонтов; на обсадку скважины обсадными трубами; на тампонаж колонн обсадных труб; на сокращение и ликвидацию керна; осмотра и посадки фильтра; на проведение геофизических работ; на проведение откачки; на желонирование; ликвидации или сдачи-приема скважины. Оконча-

тельная документация представляется в виде паспорта скважины и отчета.

**Пример.** Необходимо составить проект разведочно-эксплуатационный скважины для водоснабжения поселка. К эксплуатации намечен водоносный пласт среднезернистых песков четвертичного возраста, содержащий напорные воды. Мощность водоносного пласта 60 м, глубина залегания 60 м, высота напора над кровлей пласта 30 м. Эксплуатация скважины намечается с дебитом 800 м<sup>3</sup>/сут. при понижении уровня 7 м в течение 27 лет (10 000 сут.) с помощью погружного центробежного насоса.

Учитывая назначение скважины, ее глубину, изученность разреза, предусматриваем роторное бурение станком УРБ–ЗАМ. Выбираем тип фильтра (см. стр. 149). Для среднезернистых пород рекомендуется трубчатый фильтр с водоприемной поверхностью из сетки галунного плетения. Для удобства чистки скважины, ее ремонта предусмотрен диаметр каркаса фильтра 127 мм. Длину рабочей части фильтра определяем по формуле:

$$L = \frac{Qa}{d} = \frac{33.6 * 60}{127} = 16 \text{ м}, \quad (142)$$

где  $Q$  – проектный дебит скважины, м<sup>3</sup>/ч;

$a$  – коэффициент, определенный по табл. 15;

$d$  – диаметр каркаса фильтра, мм.

Эксплуатация скважин в подобных условиях показало, что стечением времени происходит уменьшение водопропускной способности сети, поэтому необходимо увеличить длину рабочей части фильтра до 30 м. Длина отстойника должна быть не менее 10 м. Параметры рабочей части фильтра выбираем по специальной таблице: диаметр отверстий  $d_0 = 16$  мм; расстояние между центрами отверстий в горизонтальном ряду  $a = 25$  мм; по вертикали  $b = 22$  мм; количество отверстий в горизонтальном ряду  $n = 14$ . Количество отверстий  $N$  на 1 м трубы 635; Скважность  $k = 34.9\%$ .

Для создания экономичной и более простой конструкцией скважины предусмотрена установка фильтра на обсадных трубах 168 мм с переходником 127 мм. Для эксплуатации проектируется насос ЭЦНВ-6-45-180 [47] производительностью 45 м<sup>3</sup>/ч, высотой напора 180 м. Он устанавливается в обсадные трубы диаметром 6" (168 м), глубина установки насосам 40 м.

От 0 до 60 м скважину бурят шарошечным долотом АСТ – 243 с, от 60 до 120 м – колонковым долотом В – 190 ст с отбором керна (20%). После бурения устанавливают колонну обсадных труб диаметром 168 мм с фильтром. Цементирование затрубного пространства 0-60 м осуществляют через специальные окна (выше фильтра) с применением манжета агрегатом ЦА–320.

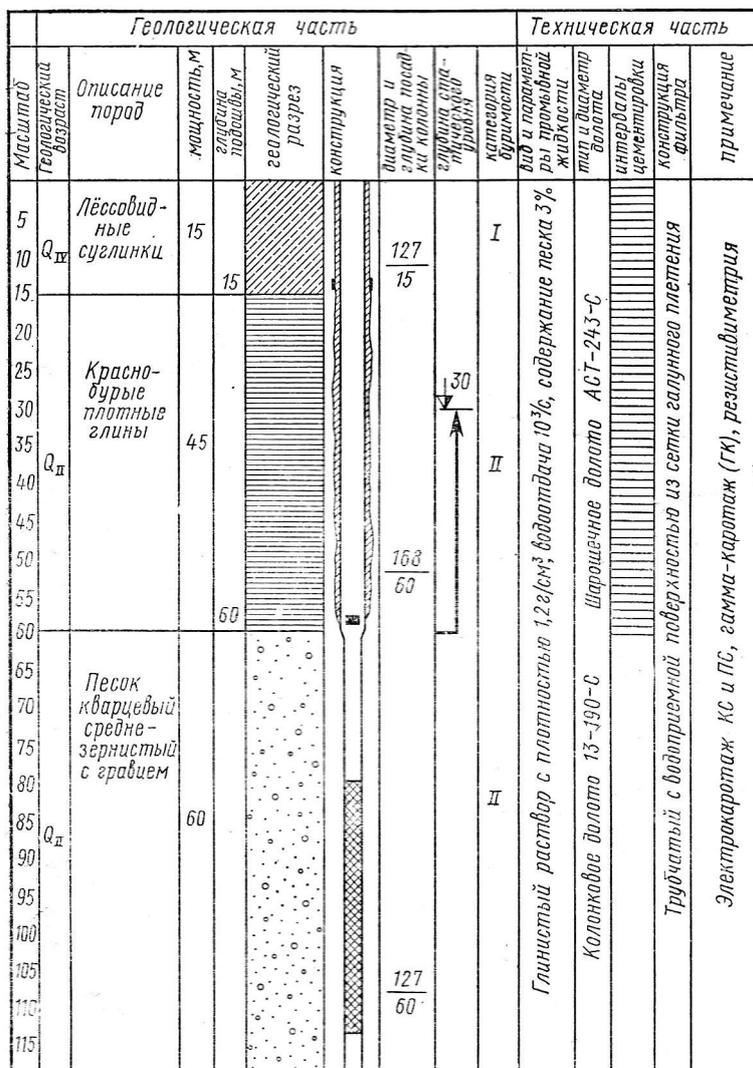


Рис. 62. Проектный геолого-технический разрез разведочно-эксплуатационной скважины

В интервале 0–15 м предусмотрен кондуктор диаметром 273 м с затрубной цементацией. После затвердевания цемента ОЗЦ и разбуривания пробок проводят испытание скважины на герметичность. Перед обсадкой скважины ствол ее промывают облегченным глинистым раствором и проводят комплекс геофизических исследований: электрокаротаж КС и ПС, гамма-каротаж ГК и резистивиметрии для

уточнения разреза, степени водообильности и мест притока воды в скважину. После установки фильтровой колонны и цементации скважины проектируется работа по восстановлению водоотдачи водоносного горизонта промывкой скважины чистой водой и тартанием желонкой.

В процессе бурения ведутся наблюдения за появлением и установлением уровня воды, за проходимыми породами по шламу, за параметрами глинистого раствора и его объемом. Данные проекта разведочно-эксплуатационной скважины представляются в геолого-техническом наряде скважины (рис. 62).

## **Глава 19. Опытно-фильтрационные работы**

Одним из основных видов работ при гидрогеологических исследованиях для различных целей являются полевые опытнo-фильтрационные работы: откачки, наливыв, нагнетания в скважины, наливыв в шурфы, экспресс-наливыв, экспресс-откачки и опережающее опробование водоносных горизонтов с помощью пластоистытателей. Эти методы позволяют определять гидрогеологические параметры водоносных пластов и решать разнообразные гидрогеологические задачи. Выбор метода зависит от особенностей изучаемой породы, целей и стадий исследований. Основной и наиболее распространенный вид опытнo-фильтрационных работ – откачки. При глубоком залегании подземных вод или при их слабой водообильности применяются наливыв в скважины; при изучении фильтрационных свойств пород зоны аэрации – наливыв в шурфы. Экспресс-методы применяются для ориентировочной оценки фильтрационных свойств пород при массовых определениях на поисковой и предварительной стадиях исследований.

### **19.1 Виды откачек, их проектирование**

Откачки подразделяются на пробные, опытные одиночные и кустовые, групповые и опытнo-эксплуатационные.

Пробные откачки проводятся при поисках и предварительной разведке подземных вод для предварительной оценки водообильности, качества вод и фильтрационных свойств пород на различных участках. Эти откачки кратковременные и проводятся при одной ступени понижения.

Опытные откачки – основной вид работ при предварительной и детальной разведках подземных вод и проводятся для определения

дебита  $Q$ , удельного дебита  $q$ , вида кривой дебита  $Q = f(s)$ , коэффициента фильтрации  $k$  или водопроницаемости  $km$ , коэффициента уроне- или пьезопроводимости  $\alpha$  или  $a$ , радиуса влияния  $R$  или приведенного радиуса влияния  $R_{пр}$ . При наличии наблюдательных скважин определяются размеры и темпы роста депрессионной воронки, связь между горизонтами или с рекой, водоотдачи, показатель несовершенства скважин, параметры перетекания. Продолжительность опытных откачек 5-15 сут, количество ступеней понижения уровня от одной до четырех.

Опытные групповые откачки – разновидность кустовых откачек. Они проводятся одновременно из нескольких опытных скважин для изучения взаимодействия их и определения гидрогеологических параметров на тех участках, где откачка из одной скважины не может вызвать необходимого понижения уровня воды в ней.

Опытно-эксплуатационные откачки проводятся из одной или нескольких разведочно-эксплуатационных скважин на детальной станции исследований в сложных гидрологических и гидрохимических условиях для установления закономерностей изменения уровня подземных вод или их качества при заданном дебите в течение длительного времени (один – три месяца).

При проектировании откачек необходимо правильно обосновать их вид, продолжительность, методику, оборудование, документацию и обработку данных откачек. Вид откачки выбирают с учетом стадии исследований, их целей, особенностей водоносного горизонта, глубины его залегания, наличия водоемов, связи с другими горизонтами и т.д. Проектирование опытной кустовой откачки начинают с выбора *схемы куста* – количества скважин и их взаимного расположения. В центре куста располагается опытная (возмущающая) скважина, а в виде лучей к ней – наблюдательные. Количество опытных скважин определяется необходимой величиной понижения уровня в удаленных наблюдательных скважинах, т.е. при создании мощного возмущения в пласте возмущающих скважин может быть две-три и располагаться они должны в вершине лучей наблюдательных скважин на расстоянии  $\lambda$ . Минимальное число лучей в кусте – один, максимальное – четыре, а количество наблюдательных скважин не менее трех. Минимальное количество скважин выбирают при глубоком залегании водоносных горизонтов (более 100 м). Чтобы обеспечить более равномерное расположение точек на площадных графиках, положение наблюдательных скважин

относительно опытных на разных лучах должно различаться. Поэтому по одному лучу располагают скважины с четной нумерацией, по другому – с нечетной. Расстояния от опытной (возмущающей) до соответствующей наблюдательной скважины  $r_n$  можно определять по полуэмпирической формуле Б.Г. Самсонова:

$$r_n = r_1 \cdot a^{n-1}, \quad (143)$$

где  $r_1$  – расстояние до ближайшей наблюдательной скважины;  $n$  – номер наблюдательной скважины;  $a$  – коэффициент подобранный путем численного анализа и равный для безнапорных горизонтов 1,5, для напорных – 2,5.

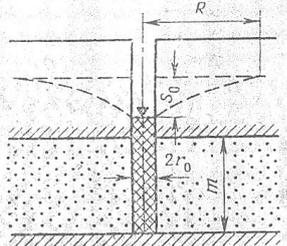
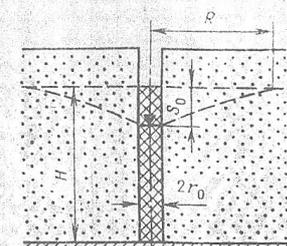
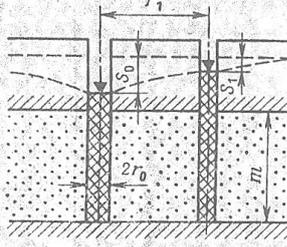
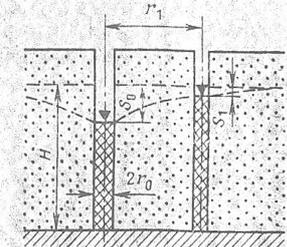
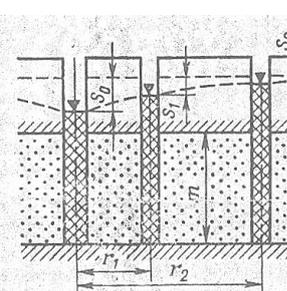
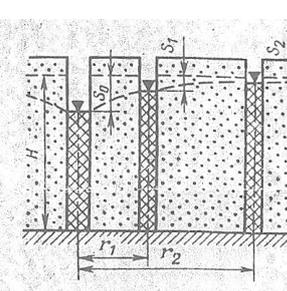
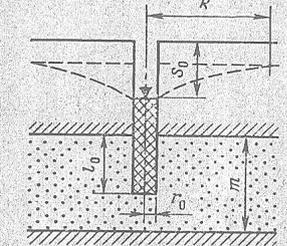
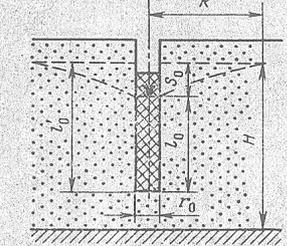
Чтобы исключить влияние несовершенства скважин и искажение величины понижения, ближайшую скважину следует располагать на расстоянии  $r_1$ , примерно равном мощности опробуемого горизонта –  $r_1 = (0,7 \div 1) \cdot m$ , а при маломощных пластах  $r_1 = (1,5 \div 2) \cdot m$  ( $m$  – мощность пласта). Максимальное расстояние от возмущающей скважины до самой дальней наблюдательной скважины до 150 м для безнапорных и до 1500 м для напорных горизонтов.

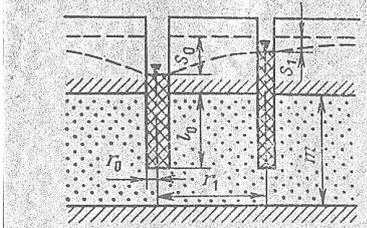
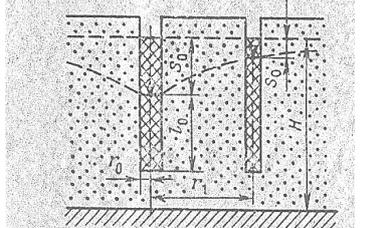
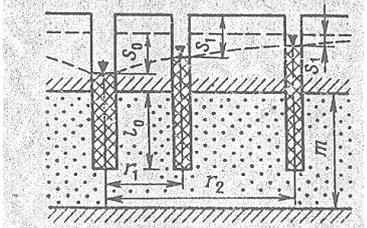
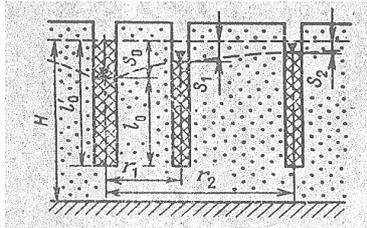
Расход при откачке определяется необходимостью понижения уровня в скважине не менее чем на 3 м в безнапорных, не менее чем на 5 м в напорных водах и не менее чем на 20–30 см в наиболее наблюдательных скважинах.

Расчетные схемы и формулы для вычисления коэффициента фильтрации по данным опытных откачек из скважин, расположенных и однородных неограниченных в плане пласта.

$k$  – коэффициент фильтрации;  $Q$  – дебит скважины;  $R$  – радиус депрессионной воронки (табл.22);  $r_0$  – радиус водоприемной части опытной скважины;  $m$  – мощность пласта напорных вод;  $S_0, S_1, S_2$  – понижение уровня соответственно в центральной, первой и второй наблюдательных скважинах;  $H$  – мощность пласта безнапорных вод;  $r_1$  и  $r_2$  – расстояния от первой и второй наблюдательных скважин до контрольной;  $\xi_0, \xi_1, \xi_2$  – значения сопротивлений, учитывающие несовершенство центральной, первой и второй наблюдательных скважин.

Таблица 22

Виды откачек	Напорные воды	Безнапорные воды
<i>Откачки из совершенных скважин</i>		
Одиночные	 $k = \frac{0,366Q \lg(R/r_0)}{mS_0}$	 $k = \frac{0,73Q \lg(R/r_0)}{(2H - S_0)S_0}$
Кустовые: для центральной и наблюдательной скважин	 $k = \frac{0,366Q \lg(r_1/r_0)}{m(S_0 - S_1)}$	 $k = \frac{0,73Q \lg(r_1/r_0)}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)}$
для двух наблюдательных скважин	 $k = \frac{0,366Q \lg(r_2/r_1)}{(S_1 - S_2)m}$	 $k = \frac{0,73Q \lg(r_2/r_1)}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}$
<i>Откачки из несовершенных скважин</i>		
Одиночные	 $k = \frac{0,366Q[\lg(R/r_0) + 0,217\xi_0]}{mS_0}$	 $k = \frac{0,73Q[\lg(R/r_0) + 0,217\xi_0]}{(2H - S_0)S_0}$

<p>Кустовые: для центральной и наблюдательной скважин</p>	 $k = \frac{0,366Q[\lg(r_1/r_0) + 0,217(\xi_0 - \xi_1)]}{m(S_0 - S_1)}$	 $k = \frac{0,73Q[\lg(r_1/r_0) + 0,217(\xi_0 - \xi_1)]}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)}$
<p>для двух наблюда- тельных скважин</p>	 $k = \frac{0,366Q[\lg(r_2/r_1) + 0,217(\xi_1 - \xi_2)]}{m(S_1 - S_2)}$	 $k = \frac{0,73Q[\lg(r_2/r_1) + 0,217(\xi_1 - \xi_2)]}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}$

Продолжительность одиночных откачек определяется их назначением и гидрогеологическими условиями, назначением, а также необходимостью достижения квазистационарного режима в наблюдательных скважинах в течение времени, достаточного для построения площадных и комбинированных графиков прослеживания уровня. Время установления квазистационарного режима в самой дальней наблюдательной скважине может быть определено из отношения

$$t_k < \frac{r^2}{0,4\chi}, \quad (144)$$

где  $r$  – расстояние до самой удаленной наблюдательной скважины, м;

$\chi$  – коэффициент пьезо-или уровнепроводности, м<sup>2</sup>/сут.

Общая продолжительность откачки  $t$  определяется по формуле

$$t = t_k + t_n, \quad (145)$$

где  $t_n$  – представительное время, равное  $5t_k$ .

Для обоснования и проверки рассчитанных расстояний до наблюдательных скважин (от возмущающей), продолжительности откачки производится расчет величины понижения уровня в конце как в опытной, так и в наиболее удаленной скважине по уравнениям (124) и (125).

В.В.Перцовский [38] рекомендует определенную последовательность проектирования опытных откачек. Сначала в соответствии со стадией, целью исследований и классом сооружения задаются уровнем вероятности и точностью определения водопроницаемости. Если исходить из обычно принятой на практике вероятности  $p = 0,95$ , то можно рекомендовать следующую точность определения водопроницаемости: на предварительной стадии (технический проект) 30%, на детальной стадии (рабочие чертежи) 20, по анализу эксплуатации 10%. Исходя из величины  $p$ , по табл. 23.

Таблица 23

Коэффициент линейной корреляции, $p$	Необходимое число измерений уровня при относительной ошибке, %				
	10	20	30	40	50
0,95	43	15	8	6	6
0,96	37	13	8	6	6
0,97	29	11	7	6	5
0,98	20	9	6	5	4
0,99	12	6	5	4	4

В.В.Перцовского [38] определяют минимально необходимое число точек измерений уровня воды. С учетом предельной погрешности прибора, с помощью которого измеряются уровни воды в скважине, вычисляют расчетное понижение  $S_p$ , обеспечивающее минимально необходимую величину представительного участка на графике временного прослеживания:

$$S_p \geq e_s \cdot n \quad (146)$$

Если глубина залегания уровня подземных вод несколько десятков метров,  $e_s$  можно принять равным 3-5см. При построении графика  $S = f(\lg t)$  должно соблюдаться требование равномерного распределения точек, поэтому к  $S_p$  прибавляют  $S_k$ , определенное из формул.

Проектный режим откачки можно выяснить на основании зависимости для стационарного периода фильтрации:

$$S_k + S_p = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25x(t_n + t_k)}{r^2}, \quad (147)$$

где  $Q$  –дебит откачки, м<sup>3</sup>/сут;

$x$  –пьезопроводность, м<sup>2</sup>/сут.

Для грунтовых вод используется формула

$$S_k + S_p = H - \sqrt{H^2 - \frac{0,366Q}{k} \lg \frac{2,25x(t_n + t_k)}{r^2}} \quad (148)$$

Зависимости позволяют обосновать минимальную необходимую продолжительность опытной откачки при заданном дебите. Ориентировочно продолжительность опытных кустовых откачек может быть взята в зависимости от состава пород и типа водоносного горизонта из работ. В зернистых с напорными водами продолжительность откачки 6–11 сут., в зернистых породах с безнапорными водами – 15, при определении взаимодействия подземных вод с рекой – 10–15 сут.

**Пример.** Необходимо обосновать схему и рассчитать режим опытной кустовой откачки в напорном неограниченном пласте на детальной стадии исследований. Водоносный пласт мощностью 50 м залегает на глубине 100 м, отличается неоднородностью состава пород в разрезе и плане. Ориентировочные значения параметров:  $km = 500 \text{ м}^2/\text{сут}$ ,  $x = 10^6 \text{ м}^2/\text{сут}$ ; проектный дебит откачки  $2000 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Погрешность уровнемера  $\varepsilon_s = 3 \text{ см}$ ; коэффициент корреляции  $p = 0,95$ .

Так как пласт неоднородный, проектируем двухлучевую схему опытного куста по три наблюдательных скважины на каждом. Ближайшую наблюдательную скважину расположим на расстоянии  $r_1 = 0,7 \text{ м}$ , т.е.  $r_1 = 0,7 \cdot 50 = 35 \text{ м}$ . Расстояния до остальных наблюдательных скважин рассчитаем по формуле:

$$\begin{aligned} r_2 &= 35 \cdot 2,5 = 87,5 \text{ м}; & r_3 &= 35 \cdot 2,5^2 = 219 \text{ м}; \\ r_4 &= 35 \cdot 2,5^3 = 547 \text{ м}; & r_5 &= 35 \cdot 2,5^4 = 1360 \text{ м}. \end{aligned}$$

Максимальное расстояние, по Б.В.Боревскому, до дальней наблюдательной скважины не должно превышать 1500 м, поэтому расчет (рис.55) прекращаем на скважине 5. Определяем контрольное время  $t_k$  для скважины 5 по формуле:

$$t_k = \frac{1360^2}{0,4 \cdot 10^6} = 4,6 \text{ сут}$$

и соответствующее ему значение  $S_k$  по формуле(126):

$$S_k = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25\chi t}{r^2} = \frac{0,183 \cdot 2000}{500} \lg \frac{2,25 \cdot 10^6 \cdot 4,6}{1360^2} = 0,54 \text{ м}$$

Зная что  $p = 0,95$ ,  $\varepsilon_s = 20\%$ , по табл. 22 находим минимальное число точек  $n = 15$ . Отсюда  $S_p \geq 3 \cdot 15 = 45 \text{ см}$ . Записав полученные результаты согласно формуле (144), определим полную длительность откачки  $t_k + t_n$ :

$$S_k + S_p = \frac{0,183 \cdot 2000}{500} \lg \frac{2,25 \cdot 10^6 [t_k + t_n]}{1360^2}$$

Следовательно,  $t_k + t_n = 19$  сут, причем наиболее информативная часть кривой прослеживания уровня наблюдается спустя  $t_k = 4,6$  сут.

Из скважин проводят определения коэффициента фильтрации и других показателей водопроницаемости пород, а при изысканиях для водоснабжения – для установления количества воды (дебита), которое может дать скважина в единицу времени.

Для того чтобы опытная откачка наиболее достоверно характеризовала водопроницаемость того или иного пласта породы, необходимо правильно выбрать место расположения опытной скважины, ее глубину, способ оборудования фильтром, тип, продолжительность и режим откачки.

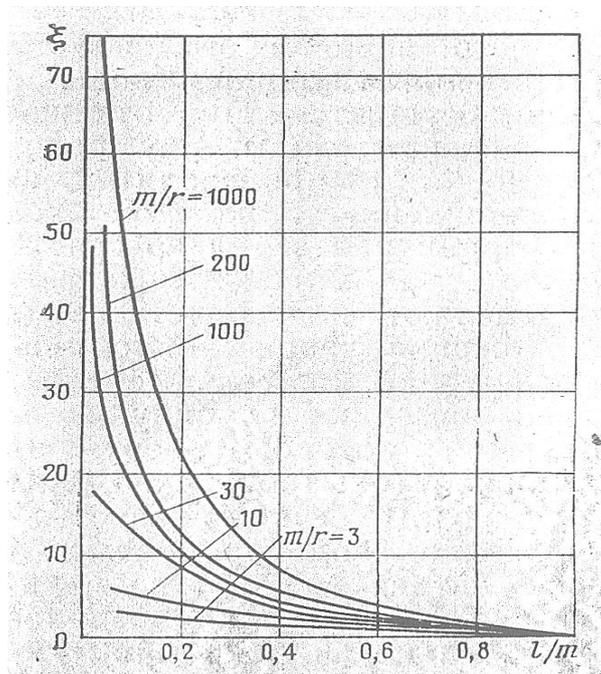


Рис.63. График функции  $\xi$  для расчета несовершенных скважин:

$m$  – мощность водоносного пласта;  $l$  – длина водоприемной части скважины;  $r$  – радиус центральной скважины или расстояние до наблюдательных скважин.

При этом следует исходить из расчетной схемы, по которой будут проводить обработку результатов откачки. В этих схемах учитывают мощность и характер внешних границ водоносного пласта, степень неоднородности пород, гидравлические условия (напорные или безнапорные воды), степень вскрытия пласта скважиной, расположение в ней фильтра, режим (установившийся, неуставившийся) и тип (одиночная, кустовая) откачки, сопротивление фильтра. Некоторые наиболее распространенные типовые расчетные схемы опытной откачки и соответствующие им формулы приведены в табл.22.

Во время откачки вокруг скважины формируется понижение поверхности (зеркала) подземных вод – депрессионная воронка. В вертикальном разрезе она ограничивается депрессионной кривой. Расстояние от центра скважины до края воронки называют радиусом депрессии (рис.64).

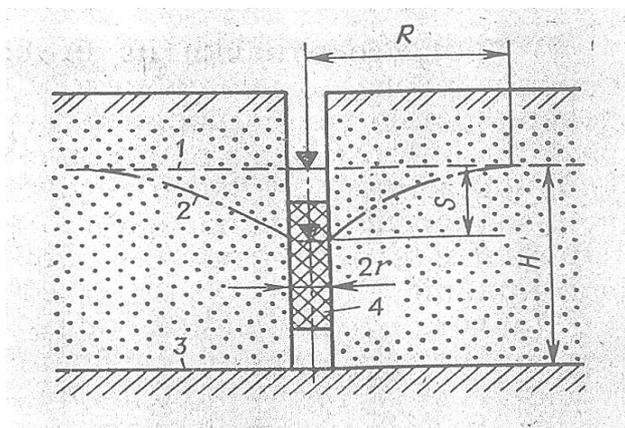


Рис.64. Разрез депрессионной воронки: 1 – уровень подземных вод; 2 – депрессионная кривая; 3 – водоупорное ложе; 4 – фильтр скважины.  $H$  – мощность водоносного горизонта;  $S$  – понижение уровня подземных вод в опытной скважине при откачке;  $R$  – радиус депрессии;  $r$  – радиус скважины.

При опытных откачках измеряют расход откачиваемой воды и понижение ее уровня, определяют форму или радиус депрессионной воронки. На основании этих данных по той же или иной формуле, выбор которой зависит от принятой расчетной схемы, вычисляют коэффициент фильтрации водоносного пласта и другие показатели, характеризующие его водопроницаемость.

В процессе откачки из безнапорного водоносного пласта порода, расположенная между естественным уровнем воды и поверхностью депрессионной воронки, осушается. При откачке из напорного водоносного пласта, перекрытого сверху водоупорной кровлей, такого осушения может не происходить, но произойдет понижение напора. Это понижение также имеет вид воронки и в вертикальном разрезе ограничивается депрессионной кривой.

Расход откачиваемой воды определяют непосредственным измерением, а для определения положения депрессионной воронки вокруг опытной скважины бурят наблюдательные скважины, в которых в процессе откачки измеряют глубину уровня подземных вод. Такую откачку, для которой оборудуют куст скважин, состоящий из центральной (опытной) скважины и наблюдательных, называют кусто-

вой. С ее помощью можно получить наиболее точные данные о водопроницаемости пласта, однако она требует больших затрат труда и времени. Поэтому кустовые откачки проводят только на наиболее характерных и ответственных участках. Более широко применяют откачки из одиночных скважин, около которых не проходят наблюдательные скважины. В этом случае приближенное значение радиуса депрессионной воронки или радиуса влияния скважины получают с помощью метода аналогии. Приближенные значения радиуса депрессионной воронки, которые могут быть приняты при продолжительности откачки не менее 1 сут, приведены в табл. 24.

Таблица 24

Породы	Радиус депрессии $R$ в напорных пластах, м	Радиус депрессии $R$ в безнапорных пластах, м
Супеси и тонкозернистые	150	20
пески:	500	50
мелкозернистые	1000	80
среднезернистые	-	100
крупнозернистые гравелистые		

Главные преимущества кустовой откачки по сравнению с одиночной состоят в следующем:

1) при обработке результатов кустовых откачек исключается необходимость использования значения радиуса депрессии, которое может быть определено лишь условно;

2) наличие наблюдательных скважин, дает возможность более точно определить момент, когда движение подземных вод становится практически установившимся;

3) расчет коэффициента фильтрации и других параметров по наблюдательным скважинам, а не по центральной позволяет не учитывать сопротивление фильтра;

4) при откачке из сильно трещиноватых пород вблизи центральной скважины может возникнуть турбулентное движение воды, а на некотором удалении от нее, где расположены наблюдательные скважины, обычно сохраняется ламинарный режим, при котором может быть более точно определен коэффициент фильтрации;

5) наличие нескольких лучей наблюдательных скважин позволяет дать оценку фильтрационной неоднородности пласта в горизонтальном направлении;

б) при кустовой откачке кроме коэффициента фильтрации можно определить коэффициенты пьезопроводности (уровне– проводности) и скорости фильтрации, а при запуске индикаторов–действительные скорости фильтрации и водоотдачу пород.

При проведении одиночной откачки фиксируют только понижение уровня в опытной скважине. Для того чтобы проконтролировать это понижение в процессе откачки из песчаных пород, рядом с фильтром устанавливают прифилтровой пьезометр, диаметр которого должен быть в 4-5 раз меньше диаметра фильтра опытной скважины. Если по техническим причинам нельзя замерить уровень воды в этой скважине, то его измеряют в прифилтровом пьезометре. При откачке из напорного водоносного горизонта этот уровень можно принимать за расчетный. При откачке из безнапорного горизонта для определения расчетного понижения необходимо от замеренного в прифилтровом пьезометре уровня отнять мощность участка выкачивания, которую определяют по табл. м. Если опытная скважина, пройденная в рыхлых породах, оборудована прифилтровым пьезометром, то для расчетов принимают радиус фильтра скважины, а не расстояние между осями фильтра и прифилтрового пьезометра.

В процессе откачки постепенно образуется депрессионная воронка, в пределах которой вблизи опытной скважины последовательно сменяются стадии неустановившегося, квазиустановившегося и установившегося режима фильтрации.

При установившемся режиме фильтрации заданному постоянному значению расхода (или понижения) отвечает стабилизировавшееся понижение (или расход). Установившийся режим в обычных условиях может быть достигнут спустя длительное время после начала откачки. Только в случае расположения скважины вблизи реки при сильной водопроницаемости водоносных пород он может быть достигнут в относительно короткое время. Поэтому откачки проводят главным образом при квазиустановившемся режиме фильтрации, при котором распределение напоров и других гидродинамических характеристик в потоке близко к распределению при установившемся режиме, а депрессионные кривые уровня воды в процессе откачки перемещаются во времени параллельно самим себе, т. е. форма депрессионной воронки не меняется.

Поскольку в начале каждой откачки наблюдается стадия неустановившегося режима, целесообразно использовать данные этой ста-

дии для вычисления коэффициента фильтрации, а в случае необходимости – коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности).

Откачки в условиях неустановившегося режима можно проводить по следующим схемам:

- 1) при постоянном дебите и изменяющемся во времени динамическом уровне;
- 2) при постоянном динамическом уровне и изменяющемся во времени расходе.

Первая схема наиболее целесообразна при ведении откачки глубинным насосом, вторая – при откачке штанговым насосом «на хруп», а также при опробовании самоизливающихся скважин.

Продолжительность откачки зависит от поставленных задач и гидрогеологических условий. Пробные откачки продолжаются обычно от 6 до 24 ч. Опытные одиночные откачки с одним понижением, как правило, проводятся в течение 3-6 смен, при нескольких понижениях длительность опыта на каждой ступени обычно составляет 2-3 смены. Позонные опытные откачки проводят в течение 1-3 смен.

Продолжительность кустовых откачек определяется необходимостью получения для всех наблюдательных скважинах опытного куста представительных зависимостей изменения понижения уровня воды от времени при квазиустановившемся режиме фильтрации.

Ориентировочная продолжительность кустовых откачек может составлять при проведении их на прибрежных участках – 5–6 сут, вдали от водоема в рыхлых песчаных породах в напорных условиях – 6–11 сут и в безнапорных – 8–15 сут; при откачке из трещиноватых скальных пород, а также при определении параметров взаимосвязи поверхностных и подземных вод – 10–15 сут; при опробовании двух-трехслойной среды – 12–20 сут.

**Проект проведения опытной откачки.** Перед началом опытной откачки составляют ее проект, на основании которого выдают технические задания на бурение опытных скважин, оборудование их фильтрами и насосными установками и на проведение опытной откачки.

В проекте указывают место проведения опыта и схему расположения опытной и наблюдательных скважин (для кустовых откачек); диаметр и глубину скважин; глубину установки фильтров в скважинах; диаметр, длину, тип и конструкцию фильтров; число и размеры понижений; ожидаемый расход воды при каждом понижении; тип, марку и схему установки насоса; способы измерения уровня воды в

скважинах и их дебита; схему отвода откачиваемой воды. В основе этого проекта должна лежать принятая расчетная схема опытной откачки, которую в зависимости от конкретных условий, встреченных при подготовке опыта, можно несколько видоизменять и уточнять. Все уточнения проекта откачки отражают в техническом задании.

Для того чтобы разместить опытные скважины на наиболее характерных участках, правильно выбрать длину и положение фильтра опытной скважины и наиболее рационально разместить лучи наблюдательных скважин опытного куста, необходимо до бурения опытных скважин изучить весь имеющийся материал разведочных и опытно-фильтрационных работ по объекту.

*При определении места расположения опытной скважины;* следует прежде всего убедиться в том, что гидрогеологические условия в выбранной точке характерны для изучаемого водоносного пласта. Следует избегать таких участков, где мощность и водопроницаемость водоносного пласта резко изменяются, так как в этом случае снижается точность расчетов. Если имеющихся материалов для такого выбора недостаточно, то проходят специальные разведочные скважины; по которым устанавливают геологический разрез и гидрогеологические условия, а также проводят пробные откачки.

При выборе места для проведения откачки необходимо учитывать удаленность его от ближайшего водоема, так как от этого зависит выбор расчетной схемы. Если откачку проводят вне зоны влияния водоема, то водоносный пласт рассматривается как неограниченный в плане, а если откачку ведут из скважины, расположенной вблизи водоема и депрессионная воронка достигает его берега, то водоносный пласт считается полуограниченным в плане. Откачки из неограниченных пластов дают более надежные результаты.

При выборе расчетной схемы необходимо также учитывать – положение водоносного пласта в вертикальном разрезе. Схемы с ограниченной мощностью пласта принимают в том случае, когда в подошве и кровле пласта залегают менее водопроницаемые породы и мощность его меньше десятикратной длины водоприемной части скважины (фильтра). Схему неограниченной мощности пласта используют, если мощность пласта больше десятикратной длины водоприемной части скважины.

Если откачку проводят недалеко от реки, то одновременно ведут наблюдения за ее уровнем. При значительных колебаниях уровня воды в реке кустовую откачку вблизи нее проводить не рекомендуется,

так как они могут повлиять на положение уровня воды в наблюдательных скважинах и исказить данные откачки. Во всех случаях, когда установлена гидравлическая связь исследуемого водоносного горизонта с водоемом, на последнем устраивают водомерный пост, на котором ведут наблюдения в течение подготовительного периода и во время откачки. Одновременно наблюдают за уровнем подземных вод в скважине, расположенной вне зоны влияния опытной откачки но на таком же расстоянии от водоема, как и опытная скважина.

При изысканиях для гидротехнического строительства очень часто для характеристики водопроницаемости пород, залегающих в русле, проводят откачки из русловых скважин. В этом случае принимают специальные меры по изоляции скважины от речных вод и для вычисления коэффициента фильтрации используют особые расчетные схемы.

При выборе места откачки необходимо также по возможности учитывать производственные условия проведения опыта. Желательно проводить откачку там, где изучаемый водоносный горизонт находится на наименьшей глубине от поверхности, так как это упрощает проведение опыта.

Число и направление лучей наблюдательных скважин при кустовой откачке зависят от однородности строения водоносного пласта, близости водоема, предполагаемого направления фильтрационного потока, который образуется после создания подпора, а также от задач, решаемых с помощью этой откачки.

Если водоносный пласт является однородным в горизонтальном направлении и откачку проводят вне зоны влияния водоема, то оборудуют один луч наблюдательных скважин, положение которого зависит только от направления предполагаемого, фильтрационного потока. Если строение пласта в плане неоднородно, то устраивают два-три луча наблюдательных скважин, которые должны совпадать с направлениями, характеризующимися различной водопроницаемостью. Например, в скальных породах лучи располагают по направлению наибольшей их трещиноватости и перпендикулярно к нему. При неоднородном строении пласта по вертикали закладывают два-три луча, на которых наблюдательные скважины располагают на разных уровнях. При откачке вблизи водоема лучи с наблюдательными скважинами размещают вдоль его берега и перпендикулярно к нему.

Число наблюдательных скважин на каждом луче зависит от гидрогеологических условий водоносного горизонта и расчетной схемы

откачки. В однородных породах можно ограничиться двумя наблюдательными скважинами на каждом луче, а в неоднородных число их обычно увеличивается до трех, но может достигать пяти. Меньше двух скважин располагать на луче – нецелесообразно, так как наиболее точно коэффициент фильтрации может быть определен по данным понижения уровня воды в смежных наблюдательных скважинах. Если в пределах депрессионной воронки имеются какие-либо разведочные скважины или колодцы, то они также должны быть использованы для определения коэффициента фильтрации.

Расстояния от наблюдательных скважин до центральной зависят от водопроницаемости пород: первую наблюдательную скважину в слабопроницаемых породах (мелкозернистые пески и др.) можно располагать на расстоянии 3–5 м, а в породах очень сильно проницаемых (промытые галечники, сильно трещиноватая скала) – на расстоянии 10–15 м. Расстояние от центральной до каждой последующей наблюдательной скважины увеличивается в 2–3 раза. При определении расстояния между наблюдательными скважинами следует исходить из того, что понижение уровня воды в самой дальней скважине и разность между понижениями уровня в двух смежных скважинах должны быть не менее 0,3 м. Исключение составляют очень сильно водопроницаемые породы, в которых не удастся создать большое понижение уровня воды при откачке, поэтому разность понижений уровня здесь может составлять 0,1–0,15 м.

*Расчетная схема определения коэффициента фильтрации* зависит от соотношения длины водоприемной части скважины: (фильтра) и мощности водоносного пласта. Если длина фильтра равна мощности водоносного пласта, то считают, что откачку – проводят из совершенной скважины (рис.65,а). Такие откачки обычно проводят в однородных по водопроницаемости пластах мощностью до 10 м. Полученные при этом данные характеризуют среднюю водопроницаемость всего пласта.

Если длина фильтра меньше мощности водоносного пласта, то считают, что откачку проводят из несовершенной скважины, при этом фильтр может находиться в верхней, средней или нижней части водоносного пласта. В безнапорных водоносных горизонтах по расположению фильтра относительно уровня подземных вод различают скважины с затопленным фильтром, когда уровень воды при откачке расположен выше фильтра, и с незатопленным фильтром. В напорных водоносных горизонтах фильтр всегда является затопленным.

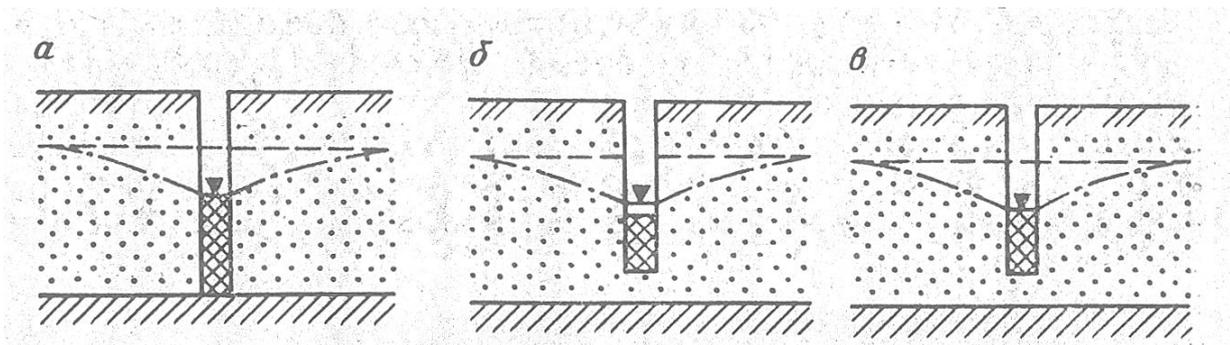


Рис.65. Схема расположения фильтра в безнапорном водоносном горизонте:  
*a* – совершенная скважина с затопленным фильтром; *б* – несовершенная скважина с затопленным фильтром; *в* – несовершенная скважина с незатопленным фильтром (верхняя часть фильтра находится над уровнем грунтовых вод).

Откачку из несовершенных скважин применяют в тех случаях, когда нельзя провести откачку из совершенной скважины – при значительной мощности водоносного пласта, когда трудно установить фильтр на всю его мощность; при неоднородном строении пласта, когда его надо опробовать по зонам; при определении водопроницаемости пород, залегающих в русле реки, когда фильтр должен быть удален от ее дна на определенное расстояние. Длина фильтров несовершенных скважин должна составлять не менее 0,1 мощности опробуемого пласта (обычно 3–5 м).

При определении глубины скважины следует исходить из «необходимости разместить фильтры опытной и наблюдательных скважин в соответствии с принятой расчетной схемой опытной откачки.

Диаметры опытных и наблюдательных скважин зависят от конструкции фильтров, способов изоляции водоносного горизонта и других условий. Следует иметь в виду, что качественные результаты откачки могут быть получены, если диаметр водоприемной части опытной скважины в маломощных водоносных горизонтах (с удельным дебитом до 0,2 л/с) составляет не менее 80 мм, а при значительном притоке к скважине – не менее 150 мм. Для изучения очень мощных водоносных горизонтов проводят откачки из скважин-шахт диаметром 800–1200 мм.

При выборе диаметра скважины следует помнить, что между трубами фильтра и всасывающей трубой насоса должен быть зазор не менее 30 мм, который необходим для замера уровня воды в скважине во время откачки и притока в нее воздуха при откачке «на храп».

Диаметр наблюдательных скважин выбирают с таким расчетом, чтобы можно было опустить в них прибор для измерения уровня воды, а также производить чистку скважины. Обычно диаметр этих скважин принимают в пределах 50–100 мм.

## 19.2 Оборудование для опытных откачек

**Фильтры.** Для предохранения стенок скважин от обрушения и пропуска в нее воды используют фильтры. Их устанавливают при откачке из песков, галечников и других сыпучих пород, в устойчивых скальных породах откачки проводят без фильтров. Фильтр должен быть достаточно прочным, легко пропускать воду, но задерживать частицы породы. Небольшой вынос мелких частиц из породы, прилегающей к фильтру (пескование), допускается только в самом начале его работы – во время пробной откачки, когда вокруг скважины образуется промытая зона, представляющая собой естественный фильтр. Дальнейшее пескование скважины не допускается, так как оно может изменить водопроницаемость пород. В связи с этим к подбору фильтров надо подходить очень тщательно, добиваясь, чтобы условия прохождения через него воды по возможности приближались к условиям фильтрации через исследуемую породу. Водопроницаемость фильтра характеризуется его скважностью, которая представляет собой отношение суммарной площади проходных отверстий фильтра к площади его наружной поверхности. Скважность фильтров, в устанавливаемых и опытных скважинах, должна быть не менее 20%, а скважность фильтров, устанавливаемых в наблюдательных скважинах, не менее 10%.

По конструктивным особенностям различают следующие основные типы фильтров: дырчатые, сетчатые, гравийные.

Каждый фильтр независимо от его конструкции состоит из отстойника, рабочей части и надфильтровых труб (рис. 66). Отстойник представляет собой глухую трубу длиной 1–3 м с закрытым нижним отверстием. Он расположен в нижней части фильтра и служит для осаждения частиц породы.

Рабочая часть фильтра может иметь длину от 2 до 10 м. При большей длине эту часть фильтра составляют из отдельных звеньев, длина которых обычно не превышает 3 м. Если, водоносный горизонт содержит водоупорные прослои, то на соответствующих им интервалах в фильтровую колонну вставляют глухие трубы. Надфильтровые трубы помещают над рабочей частью; длина их зависит от способа,

установки фильтра, но должна быть не меньше 2 м. Верхний конец надфильтровой трубы должен иметь замок для опускания фильтра или муфту для соединения с колонной труб.

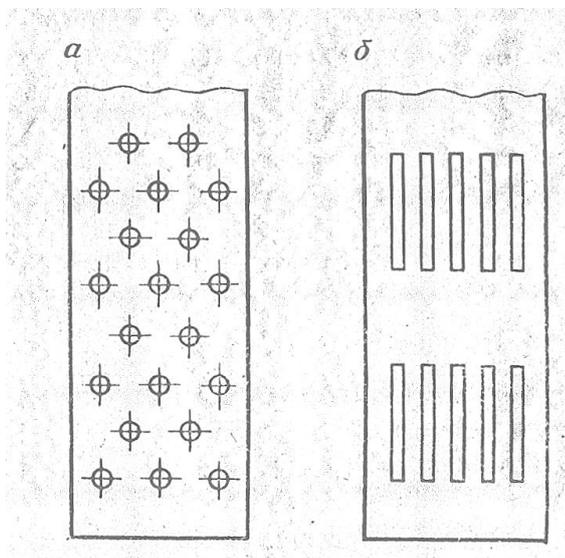


Рис.66. Дырчатые фильтры с круглыми (а) и щелевидными (б) отверстиями.

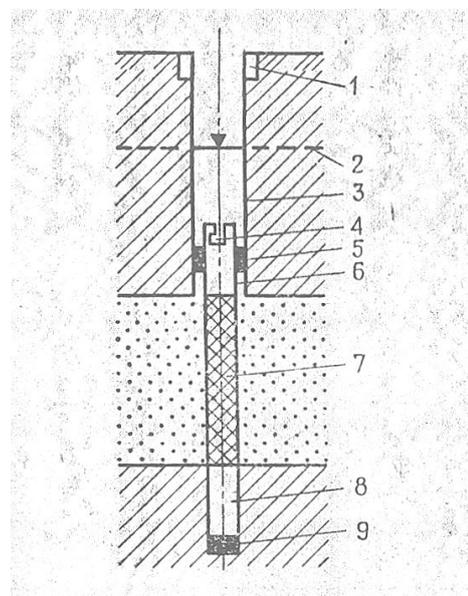


Рис.67. Схема установки фильтра в скважине: 1 – приямок; 2 – уровень подземных вод; 3 – обсадная труба; 4 – замок; 5 – сальник; 6 – надфильтровая труба; 7 – фильтр; 8 – отстойник; 9 – пробка.

Фильтры, используемые для опытных откачек, обычно изготовляют из металлических труб, но применяют и трубы из пластмассы, асбоцемента и других материалов.

Дырчатый фильтр представляет собой перфорированную трубу с отверстиями круглой или щелевидной формы. Скважность труб с круглыми отверстиями обычно не превышает 30%, а при щелевидных отверстиях она может достигать 40%. Щелевые фильтры более долговечны и могут использоваться для опытов в более мелко зернистых породах, чем фильтры с круглыми отверстиями.

Перфорация труб для фильтров – очень трудоемкая работа, поэтому всегда стремятся использовать фильтры заводского изготовления. При необходимости проводить эту работу в мастерских изыскательской экспедиции разметку металлических труб для перфорации можно вести в соответствии с данными, приведенными в табл. 24а.

Из неметаллических дырчатых фильтров в практике изысканий чаще всего используют винипластовые щелевые фильтры, которые имеют скважность до 30% и устойчивы против всех видов коррозии. Наружные размеры их соответствуют диаметрам обсадных труб колонкового бурения и изменяются от 63 до 150 мм.

Таблица 24а

Наружный диаметр трубы, мм	Скважность фильтра, %	Диаметр отверстий, мм	Расстояние между центрами отверстий в рядах, мм		Число отверстий в горизонтальном ряду
			горизонтальных	вертикальных	
89	32	12	23	15	12
114	30	12	30	18	16
158	31	20	33	30	16
219	30	20	43	35	16

Сетчатые фильтры состоят из опорного перфорированного трубчатого или стержневого каркаса; опорной проволоки, намотанной на трубу по спирали и не позволяющей сетке плотно прилегать к трубе; сетки, покрывающей фильтр. Для предохранения сетки от повреждения фильтр снаружи покрывают спиралью из медной проволоки. Сетку и проволочные спирали соединяют пайкой (рис.62).

Фильтровые сетки могут быть металлическими, пластмассовыми и из стекловолокна. При опытных откачках наиболее часто используют металлические латунные сетки, которые по способу плетения могут быть простыми (квадратными), галунными и киперными. Все эти сетки выпускают с различной частотой расположения нитей основы и утка и различают по номерам. Номер сетки показывает, сколько нитей основы приходится на 1 дюйм (25,4 мм).

При откачке из крупнозернистых песков обычно применяют простую сетку, а из мелкозернистых – галунную, так как она лучше удерживает мелкие частицы грунта.

Сетки из пластмассы и стекловолокна обычно используют для фильтров не опытных, а наблюдательных скважин, так как они менее удобны для откачки воды. Гофрированная винипластовая сетка имеет круглые отверстия диаметром 2,8 мм и скважность 55%. При использовании ее проволочная обмотка перфорированной трубы не требует-

ся, так как эта сетка прилегает к каркасу фильтра лишь ребрами. Если каркас фильтра сделан не из трубы, а из стержней, то для предохранения сетки от продавливания необходимо перед ее закреплением натянуть на каркас металлическую или пластмассовую подкладочную сетку с крупными отверстиями. Фильтры, покрываемые стеклотканью, состоят из опорного каркаса (металлического или пластмассового) и подкладочной гофрированной сетки из винипласта, на которую натягивают стеклоткань.

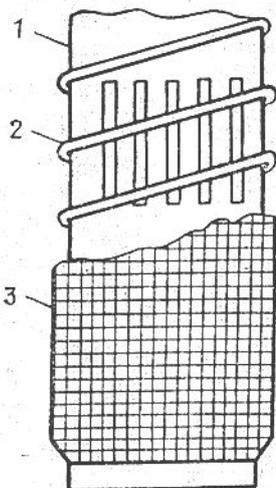


Рис. 68. Сетчатый фильтр:  
1 – перфорированная труба;  
2 – обмотка  
из проволоки; 3 – сетка

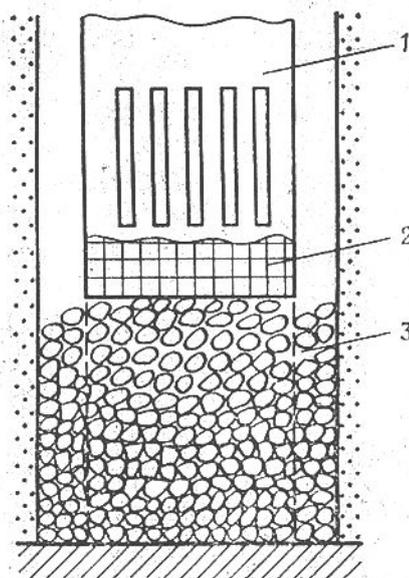


Рис. 69. Фильтр с гравийной  
обсыпкой:  
1 – перфорированная труба;  
2 – сетка; 3 – гравийная обсыпка

Гравийные фильтры представляют собой перфорированную трубу, покрытую сеткой и обсыпанную с поверхности мелким гравием или крупнозернистым песком (рис. 69). Их можно изготавливать на поверхности (в этом случае они должны иметь наружную оболочку) или в скважине путем обсыпка гравием опущенного в нее каркаса. При опытных откачках чаще всего используют второй способ устройства гравийного фильтра.

При подборе материала для обсыпки гравийных фильтров следует исходить из гранулометрического состава водоносных пород и добиваться того, чтобы в материале обсыпки было минимальное содержание частиц размером меньше среднего диаметра фракций водоносного грунта. Допустимое отношение среднего диаметра зерен обсып-

ки  $D_{50}$  к среднему диаметру зерен опробуемого откачкой грунта  $d_{50}$  может составлять:  $D_{50}/d_{50} = 8-12$ .

При подборе материала обсыпки необходимо исходить из крупности водовмещающих песков и принимать следующие средние значения диаметра зерен обсыпки (в мм) в зависимости от крупности песка:

Крупнозернистый ..	5–8	Мелкозернистый ..	1–2
Среднезернистый . .	2–5	Тонкозернистый ..	0,5–1

Наиболее сложно подобрать состав обсыпки при откачке из тонко- и мелкозернистых песков, поэтому в очень однородных тонко- и мелкозернистых песках устраивают фильтры с двухслойной обсыпкой. Средний диаметр зерен внешнего слоя обсыпки должен быть больше среднего диаметра зерен грунта в 4–5 раз, а средний диаметр внутреннего слоя – превышать средний диаметр зерен внешнего слоя в 6–8 раз. Толщина обсыпки однослойного фильтра должна составлять 40–50 мм, а толщина каждого слоя двухслойного фильтра – 30–40 мм.

Для подбора состава обсыпки фильтра строят графики (в полупологарифмическом масштабе) гранулометрического состава водоносного грунта и материала для обсыпки фильтра. Для доведения до требуемого состава материал фильтра промывают водой, просеивают и сортируют. Необходимый объем гравия следует определить заранее, и запас его должен в 1,5–2 раза превышать потребности.

Перед обсыпкой каркас фильтра опускают на забой скважины, которая должна быть обсажена трубами, имеющими диаметр на 80–100 мм больше внешнего диаметра каркаса.

Для получения одинаковой толщины обсыпки на каркасе устанавливают центрирующий фонарь. В зазор между трубами и фильтром небольшими порциями, заполняющими пространство высотой до 0,5 м, засыпают гравий и одновременно медленно поднимают трубы. Положение уровня засыпки проверяют колонной буровых штанг. Верх обсыпки должен находиться на 0,5–1 м выше башмака обсадных труб. Во избежание заклинивания кольцевого зазора между трубами и фильтром необходимо контролировать степень его заполнения по расходу материала. Для этого вычисляют, на какую высоту может быть сделана засыпка одним ведром гравия, и сравнивают вычисленную высоту засыпки с фактически измеренной. Разнозернистый материал рекомендуется засыпать через вспомогательную колонну труб с внутренним диаметром 15–20 мм, помещенную в кольцевой зазор.

Это поможет избежать расслоения материала обсыпки. Чтобы материал не застревал в этой колонне, ее надо промывать водой. Высота слоя обсыпки над верхом рабочей части фильтра должна быть, не менее 1 м.

Двухслойную обсыпку устраивают с помощью дополнительной колонны безмуфтовых обсадных труб. Обсыпку производят сначала в зазоре между внутренней колонной и обсадными трубами скважины, а затем между каркасом фильтра и первым слоем обсыпки.

При расчете коэффициента фильтрации по результатам откачки из скважины, в которой установлен гравийный фильтр, радиус, скважины принимают по внешнему контуру обсыпки.

Насосы. Для опытной откачки насосы выбирают в зависимости от глубины залегания водоносного горизонта и его водообильности. Если во время откачки уровень воды будет находиться на глубине (от поверхности земли) не более 7 м, то применяют поверхностные насосы – всасывающие и центробежные. Для того чтобы приблизить насос к водоносному горизонту, его устанавливают в шурфе глубиной 3–4 м. Откачку из более глубоких водоносных горизонтов ведут глубинными насосами – штанговыми и погружными, а также с помощью подъемников воды – эрлифтов. Производительность насоса должна быть несколько больше предполагаемого дебита откачки при наибольшем понижении уровня воды.

Поверхностные насосы. Для опытных откачек могут применяться как ручные, так и приводные поверхностные насосы. Первые используют только при малых дебитах, не превышающих 0,2 л/с. Тип насоса может быть любым, за исключением диафрагмовых, у которых всасывание происходит неравномерно.

Из приводных поверхностных насосов для опытных откачек применяют всасывающие вихревые, поршневые насосы двойного действия и центробежные насосы низкого давления.

Всасывающие насосы, если их производительность больше дебита скважины, позволяют производить откачку с автоматическим поддержанием понижения на том уровне, до которого спущен шланг. Всасывающий шланг при этом с шумом захватывает вместе с водой воздух, и откачка производится «на храп». Центробежный насос не может работать, если вместе с водой захватывается воздух, поэтому его всасывающий шланг опускают ниже требуемого понижения уровня воды, которое регулируют дебитом откачки при помощи задвижки, установленной на напорной трубе.

Глубинные насосы. Штанговый насос представляет собой цилиндр с клапаном, опущенный в скважину на трубах. Цилиндр имеет поршень, приводимый в движение штангами, соединенными с кривошипным механизмом насосной лебедки (качалки). Наибольшую производительность имеет штанговый насос двойного действия, в котором имеются два поршня. Штанговые насосы применяют при откачке с глубины до 50 м; производительность их может достигать 6 л/с. Ими можно откачивать только чистую воду, так как при наличии в откачиваемой воде песчаных частиц манжеты поршня насоса быстро изнашиваются. Недостатком штанговых насосов является также сложность их установки, так как, меняя их положение при откачке, каждый раз приходится демонтировать насосную лебедку. Эти насосы можно использовать для откачки «на храп».

Погружные насосы. Эти насосы отличаются тем, что электродвигатель смонтирован вместе с турбинным насосом и погружается в скважину на такую глубину, при которой во время откачки над насосом остается столб воды высотой не менее 5 м. Эти насосы имеют диаметр от 89 до 127 мм; производительность их составляет соответственно 2 и 4 л/с. Существуют также погружные насосы марки АТН-8 и АТН-10, у которых турбина приводится во вращение двигателем, установленным на поверхности. Эти насосы редко применяют при опытных откачках, так как их установка очень сложна.

Водоподъемники (эрлифты) работают по принципу сообщающихся сосудов. В скважину по воздушным трубам подают от компрессора сжатый воздух, который образует с водой более легкую, чем вода, смесь. Благодаря этому, а также под действием движущегося вверх воздуха смесь поднимается по водоподъемным трубам и изливается из скважины (рис.70). Производительность эрлифтов зависит от мощности установки и может достигать нескольких сотен литров в минуту. Для нормальной работы эрлифта необходимо правильно подобрать глубину погружения в воду смесителя, а также диаметры воздушных и водоподъемных труб. Глубина погружения смесителя ниже динамического уровня воды при откачке должна превышать высоту подъема воды в 2–3 раза.

При опытных откачках эрлифт используют редко, так как при работе им трудно поддерживать постоянное понижение уровня воды и необходимо иметь большой столб воды в скважине для погружения смесителя на нужную глубину.

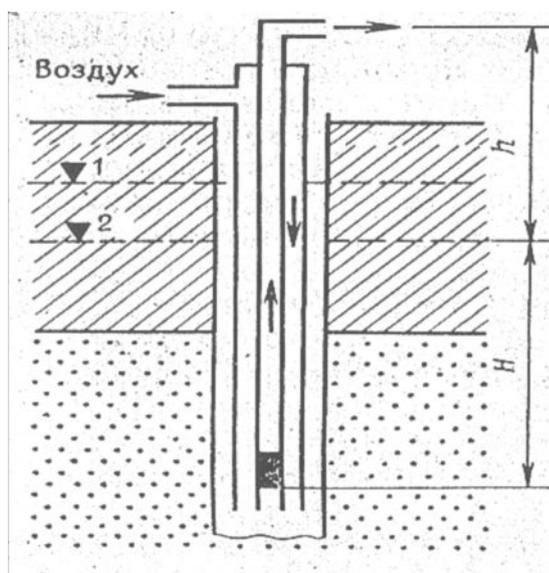


Рис. 70. Схема работы эрлифта: 1 – статический уровень; 2 – динамический уровень. H – глубина погружения смесителя; h – высота подъема воды.

Стрелки показывают направление движения воды и воздуха

Помимо рассмотренных типов существуют еще насосы водоструйные, вибрационные и других конструкций, которые редко используются для опытных откачек.

Основные данные о наиболее часто применяемых в практике изысканий насосах приведены в табл.25.

Таблица 25

Тип и марка насоса	Диаметр, мм	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Высота, м		Мощность двигателя, кВт
			подъема	нагнетания	
<b>Поверхностные насосы</b>					
Центробежные:					
С-245	150	100	5-6	16	19
НЦС-2	110	18-130	5-6	20-8	12
НЦС-4	110	8-60	5-6	17-4	10
Всасывающий ГНОМ-10х10	280	10	8	10	1,1
<b>Глубинные насосы</b>					
Штанговые одинарного действия:					
НШ-127	150	9	35	40	7
НШ-89	110	5,8	35	40	7
Штанговые двойного действия:					
НДК-146	168	21,6	-	40	7

НДК-108	127	16	-	40	5
Погружные:					
ЭПН-6-16-110	168	16	-	110	8
ЭПН-8-40-100	219	40	-	100	17

**Приборы для измерения уровня воды.** Уровень воды при откачке надо замерять с большой точностью, так как значение понижения уровня воды входит в расчетные формулы. Поэтому применяемые приборы должны обеспечить точность измерения до 10 мм, а в отдельных случаях, при кустовых откачках с небольшим понижением уровня воды в наблюдательных скважинах, – до 5 мм. Значительные погрешности при замерах уровня воды связаны с удлинением шнура, на котором опускают измерительный прибор в скважину. Поэтому для опускания надо использовать тонкие тросы или стальные рулетки. Нельзя опускать в скважину измерительные приборы на полотняных рулетках, шпагатах и других шнурах, изменяющих длину под влиянием влаги или при натяжении.

Хлопушка – простейший прибор, используемый для измерения уровня воды до глубины 10 м. Она представляет собой закрытую с одной стороны трубку длиной 50–70 мм и диаметром 20–25 мм, прикрепленную закрытым концом к стальной рулетке или к тросику, на котором имеются метки через каждые 0,5 м.

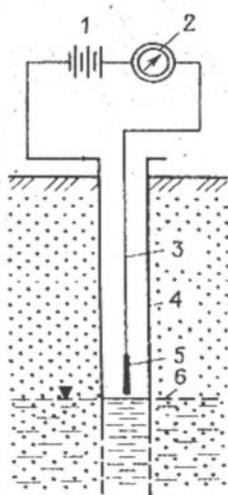


Рис. 71. Схема электроуровнемера:

- 1 – электрические батареи;
- 2 – миллиампер-метр;
- 3 – изолированный провод;
- 4 – обсадная труба; 5 – датчик;
- 6 – уровень подземных вод

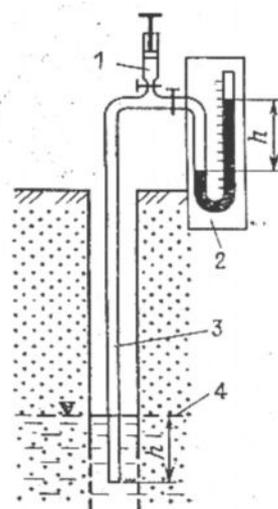


Рис. 72. Схема пневматического уровнемера: 1 – воздушный насос для прокачки резиновой трубки; 2 – водяной манометр; 3 – резиновая трубка; 4 – уровень подземных вод

Электроуровнемеры – наиболее часто применяемые приборы – работают по принципу замыкания водой цепи электрического тока, проходящего между датчиком, опускаемым в скважину на проводе, и обсадной трубой (рис.71-72). Датчик представляет собой металлический стержень, покрытый изоляцией и обнаженный только с нижнего конца. Провод, на котором опускают датчик, имеет метки и служит для измерения уровня воды. Соприкосновение датчика с водой фиксируется миллиамперметром, помещенным в коробке прибора, в которой имеются также рулетка и источник тока – батареи. Наиболее удобны электроуровнемеры УЭ-75 и УЭ-200.

Поплавковый измеритель имеет поплавок, опущенный в скважину на тросе, к другому концу которого, перекинутому через блок, прикреплен противовес. Вращение блока, происходящее при изменении уровня воды, фиксируется на шкале с делениями или на цифровом барабане. Поплавковые приборы можно использовать для регистрации уровня, воды в наблюдательных скважинах опытного участка. Существуют поплавок-овые приборы с самописцем уровня.

Для измерения уровня воды на опытном участке можно применить пневматический прибор, схема которого изображена на рис.72. Уровень воды в скважине определяют по разности уровней воды в водяном барометре, к которому подведена резиновая трубка. Другой конец трубки опущен в скважину несколько ниже уровня воды. Столб воды, находящийся над этим концом трубки, создает в ней избыточное давление, которое фиксирует водяной манометр. Для того чтобы вода не заполнила трубку, перед замером ее прокачивают насосом.

Определение дебита откачиваемой воды. Для определения дебита откачиваемой воды используют различные способы. Объемный способ заключается в непосредственном измерении времени заполнения сосуда определенной вместимости, поэтому он наиболее прост и надежен. Объем мерного сосуда должен быть таким, чтобы он заполнялся не менее чем за 30 с и не более чем за 5 мин. Если сосуд имеет правильную геометрическую форму (цилиндрическую и др.), то объем его может быть установлен расчетом. В остальных случаях вместимость этого сосуда следует тарировать, используя другой, меньший сосуд, объем которого известен. После измерений на сосуде следует надписать вместимость и дату тарировки. При большей вместимости сосуда внутри его желательно установить мерную рейку, которая показала бы объем заполняющей его воды на каждый момент

времени. Для выпуска воды из большого бака к дну его прикрепляют трубу с задвижкой, а у деревянных чанов делают пробку.

При откачке «на хруп» и Эрлифтом вода поступает из скважины с большим содержанием воздуха, поэтому ее сперва направляют в «успокоитель». Он представляет собой лоток или ящик, перегороженный щитами на два или три сообщающихся отделения, пройдя которые, вода теряет воздух и приобретает нормальный объем. В этом случае истинный дебит можно определить, если после заполнения сосуда подождать некоторое время, необходимое для выхода из воды воздуха, а затем измерить ее объем по рейке.

Время заполнения сосуда измеряют секундомером. Зная вместимость сосуда  $V$  и время его заполнения  $t$ , дебит откачки  $Q$  рассчитывают по формуле  $Q = V/t$ . Чтобы определенный дебит не оказался случайным, измерения повторяют 2–3 раза подряд и принимают среднее арифметическое значение.

Водомеры используют при измерении расхода более 0,2 л/с и только в том случае, когда откачиваемая вода не содержит взвешенных частиц и не насыщена воздухом. Проходящая через водомер вода вращает крыльчатку или турбину; это вращение фиксируется специальным устройством, показывающим объем воды, прошедшей через водомер. Для того чтобы определить дебит по водомеру, берут два отсчета, вычисляют их разность и делят ее на промежуток времени между этими отсчетами. Каждый водомер имеет паспорт, в котором указано, на какой режим работы он рассчитан.

Перед началом работы водомер следует тарировать. Для этого через него пропускают воду с определенным, расходом и сверяют прошедший объем с показаниями водомера. На основании такой проверки составляют тарировочный график, которым пользуются для внесения поправок в показания водомера в получения действительного расхода при откачке. При длительных откачках водомер подключают только на время измерения расхода, а в промежутках воду сбрасывают, минуя его.

Кроме описанных способов расход воды при откачке можно измерять специальными приборами – ротаметрами, пьезометрическими приборами и др., однако они более сложны и дают меньшую точность.

### 19.3 Подготовка и проведение опытной откачки

Подготовка к откачке начинается с разбивки скважин на местности. Положение опытной (центральной) скважины должно быть указано руководителем работ, а разбивку наблюдательных скважин на опытном участке обычно делает топограф. Каждую точку закрепляют кольшком с соответствующей надписью. Перед началом бурения скважин необходимо проверить правильность их положения.

При выборе места для центральной скважины следует предусмотреть возможность удобного отвода трубами или лотком откачиваемой воды, которую надо сбрасывать на расстояние не менее 100 м от скважины. Во всех случаях желательно сбрасывать воду в расположенный поблизости водоем.

Одновременно с разбивкой и привязкой скважин нивелируют их устья. Для этого у каждой скважины оборудуют высотную постоянную точку, от которой ведут все измерения. Точка обычно представляет собой шляпку большого гвоздя, забитого в брус, установленный на двух кольях, прочно вбитых в землю. Брус должен иметь горизонтальное положение, и верх его должен совпадать с поверхностью земли. Рядом с опытным участком устанавливают репер, от которого производят повторное проверочное нивелирование постоянных точек скважин.

Во время бурения необходимо тщательно документировать геологический разрез скважины и вести гидрогеологические наблюдения. Если скважина вскрывает несколько водоносных горизонтов, то следует изолировать от них опробуемый горизонт. Если водоносные горизонты разделены слоем глины мощностью не менее 2 м, то их можно изолировать друг от друга, забивая обсадные трубы. Для этого предварительно углубляют скважину в глину на 1 м меньшим диаметром, а затем забивают обсадные трубы. При небольшой мощности изолирующего слоя применяют тампонаж глиной. С этой целью расширяют скважину ниже башмака обсадных труб на глубину 1–2 м и забрасывают в нее шарики жирной глины. После их трамбования образуется глиняная пробка, в которую забивают обсадные трубы.

Изоляцию водоносного горизонта заключенного в скальных, породах, осуществляют с помощью цементных пробок. Для этого скважину на глубину 1–1,5 м заполняют цементным раствором, в который задавливают обсадные трубы. После схватывания цемента пробку

внутри труб разбуривают и продолжают бурение меньшим диаметром.

Для проверки изоляции водоносного горизонта откачивают воду из скважины и следят за ее уровнем в течение нескольких часов. Если положение уровня изменится, т. е. изоляция окажется неудовлетворительной, то ее необходимо повторить. Ход работ по изоляции водоносного горизонта и их результаты отмечают в буровом журнале и в специальном акте тампонажа скважины.

После окончания бурения опытной и наблюдательных скважин уточняют проект проведения опытной откачки и составляют техническое задание на оборудование скважин фильтрами, насосными установками и приборами для измерения уровня и дебита воды. Для этого вычерчивают разрезы по опытной скважине и по лучам наблюдательных скважин, на которые наносят положение фильтров, и составляют схему установки насоса, приборов для измерения дебита воды и т. д.

Установка фильтра – один из наиболее ответственных видов работ – проводится буровой бригадой под наблюдением техника, который лично делает все измерения и заносит их в журнал. Фильтр и все необходимые для его установки трубы заранее подбирают на складе, а в случае необходимости фильтр изготавливают в мастерских. Трубы, входящие в фильтровую колонну, следует измерить и пронумеровать, при этом надо так подобрать их длину, чтобы верх колонны не выступал над устьем скважины. В случае необходимости у устья скважины может быть пройден небольшой шурф (приямок).

Перед установкой фильтра скважину следует тщательно прочистить и промыть желонкой или ручным насосом, должен быть восстановлен уровень воды. После этого делают контрольное измерение глубины скважины и проверяют по фильтру соответствие глубины расположения рабочей части фильтра и водоносного пласта.

Фильтр может быть установлен на колонне труб, верх которой достигает до поверхности земли или «в потай», на сальнике. В последнем случае наверху фильтра устраивают специальный замок. В него входит соответствующий ключ, навинченный на штанги, на которых опускают фильтр. Ниже замка устраивают сальник из пеньки, который должен плотно входить в обсадные трубы и прочно удерживаться на фильтре. Эта схема более сложна, но имеет ряд преимуществ, так как позволяет сохранить диаметр скважины, что важно для помещения насоса и опускания прибора при измерении уровня воды. Ею рекомендуется пользоваться при глубине скважины не более 10 м, ко-

гда фильтр ставят на прочные породы и нет опасений, что в ходе откачки он может опуститься.

Перед спуском в скважину фильтр тщательно осматривают и промывают, а все замеченные неисправности устраняют. После того как фильтр поставлен на забой скважины и проверена правильность его положения, обсадные трубы поднимают, чтобы обнажить рабочую часть фильтра. Высоту подъема следует вычислить заранее. Если фильтр опущен на сальнике, то башмак обсадных труб после их подъема должен находиться на 0,5–1 м ниже сальника. Извлекать трубы надо медленно и следить при этом за положением фильтра, который может подниматься вместе с обсадными трубами. Чтобы избежать этого, верх колонны труб или штанг, на которых опущен фильтр, упирают в палаты буровой вышки. После подъема лишние обсадные трубы отвинчивают, а оставшуюся колонну прочно подвешивают на хомутах и оставляют в таком положении в течение всей откачки. При установке гравийного фильтра продельывают все операции в соответствии с помещенным выше описанием этого фильтра. Все данные о фильтре заносят в журнал и показывают на геолого-техническом разрезе.

*Насосно-силовое оборудование* для откачки подбирают и устанавливают в соответствии с техническим заданием. Все данные о монтаже насоса и двигателя должны быть записаны в журнале и нанесены на геолого-технический разрез скважины.

Одновременно со сборкой этого оборудования проверяют и устанавливают приборы для измерения дебита и уровня воды. При откачке на опытном участке желательно каждую наблюдательную скважину оборудовать индивидуальным уровнемером и в промежутках между замерами не извлекать его из скважины, а лишь немного приподнимать над уровнем воды. Это позволит повысить точность и сократить время измерений, что имеет большое значение, так как замеры во всех наблюдательных скважинах надо проводить одновременно. Значительное сокращение времени измерения может быть достигнуто в том случае, когда опытный участок оборудован дистанционной системой измерений; (пневматической и др.).

Мерные баки для определения дебита должны быть установлены горизонтально и иметь надежные приспособления для быстрого опорожнения. Вся водоприемная и водоотводящая система не должна иметь течи. Водомеры размещают в соответствии с их техническим паспортом.

Когда все оборудование смонтировано, проводят пробную откачку, чтобы промыть фильтр и прилегающие к нему породы, измерить дебит откачиваемой воды, проверить и подобрать насосное и другое оборудование, определить размеры понижений в опытной и наблюдательных скважинах и в случае необходимости скорректировать их глубину и расположение. Пробную откачку заканчивают после осветления откачиваемой воды. Продолжительность ее обычно не превышает одной смены, и проводится она при одном максимальном понижении. При пробной откачке из рыхлых пород всасывающий шланг следует погружать постепенно, чтобы избежать заиливания фильтра. Перед откачкой из скальных и полускальных пород для очистки скважины от шлама можно применять свабирование – подъем всего столба воды с помощью специального поршня, опускаемого на забой скважины.

После окончания пробной откачки проводят наблюдения за уровнем воды для установления его статического положения, от которого отсчитывают понижения во время опытной откачки. Эти наблюдения могут продолжаться в течение нескольких смен и должны проводиться с учетом колебания уровня воды в расположенном поблизости водоеме.

Проведение опытной откачки. Опытную откачку проводят в соответствии с техническим заданием, составленным на основании пробной откачки. В задании устанавливают режим и вид откачки, продолжительность и состав наблюдений за уровнем воды, число понижений, их размер, продолжительность и последовательность проведения.

Откачку можно начинать только после полного восстановления уровня воды в опытной и наблюдательных скважинах.

Число понижений уровня воды при откачке устанавливают в зависимости от задач опробования и гидрогеологических особенностей участка. При совместном определении коэффициентов фильтрации и пьезопроводности (уровне проводности) откачку проводят при одном постоянном расходе или понижении уровня воды. Для упрощения обработки опытных данных и повышения надежности получаемых результатов следует стремиться в течение всего опыта к постоянному расходу при одном максимально возможном понижении. Откачки при одном максимально возможном понижении проводят и в том случае, когда для фильтрационных расчетов достаточно определения только коэффициентов фильтрации.

Откачки при двух-трех понижениях проводят для решения ряда специальных задач: выяснения зависимости расхода воды от понижения уровня, изучения неоднородности пластов по водопроницаемости, определения естественной разгрузки подземных вод, оценки суффозионной устойчивости заполнителя трещин и пустот в скальных породах и др.

Если откачку проводят при двух-трех понижениях, то их размеры определяют путем деления значения максимального понижения, установленного на основании пробной откачки, на равные части. Понижения всегда нумеруют в порядке их возрастания. Откачку в песчаных породах рекомендуется начинать при минимальном понижении, чтобы не закольматировать фильтр, и последовательно переходить к большим понижениям. Откачку из гравийно-галечниковых и трещиноватых скальных пород следует начинать с максимального понижения, в процессе которого будут промыты поры и трещины в породе.

Если откачку проводят при установившемся режиме фильтрации, то после достижения заданного понижения необходимо следить за тем, чтобы расход и уровень воды оставались постоянными. Колебания уровня допускаются в пределах 1–2 см, а колебания дебита не должны превышать 10% от среднего значения.

Замеры расхода и уровня воды проводят одновременно через 5–10 мин в начале откачки, 10–20 мин в дальнейшем и 0,5–1 ч в конце. Интервалы между замерами уровня воды в далеко расположенных наблюдательных скважинах, а также на водомерных постах могут быть значительно увеличены. Следует иметь в виду, что при откачке из напорного водоносного пласта уровень воды и дебит устанавливаются быстрее, чем при откачке из безнапорного.

В течение каждого понижения опытную откачку надо проводить непрерывно, а если почему-либо произошел длительный перерыв, то опыт при данном понижении надо повторить. Желательно также не допускать перерыва между понижениями, а если это неизбежно по условиям перестановки насоса, то надо стремиться к тому, чтобы перерывы были как можно короче. Для этого обычно не проводят наблюдений за восстановлением уровня воды между понижениями. Исключение может быть сделано в период резких колебаний уровня подземных вод, связанных с паводком на реке и с другими явлениями, когда восстановление уровня в опытных и наблюдательных скважинах надо проводить после каждого понижения.

Для проверки чистоты фильтра в промежутках между понижениями желательнее проводить контрольные измерения глубины скважины с установленным фильтром и в случае необходимости прочищать фильтр.

Все данные наблюдений за уровнем воды и дебитом откачки заносят в журнал, а на миллиметровой бумаге строят графики изменения уровня и дебита во времени (рис.73 и 74). Кроме того, в начале и в процессе откачки измеряют температуру воздуха и воды, а также отбирают пробы воды на химические анализы. Ведут также наблюдения за выносом частиц из скважины, для чего отбирают пробы в посуду из прозрачного стекла вместимостью 0,5–1 л и визуально определяют содержание в них взвеси. В случае необходимости воду фильтруют и осадок взвешивают в лаборатории.

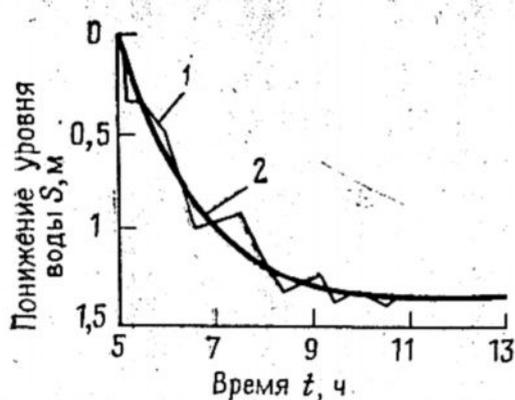


Рис. 73. График колебания уровня воды в опытной скважине во время откачки: 1 – замеренные уровни; 2 – усредненная кривая

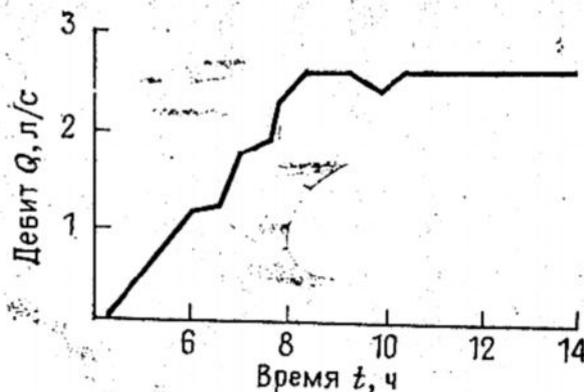


Рис. 74. График колебания дебита воды во время откачки (понижение №3;  $S = 1.4$ ;  $Q = 2,6$  л/с)

Измерения дебита и уровня воды надо проводить одновременно во всех наблюдательных скважинах. Если это невозможно, то надо добиваться, чтобы разрыв во времени между замерами был минимальным, и проводить их каждый раз в одной и той же последовательности. Поскольку при кустовой откачке наибольшее практическое значение имеют наблюдения по скважинам, расположенным на луче, перпендикулярном к направлению подземного потока, измерения уровня воды следует начинать именно с них. Для удобства ведения полевых записей и дальнейшей камеральной обработки результатов откачки время начала каждого цикла наблюдений должно или совпадать с началом часа, или быть кратным 5, 10, 15 или 30 мин.

При каждом понижении откачка может быть закончена в том случае, если режим уровня воды и дебита соответствует техническому – зданию. Для контроля правильности откачки при нескольких понижениях составляют график зависимости дебита от понижения (рис.75). Если на таком графике все точки лежат на одной прямой или выпуклой кривой, то опыт считается правильным, а, если они лежат на вогнутой кривой – дефектным (рис.75).

После откачки во всех скважинах проводят наблюдения за восстановлением уровня воды. Первоначально уровень восстанавливается быстро, но в дальнейшем подъем его постепенно прекращается. В соответствии с этим интервалы замеров изменяются от 1-3 мин в начале до 30-60 мин в конце наблюдений. Частоту замеров назначают с таким расчетом, чтобы подъем уровня между последовательными замерами не превышал 5 см. Наблюдения прекращают, когда уровень за 1 ч изменяется на 1 см.

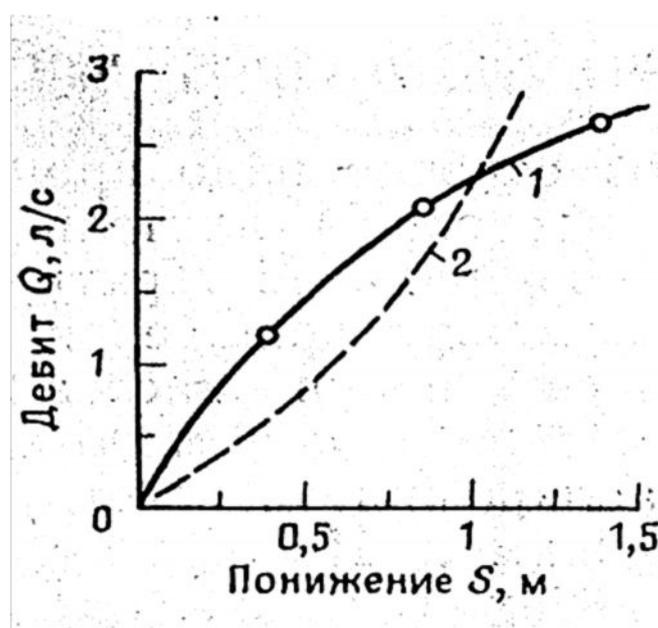


Рис. 75. График зависимости дебита от понижения при откачке:  
1 – кривая при нормальном ходе опыта; 2 – кривая при дефектном опыте

**Проверка и обработка материалов откачки.** После окончания опыта проверяют глубину скважины, исправность измерительных приборов, правильность записей в журнале откачки и составления графиков; делают повторное нивелирование нулевых точек. В случае обнаружения каких-либо ошибок в документацию вносят необходимые исправления. Документацию надо вести в журнале опытной откачки непрерывно. При кустовой откачке кроме журнала опытной

скважины ведут журнал наблюдательных скважин. В журнал вносят все данные, относящиеся к откачке, – о подготовке скважины к опыту, установке насосно-силового оборудования и приборов для измерения уровня воды и дебита, наблюдениях за уровнем воды и дебитом при пробной откачке и каждом понижении во время опыта, восстановлении уровня воды после откачки и ликвидации скважин. В дневник работ вносят дополнительные сведения о работах, проведенных в течение каждой смены, неполадках во время опыта, неисправностях измерительных приборов, дефектах работы фильтра и т.д. Кроме этого, отмечают изменения погоды, выпадение осадков и заносят другие сведения, которые необходимы для правильного представления о ходе опыта.

В журнал вклеивают графические приложения: схему расположения скважин, геолого-технический разрез опытной скважины или лучей при кустовой откачке с нанесением на них уровней воды при каждом понижении, графики колебания уровня воды и дебита в скважинах во время откачки, графики восстановления уровня воды до и после откачки, графики зависимости дебита от понижения уровня воды во время откачки (для опытов с несколькими понижениями). На последнем графике линия, соединяющая точки, должна быть прямой или плавной кривой, обращенной выпуклостью вверх. Если она обращена выпуклостью вниз, то опыт считают дефектным. При кустовой откачке качества опыта проверяют также по соотношению дебита и понижений в наблюдательных скважинах: отношение разности понижений уровней в них должно быть примерно пропорционально отношению Дебитов центральной скважины при этих понижениях. Если по этим признакам опыт признают дефектным, то надо найти причину дефекта (плохая изоляция опробуемого интервала и т.д.), устранить ее и повторить опыт.

Если, опыт не имеет дефектов, то в конце журнала руководитель работ делает отметку о приемке работ и оценивает качество проведенного опыта. Опытную скважину или участок разрешается ликвидировать, только в том случае, когда результаты проверки и предварительной обработки Материалов покажут, что опыт не содержит дефектов и не требует повторения.

Окончательную обработку материалов опытной откачки делают на сводном листе, на котором помещают схему расположения скважин; геолого-технический разрез по опытной одиночной скважине или по лучам опытного куста; техническую характеристику оборудо-

вания; графики восстановления уровня,, колебания уровня и дебита во время откачки, зависимости дебита от понижения уровня; расчетную таблицу данных для вычисления коэффициентов фильтрации.

Масштабы графиков и схем выбирают минимально необходимыми для ясного зрительного восприятия. В расчетной таблице приводят исходные данные, а также формулы и результаты расчета коэффициента фильтрации по Данным откачки при всех понижениях, как для опытной скважины, так и для пар наблюдательных скважин на каждом луче в различных сочетаниях.

После анализа полученных значений коэффициентов фильтрации выбирают наиболее достоверные и по ним вычисляют средние арифметические значение. Наиболее достоверные значения коэффициента фильтрации при кустовой откачке дают расчеты по формулам для двух наблюдательных скважин, так как на них не оказывают влияние сопротивление фильтра опытной скважины, режим фильтрации скважин и другие факторы.

## **Глава 20. Опытные нагнетания воды в скважины** (материалы Е.С. Карпышева)

Опытные нагнетания проводят для определения относительной водопроницаемости массивов скальных пород. Их широко применяют при изысканиях для гидротехнического строительства, что объясняется сравнительной простотой опыта, наличием необходимого стандартного оборудования, а также возможностью охарактеризовать фильтрационные свойства не только водоносных, но и необводненных пород.

Результаты опытных нагнетаний – удельное водопоглощение  $q$  и приведенный  $Q$  – не являются расчетными показателями водопроницаемости пород. Удельное водопоглощение показывает, какое количество воды (в литрах) поглощается за 1 мин 1 м о пробуемого интервала скважины при напоре 1 м. Его определяют при напоре 10 м. Приведенный расход определяют при тех же условиях, но при напоре 100 м.

Оба показателя при составлении фильтрационных разрезов и инженерно – геологическом районировании скального массива как обоснование экстраполяции и интерполяции значений коэффициента фильтрации, полученных по данным опытных нагнетаний можно оценить с помощью переходного коэффициента, который определяют

для исследуемых пород путем проведения откачек и нагнетаний в од- ни и те же интервалы скважины.

По этим данным строят в логарифмическом масштабе график связи (рис.76) удельного водопоглощения зависит не только от активной пустотности изучаемой горной породы, но и от длины интервала скважины, в которую нагнетали воду, действующего во время опыта напора, а также ряда других факторов. Для уменьшения их влияния на результаты опытов и получения сравнимых результатов опыты надо проводить при соблюдении определенных условий.

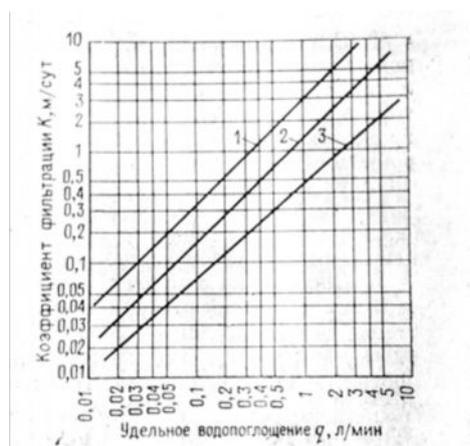


Рис. 76. График удельного водопоглощения  $q$  и коэффициента фильтрации  $R$ :  
1 — диабазы; 2 — кристаллические сланцы; 3 — песчаники

1. Нагнетать воду следует в интервалы одинаковой длины, которая принята равной 5 м. Только при необходимости уточнить положение сильно-водопроницаемой зоны длину интервала, в котором она обнаружена, можно сократить до 2–3 м, а для участков, сложенных слабо водопроницаемыми породами с удельным водопоглощением меньше 0,01 л/мин, — увеличить до 10 м.

2. Кольматация трещин в стволе скважины, происходящая в процессе бурения, может уменьшить поглощение воды и снизить показатели водопроницаемости. Чтобы уменьшить ее, рекомендуется бурить скважины с обратной промывкой и опробовать их способом «сверху», т.е. по мере углубления на длину опробуемого интервала. При этом способе трещины и пустоты в породе меньше закольматируются, так как опробуют отрезок скважины, пробуренный последним.

3. Кроме того, в сильно трещиноватых породах, где трудно добиться изоляции интервала тампоном, при таком способе можно за-

ранее подготовить цементный пояс, в котором разжать тампон. Для этого после опробования очередного интервала и извлечения тампона скважину на глубину 1 – 1,5 м заливают цементным раствором, который подают по трубам или с помощью заливочной желонки. Для контроля за отвердением цемента одновременно заливают раствором четыре стакана и помещают их в воду. Пробы проверяют через 1, 2, 3 и 4 сут. Когда раствор хорошо схватится, пробку разбуривают и, углубив скважину до подошвы следующего интервала, разжимают тампон в подготовленном цементном поясе.

4. При необходимости опробовать нагнетаниями уже пробуренную скважину можно применить способ «снизу вверх», т. е. начинать опыты с нижнего интервала. По окончании опробования очередного интервала и извлечения тампона интервал тампонируют глиной или цементным раствором. Этот способ менее точен, так как чем выше от забоя расположен опробуемый интервал, тем более заколматированы его стенки. Кроме того, он требует больших затрат времени на подготовку скважины, поэтому его применяют очень редко.

5. Для опробования отдельных интервалов в уже пробуренной скважине может быть использована комбинация тампона и тампона-пробки. Этот способ также требует больших затрат времени и ненадежен, так как во времени опыта нельзя проверить качество изоляции нижней части скважины от опробуемого интервала. Применение двойных тампонов для нагнетания способом «снизу вверх» ограничивается отсутствием устройств, которые позволяют следить за качеством изоляции нижней части скважины от опробуемого интервала и одновременно замерять в нем напор.

6. Опробуемый интервал скважины должен полностью находиться в водоносных или неводоносных породах. Отрезок ствола скважины длиной 3-5 м, расположенный вблизи границы водоносных и неводоносных пород, нагнетаниями не опробуют. Желательно также, чтобы опробуемый интервал находился в пределах сходных по характеру водопроницаемости пород. Опробование в одном интервале пород, сильно различающихся по этому показателю, проводится только в случае необходимости изучить водопроницаемость их контакта.

Напор, при котором проводят нагнетания в водоносную породу, определяют как высоту столба воды над статическим уровнем подземных вод, замеренным в разжатом тампоне перед опытом. В нево-

доносных породах напор условно отсчитывают от середины опробуемого интервала.

Если напорный уровень воды в трубах тампона значительно превышает устье скважины, то напор замеряют по манометру, установленному на трубах тампона. В остальных случаях напорный уровень воды поддерживают ниже обреза труб тампона и замеряют уровнемером.

Требуемый напор  $h^1$  при нагнетаниях с применением манометра определяют расчетом:

$$h^1 = h - h_m + h_n,$$

где  $h$  – напор, действующий в интервале (заданный напор ступени опыта);

$h_m$  – превышение манометра над статическим уровнем воды в интервале или в сухих породах над серединой интервала;

$h_n$  – потери напора в трубах тампона при работе с одноколонным тампоном и большим водопоглощении, определяемое по тарировочной кривой тампона.

Опытные нагнетания в зависимости от их назначения проводят при низких или высоких напорах. Нагнетания проводят для получения общей фильтрационной характеристики скального массива, которая обычно требуется на ранних стадиях проектирования гидротехнических сооружений. Эти опыты выполняют при одной ступени напора, равной 10 м. Для сильно водопроницаемых пород, где не удается по техническим причинам достигнуть этого напора, нагнетания выполняют при наименьшем возможном напоре и вычисляют водопоглощение путем прямолинейной экстраполяции на графике зависимости водопоглощения от напора.

При изысканиях для высоких плотин скважины, пробуренные в пределах зоны расположения проектируемой фильтрационной завесы, опробуют нагнетаниями при напоре 100 м. Если напор 100 м создать по техническим причинам невозможно, то нагнетания проводят при максимальном достигнутом напоре (но не ниже 50 м), а значение расхода при напоре 100 м получают путем прямолинейной экстраполяции. Перед опытом с высоким напором для выявления возможных противопоказаний для его проведения (большое поглощение воды, деформации пород, прорыв воды) и увязки с низконапорными опытами в части скважин проводят нагнетания с напором 10 м.

Для выяснения влияния высокого напора на водопроницаемость пород (их суффозионную устойчивость) часть скважин опробуют при трех ступенях напора: 10, 100 и повторно 10 м.

За рубежом опытные нагнетания воды в скважины проводят по методике, разработанной М.Люжоном. Воду нагнетают в интервал длиной 5 м при напоре 100 м в течение 10 мин. Единицей измерения водопоглощения при этом служит люжон, который равен водопоглощению 1 л/мин на 1 м интервала скважины при напоре 100 м, выдержанном в течение 10 мин. Если при опыте не был достигнут указанный напор, то соответствующее ему водопоглощение определяют прямолинейной экстраполяцией по графику зависимости расхода от напора.

В настоящее время разработаны и внедряются в практику методы определения проницаемости необводненных массивов горных пород нагнетанием воздуха.

*Метод воздушного определения трещиноватости* (ВОТ) предназначен для оперативных исследований на глубине до 5 м воздухопроницаемости скальных пород как показателя их открытой мелкой трещиноватости.

Метод определения проницаемости необводненных горных пород нагнетанием воздуха в скважины и шурфы значительно повышает точность фильтрационных исследований необводненных горных пород, так как исключает необходимость учитывать при оправдании гравитационные и капиллярные силы.

**Оборудование для опытных нагнетаний.** В состав оборудования входят тампоны, распределительные устройства, приборы унифицированных комплект УКН, выпускаемый заводом Гидропроект.

*Тампоны.* Интервал скважины, подготовленный для опыта, изолируют с помощью тампона, через который подается под напором вода. Наиболее распространены тампоны, в которых интервал изолируют разжатием резиновых колец. Имеются также тампоны, в которых изоляция опробуемого интервала скважины достигается накачиванием воздуха или воды в кольцевой резиновый баллон.

Тампоны бывают одинарными и двойными. Одинарный тампон изолирует интервал скважины сверху, а снизу интервал ограничивается ее забоем. Двойной тампон ограничивает интервал снизу и сверху и позволяет выделить отрезок скважины на любой ее глубине. На практике обычно применяют одинарные тампоны, так как они дают

более надежные результаты при опробовании скважин и проще в работе.

Тампон УТД-1 (унифицированный тампон двухколонный), схема которого приведена на рис. 77, является одинарным. Он входит в комплект оборудования для опытных нагнетаний УКН.

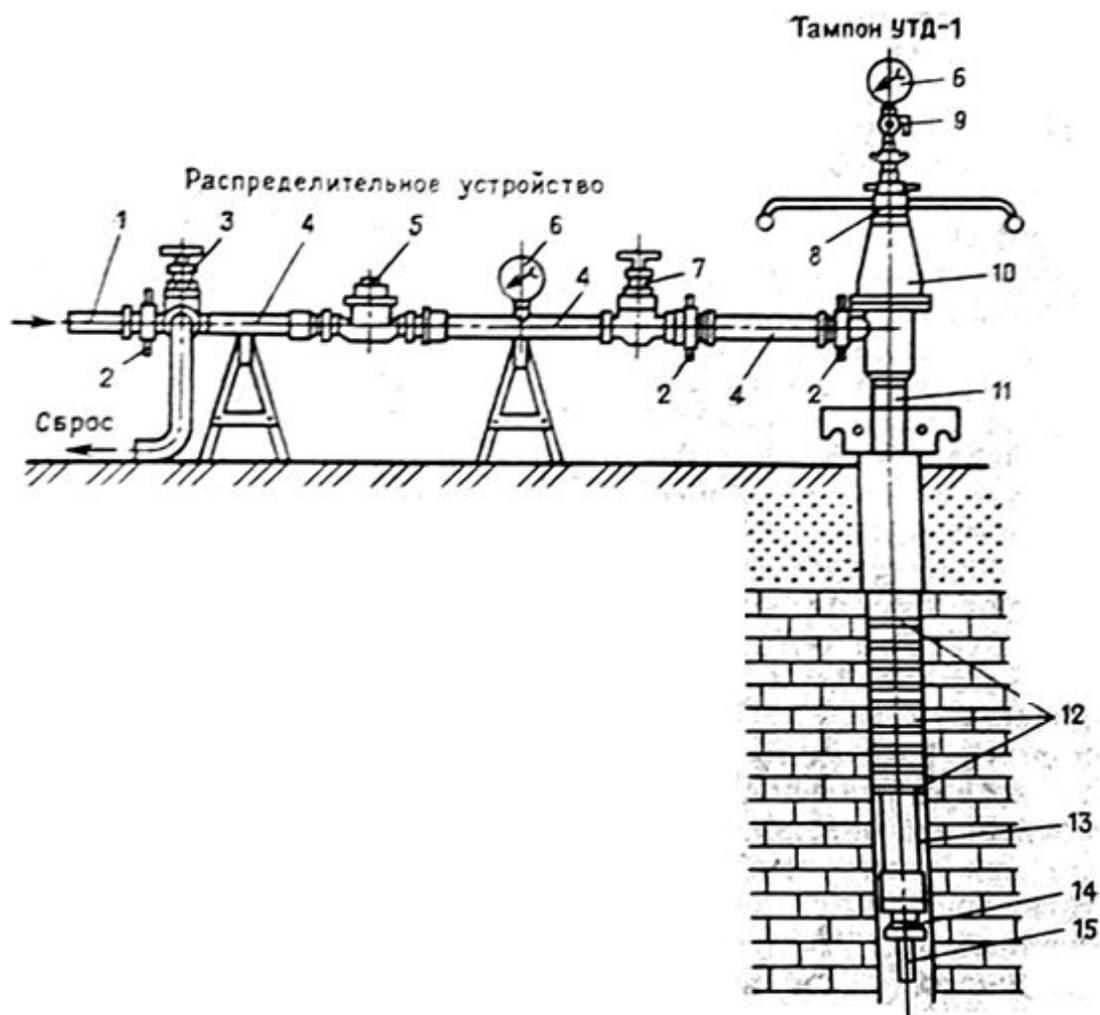


Рис. 77. Тампон УТД – 1 и распределительное устройство:

- 1 – шланг от насоса; 2 – универсальная гайка; 3 – сбросной вентиль;
- 4 – патрубок; 5 – водомер; 6 – манометр; 7 – перекрывающий вентиль;
- 8 – домкратная гайка; 9 – сливной кран; 10 – головка тампона; 11 – наружные трубы; 12 – уплотняющие резиновые кольца; 13 – зажимной патрубок;
- 14 – нижний натяжной винт; 15 – внутренние трубы (штанги)

Собранный тампон опускают в скважину на наружных трубах 11 до требуемой глубины. Затем опускают колонну внутренних труб (штанг). Установив и закрепив головку тампона, подтягивают вверх внутреннюю колонну труб 15, вращая домкратную гайку 8. Длинные

ребра натяжной гайки при этом давят на патрубок тампона 13 и упорное кольцо, через которые давление передается на резиновые кольца, через которые давление передается на резиновые кольца. Эти кольца, сжимаясь, уплотняют зазор между тампоном и стенками скважины.

Нижний натяжной винт 14 позволяет регулировать длину наземной части колонны внутренних труб так, чтобы она была удобна для работы. Если резьба домкратного винта при установке тампона выбрана полностью, а резиновые кольца сжаты недостаточно, можно опустить домкратный винт, вращая его вправо, т.е. ввинчивая в домкратную гайку 8.

Вода от распределительного устройства подается в интервал через горизонтальный отвод тройника по кольцевому зазору между наружными и внутренними трубами. Внутренняя колонна труб служит пьезометром для замера уровня воды в интервале. С этой целью она удлинена трубкой, присоединенной к нижнему натяжному винту. Уровень воды во внутренних трубах измеряют уровнемером. При нагнетаниях с избыточным напором над устьем скважины к внутренней колонне присоединяют манометр 6.

Кран 9 служит для выпуска при заполнении труб водой и слива воды в целях предупреждения порчи манометра при резком повышении напора в интервале в начале опыта. В верхней части тройника есть кран для выпуска воздуха из колонны наружных труб.

Тампон типа С-1, изображенный на рис.78, состоит из одной колонны труб и нижнего патрубка с прикрепленной к нему рессорой 6.

При вращении колонны труб вправо вместе с ней вращается и муфта домкрата 2, при этом нижний патрубок неподвижен, так как его удерживает рессора, упирающаяся в стенки скважины. Таким образом, при вращении на поверхности земли труб несущей колонны муфта домкрата перемещается вниз, сжимая резиновые кольца. Шарикоподшипник уменьшает трение домкратной муфты о втулки настолько, что при вращении на поверхности несущей колонны труб влево эта муфта отвертывается, а плотно завернутые соединения труб не развертываются. При этом резиновые кольца освобождаются, и тампон вновь может свободно передвигаться в скважине.

Тампон С-1 по сравнению с двухколонными тампонами имеет следующие преимущества: меньшие затраты времени на сборку и спуск в скважину, возможность спустить в трубы тампона вертикальный насос для проведения поинтервальных откачек или предвари-

тельной прокачки изолированного тампоном интервала скважины перед нагнетанием.

Основные недостатки тампона С-1 заключаются в невозможности измерения напора непосредственно в опробуемом интервале; необходимости при нагнетаниях без избыточного напора над устьем скважины спускать дополнительную колонну труб малого диаметра для замера уровня воды в несущих трубах; необходимости учитывать потери напора в трубах тампона при значительных расходах воды и малом диаметре несущих труб; сложности разжатия тампона в прочных породах, так как рессора скользит по гладким стенкам скважины; опасности вывала из стенок скважины и в разрушенных породах; возможности развертывания труб вместо отвертывания домкратной гайки (во избежание развертывания труб их необходимо завертывать очень плотно).

Пневматические и гидравлические тампоны являются одноколонными. На рис. 79 дан схематический разрез пневматического тампона. Он состоит из колонны несущих труб, на нижнем патрубке 3 которых закреплена эластичная воздухо- и водонепроницаемая резиновая камера 1. По напорному шлангу малого диаметра 4 и трубке 5 в камеру подают сжатый воздух или воду. Камера раздувается, плотно прижимается к стенкам скважины и изолирует опробуемый интервал от верхней части ствола скважины. Воду для опытного нагнетания подают в интервал по колонне несущих труб. Чтобы иметь возможность замерять напор в опробуемом интервале, в него необходимо опустить вторую колонну труб малого диаметра.

Для нагнетания воздуха в баллон при глубине установки тампона менее 50 м можно использовать ручной автомобильный насос. Баллон более эластичен, чем резиновые кольца, и поэтому с помощью пневматического или гидравлического тампона иногда удается достигнуть удовлетворительной изоляции интервала в скважинах с неровными стенками, например в скважинах дробового бурения.

Тампон-пробка предназначен для изоляции нижней части скважины от опытного интервала в том случае, когда скважина уже пробурена глубже его нижней границы. Это одноколонный тампон; в его верхней части имеется так называемый приемный патрубок с окнами, в которые входят захваты специального устройства-ловителя. Ловитель присоединяется к колонне штанг, на которых тампон-пробку спускают в скважину и извлекают из нее (рис.77).

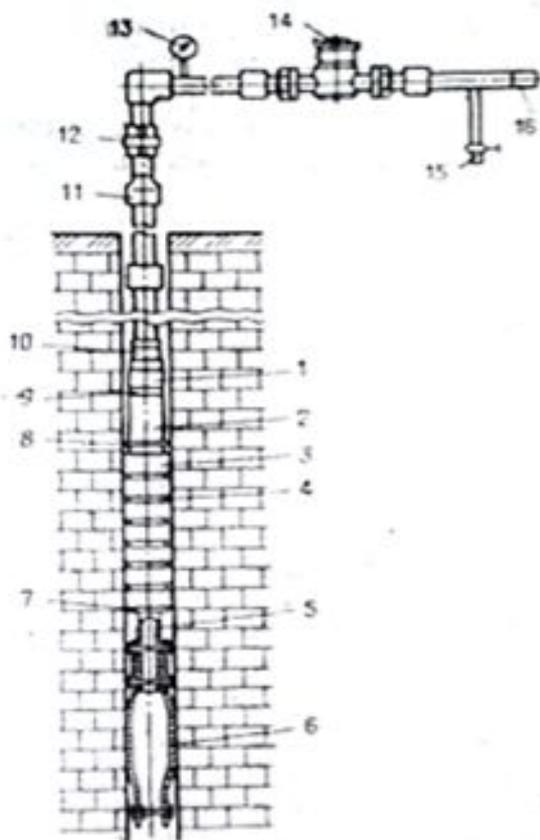


Рис. 78. Тампон С-1:  
 1 – домкратная гайка;  
 2 – муфта домкрата;  
 3 – уплотняющее резиновое кольцо; 4 – шайба; 5 – трубы;  
 6 – рессора; 7, 8 – нижнее и верхнее упорные кольца;  
 9 – упорный шарикоподшипник;  
 10 – соединительная муфта;  
 11 – переходная муфта;  
 12 – соединительная гайка;  
 13 – манометр; 14 – водометр;  
 15 – сбросной вентиль;  
 16 – патрубок к насосу



Рис. 79.  
 Пневматический тампон:  
 1 – резиновая камера;  
 2 – проволочный бандаж; 3 – нижний патрубок тампона;  
 4 – напорный шланг; 5 – трубка

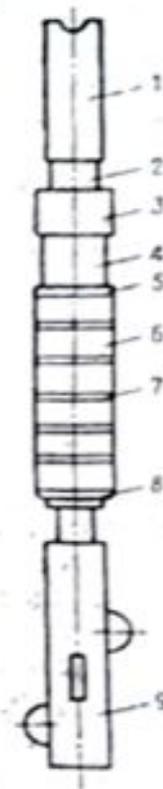


Рис. 80. Тампон пробка ТП-1:  
 1 – приемный патрубок; 2 – головка тампона;  
 3 – гайка тампона;  
 4 – нажимная трубка; 5 – верхняя упорная шайба;  
 6 – резиновое кольцо; 7 – шайба;  
 8 – нижняя упорная шайба;  
 9 – роликовый стабили-затор

Колонна труб любого одноколонного тампона нуждается в тарировке в том случае, если потери напора в ней превышают 5% (по манометру, установленному у устья скважины). Тарировать колонну труб тампона надо, пропуская через нее воду в определенном объеме

и замеряя давление на ее концах. По данным тарировки составляют тарировочную кривую, которую используют при определении давления в опробуемом интервале.

Распределительное устройство. При опытном нагнетании для учета и регулирования количества воды, подаваемой в трубы тампона, а также для наблюдения за давлением в системе, подходящей воду к скважине, воду пропускают через распределительное устройство, которое входит в УКН. Распределительное устройство унифицированного комплекта оборудования для опытных нагнетаний состоит из двух вентиляей, водомера, манометра и соединяющих их патрубков. Длина патрубка перед водомером должна не менее чем в 10 раз превышать диаметр водомера. Длина остальных патрубков любые. Диаметры патрубков и вентиляей должны с подающим воду насосом и головкой тампона напорными шлангами с накладными гайками. Резиновые прокладки гаек обеспечивают герметичность соединений. Такой же шланг используют для отвода сбрасываемой воды. При опыте с измерением давления манометров тампона вентиль полностью открыт. Подачу воды в тампон регулируют вентиль полностью открыт. Подачу воды в тампон регулируют вентилем. При опыте без манометра действуют обоими вентиляями, чтобы добиться правильной работы водомера. Водомер должен быть заполнен водой на полное сечение и находиться под некоторым напором. Наличие напора устанавливают по манометру на распределительном устройстве.

В последнее время в связи с необходимостью проведения нагнетаний с напором до 100 м унифицированный комплект был модернизирован: поставлены шланги высокого давления, усилены соединения и т.п.

Насос, падающий воду в распределительное устройство, должен обеспечить предполагаемый расход воды для нагнетания при максимальном требуемом напоре в интервале скважины и создавать равномерное давление. Наиболее удобны для этих целей центробежные насосы.

Водомеры. При опытных нагнетаниях применяют так называемые скоростные водомеры двух типов: крыльчатые типа ВК и турбинные типа ВВ.

Расходы, которые могут быть замерены водомером, зависят от его калибра. В табл. 26 приведены данные о расходе для водомеров тех калибров, которые обычно применяют при опытных нагнетаниях.

Таблица 26

Калибр водомеров, мм	Номинальный расход, л/мин	Порог чувствительности, л/мин	Пределы измерений, л/мин	
			нижний	верхний
<b>Крыльчатые водомеры</b>				
15	16,7	1,0	1,7	33,33
20	27,0	1,7	2,5	53,3
25	41,7	2,3	3,3	83,3
32	66,8	4,2	5,8	133
40	105,0	6,7	8,3	210
<b>Турбинные водомеры</b>				
50	250	23,3	50	367
80	750	30,0	100	333
100	1250	33,3	133	2333

Каждый водомер надо периодически тарировать, пропуская через него воду с расходами, составляющими 0,3; 0,5; 0,7; и 1 от номинального расхода. По данным тарировки строят тарировочную кривую, т.е. кривую связи расхода по показаниям водомера с действительным расходом, определенным с помощью мерного бака. Этой кривой пользуются для внесения поправок к расходам, определенным при опытных нагнетаниях по водомеру. Водомер следует устанавливать горизонтально и пропускать через него только чистую воду равномерно, без толчков.

*Тарированными мерными баками* пользуется в том случае, когда расход воды при нагнетании меньше нижнего предела водомера имеющегося калибра. Удобны сдвоенные баки диаметром 400 и высотой 800 мм, соединенные с распределительным устройством трехходовым краном. Для замера расхода воды их снабжают водомерной трубкой со шкалой, имеющей цену деления 0,5 л.

*Манометры.* При опытных нагнетаниях обычно используют технические манометры ОБМ-10 класса точности 2,5 и ОБМ-160 класса точности 1,5. Класс точности манометра указан на его корпусе и соответствует допустимой погрешности, выраженной в процентах от предельного значения его шкалы. Показания манометра наиболее точны в средней части его шкалы. Первой четвертью шкалы пользоваться не рекомендуется, так как при этом погрешность замера может значительно превысить допустимую. Подбирать манометр на-

до так, чтобы значения максимального рабочего давления, постоянного или плавно изменяющегося, не входили в последнюю треть шкалы, а при резких колебаниях – в ее вторую половину. При опыте следует по возможности не допускать резких пульсирующих изменений напора. При работе циферблат манометров ОБМ должен находиться в вертикальной плоскости.

**Подготовка и проведение опыта.** До начала опытных нагнетаний обеспечивают подачу к скважине воды в необходимом объеме. Воду можно подавать насосом из реки или другого источника по временному водопроводу, подвозить цистернами и заранее заполнять специально устроенные емкости вблизи скважины. Если вода содержит взвешенные частицы, то устраивают и заполняют водоемы-отстойники.

Интервалы, пройденные в породах, не содержащих подземные воды, промывают до осветления промывочной воды. В водоносных породах проводят прокачку и наблюдают за восстановлением уровня воды.

Собирают тампон и распределительное устройство, проверяя, чтобы все соединения шлангов и труб в резьбах были водонепроницаемы. Опускают тампон в скважину и разжимают. Замеряют уровень воды в трубах тампона (т.е. в опробуемом интервале) и в кольцевом зазоре между трубами тампона и стенкой скважины. Если тампон разжать удачно, то этот уровень воды в интервале принимают за статический.

Затем для проверки качества изоляции интервала и работы установки в целом проводят кратковременное нагнетание воды при низкой степени напора. При этом наблюдают за уровнем воды в кольцевом зазоре. Если он не изменяется или очень медленно повышается, но держится значительно ниже, чем в трубах тампона, изоляцию можно считать удовлетворительной. При нормальной работе опытной установки в целом без перерыва продолжают нагнетание на низкой степени напора. Небольшое повышение уровня в кольцевом зазоре может быть обусловлено фильтрацией в обход тампона по крутопадающим трещинам породы.

Если тампон установлен неудачно, его переставляют в скважине на 0,5–1 м вверх или вниз. Если и это не дает положительных результатов, применяют другие способы: увеличивают число резиновых колец на тампоне (не более 10), заменяют тампон на пневматический, устраивают цементный пояс на подвесной пробке и т.д. Когда изоля-

ция достигнута, в водоносных породах проводят контрольные замеры уровня воды в опробуемом интервале. Уровень считают установившимся и принимают его за статический, если по данным трех-шести замеров, проведенных с пятиминутными интервалами, он изменился не более чем на 2 см. В процессе опыта не менее 2 раз проверяют качество изоляции интервала путем замера уровня воды в кольцевом зазоре.

Для правильной работы водомеры он должен находиться по некоторым напором. Если при нагнетании уровень воды поддерживается в трубах тампона ниже устья скважины, то наличие напора в трубах распределительного устройства определяют по показанию манометра, установленного перед водомером на этом устройстве. Действуя сбросным и перекрывающим вентилями, устанавливают требуемый для поддержания заданного напора расход, а в дальнейшем, если нужно, пользуются только сбросным вентилем, поддерживая постоянный напор на манометре распределительного устройства.

Нагнетание без избыточного напора над устьем скважины ведут при открытом воздушном кране (у тампона УТД-1 пользуются краном в верхней части тройника). Для замеров уровня в этом случае применяют электроуровнемер, который между замерами оставляют в трубках, немного приподнимая над уровнем воды.

При нагнетаниях с избыточным напором над устьем скважины за напором наблюдают по манометру на трубах тампона. Начинают нагнетание при открытых до отказа вентилях распределительного устройства, и, закрывая постепенно сбросной вентиль, добиваются требуемого давления на манометре. Для регулирования расхода во время опыта также пользуются сбросным вентилем, а перекрывающий вентиль все время остается открытым. Для выпуска воздуха из труб тампона перед началом опыта и в процессе его открывают воздушный кран и закрывают его через несколько минут после того, как из него польется вода. У тампона УТД-1 открывают в начале опыта и закрывают после появления воды оба воздушных крана. В процессе опыта воздушные краны периодически открывают, чтобы выпускать воздух, скапливающийся в трубах.

При переходе от одной ступени напора к другой опыт не прекращают, а, действуя сбросным вентилем, изменяют сброс воды, пока не получают требуемого напора.

Замеры расхода при нагнетаниях с низким напором (10 м) проводят и записывают каждые 5-10 мин, а при нагнетании с высоким на-

пором (до 100 м) – каждые 1 – 2 мин. За напором наблюдают непрерывно и также записывают его значения. Все записи ведут в журнале наблюдений.

**Продолжительность нагнетания.** На каждой ступени напора длительность нагнетания определяется необходимостью получить установившийся расход при заданном постоянном напоре. Продолжительность нагнетания для определения удельного водопоглощения при напоре 10 м и постоянном расходе в обычных условиях рекомендуется равной 30 мин, а в фильтрационно-неустойчивых породах – 2 ч.

Продолжительность нагнетания при постоянном напоре и неизменяющемся расходе с высоким напором (до 100 м) в зоне цементационной завесы рекомендуется равной 10-20 мин.

Если для проверки фильтрационной устойчивости грунтов проводят нагнетания с напором 10, 100 и 10 м, то продолжительность опыта на первой ступени напора может составлять 10 мин, второй – 10–20 мин и третьей – до 30 мин.

При нагнетаниях для определения водопроницаемости фильтрационно-неустойчивых пород и при других специальных опытах продолжительность нагнетаний при установившемся расходе принимают в соответствии с программой работы и задачами исследований.

В начале исследований должно быть выполнено некоторое число контрольных опытов с продолжительностью нагнетаний не менее 2 ч. На основании этих опытов устанавливают необходимую продолжительность нагнетаний на данном участке.

Для уточнения радиуса влияния опытных нагнетаний и выявления основных направлений фильтрации ведут наблюдения за уровнем воды в скважинах, расположенных в зоне возможного влияния опыта, и результаты записывают в журнал опытных нагнетаний.

Необходимо также наблюдать, не происходит ли утечка нагнетаемой воды в расположенном поблизости горные выработки, не увеличился ли дебит близко расположенных родников. Если это будет установлено, то надо сделать соответствующие записи в журнале нагнетаний. После окончания опыта он должен быть принят руководителем опытно-фильтрационных работ. Если опыт признан дефектным, надо проверить всю установку и повторить его.

**Обработка материалов опытных нагнетаний.** Обработку результатов нагнетаний ведут на сводном листе, на котором помещают

геолого-технический разрез скважины, схему расположения скважины, технические данные, расчетные данные и графики.

Удельное водопоглощение рассчитывают по формуле

$$q = Q/(l \cdot h), \quad (149)$$

где  $Q$  – расход нагнетаемой воды, л/мин;

$l$  – длина интервала, м;

$h$  – действующий напор в интервале, м.

По данным нагнетаний с высоким напором вычисляют приведенный расход  $Q_n$  по формуле

$$Q_n = Q_{100}/(l \cdot h) \quad (150)$$

Если опыт проводят при напоре  $h < 100$  м, то расход  $Q_{100}$  при напоре 100 м определяют прямолинейной экстраполяцией до  $h = 100$  м по графику  $Q = f(h)$  или по формуле

$$Q_{100} = (Q/h) \cdot 100 \quad (151)$$

## Глава 21. Опытные наливывы в шурфы

Водопроницаемость рыхлых и связных горных пород, залегающих выше уровня грунтовых вод (в зоне аэрации), изучают преимущественно опытными наливками воды в шурфы. Породы зоны аэрации представляют собой трехфазную систему: скелет грунта – связанная вода – воздух, заполняющий поры и трещины. Поверхностные воды, поступающие из шурфа в породу, вытесняют воздух и двигаются по породам и трещинам под действием гравитационных и капиллярных сил, возникающих на границе раздела вода – воздух. Капиллярное давление действует как некоторый дополнительный напор, который необходимо учитывать при определении напорного градиента потока, инфильтрующегося из шурфа.

Лабораторные опыты показали, что капиллярное давление  $H_k$  при инфильтрации составляет в среднем 50% от давления, оказываемого столбом воды при максимальной высоте капиллярного поднятия. Ориентировочные значения величины  $H_k$  (в МПа) приведены ниже:

Суглинок:

тяжелый . . . . . 0,01

легкий . . . . . 0,008

Супесь:

тяжелая . . . . . 0,006

легкая . . . . . 0,004

Песок:

мелкозернистый глинистый . . . . 0,003

мелкозернистый чистый . . . . . 0,002

среднезернистый . . . . . 0,001

крупнозернистый . . . . . 0,0005

Более точно значение  $H_k$  определяют в лаборатории или поданным опытных наливов в шурфы.

Вода, поступающая из шурфа в породу, благодаря действия капиллярных сил движется не только вниз, но и вверх и в стороны. Вблизи шурфа образуется увлажненная зона, которая с течением времени увеличивается в размере и изменяет форму. Интенсивность растекания зависит от структуры породы и ее водопроницаемости. Наиболее слабо растекание проявляется в хорошо проницаемых крупнозернистых породах (галечники, щебень, крупнозернистые пески), наиболее интенсивно – в тонкопористых (глина и суглинки).

Растекание – один из основных факторов, осложняющих определение коэффициента фильтрации неводоносных пород опытными наливками. Влияние его на результаты опыта стремятся ограничить специальной схемой опытной установки или учитывают в расчетных формулах.

Поверхностная вода, инфильтруясь из шурфа, не полностью вытесняет воздух, заполняющий поры и трещины породы. Оставшиеся пузырьки его уменьшают живое сечение инфильтрационного потока и, следовательно, скорость его движения. Рассматриваемые ниже методы определения коэффициента фильтрации опытными наливками в шурфы не учитывают влияние заземленного воздуха.

Водопроницаемость некоторых структурных пород (лессы, суглинки, глины) в процессе опыта изменяется вследствие нарушения структурной прочности породы при смачивании или в результате физико-химических процессов, развивающихся в неводонасыщенной породе при поступлении в нее воды. В таком случае расход инфильтрующегося из шурфа воды изменяется незакономерно и продолжительность периода до стабилизации расхода значительно больше, чем в породе, структура которой при замачивании не изменяется.

На скорость инфильтрации большое влияние оказывает состояние поверхности породы, в которую проникает вода. Загрязнение пор и заиливание поверхности резко уменьшают скорость инфильтрации. Чтобы избежать заиливания дна, для наливов следует использовать только чистую воду, не содержащую взвешенных частиц. При наливках в шурфы необходимо следить за тем, чтобы не была нарушена структура поверхностного слоя породы в дне шурфа как при подготовке к опыту, так и в процессе его проведения. При медленном заполнении шурфа водой воздух вытесняется из пор и трещин, не разрушая структуры породы.

Температура воды влияет на ее вязкость и, следовательно, на результаты налива. Кроме того, холодная поверхностная вода, согреваясь в более теплой породе, выделяет растворенный воздух, что повышает содержание заземленного воздуха в зоне просачивания и уменьшает водопроницаемость породы.

Все используемые в настоящее время методы определения коэффициента фильтрации опытными наливами в шурфы разработаны для случая, когда инфильтрация происходит в однородном пласте горной породы и глубина залегания уровня грунтовых вод от дна шурфа превышает сумму глубины просачивания во время опыта и высоты капиллярного поднятия. Поскольку инфильтрационные опыты обычно длятся несколько дней, можно считать, что при глубине от дна опытного зумпфа до уровня грунтовых вод порядка 5 м уже исключается влияние грунтовых вод на скорость инфильтрации.

Опыт документируют в журнале опытного налива в шурф, в котором имеются следующие разделы: 1) технические данные; 2) схема проведения опыта; 3) наблюдения за наливом; 4) графики изменения расхода и общего объема воды во времени; 5) Табл. результатов налива в шурф; 6) вычисление коэффициента фильтрации; 7) дневник работ; 8) замечания руководителя работ.

Результаты опыта обрабатывают на сводном листе налива в шурф, на котором помещают: 1) схему участка; 2) геологический разрез участка; 3) графики изменения влажности грунта с глубиной; 4) таблицу технических данных; 5) графики изменения расхода и общего объема воды во времени; 6) расчетные таблицы.

**Метод Болдырева.** Метод разработан на основе двух предположений: 1) горизонтальное сечение потока, инфильтрующегося из шурфа, не изменяется с глубиной и равно горизонтальному сечению шурфа, т.е. растекания нет; 2) при небольшой глубине просачивания, соответствующей стабилизации расхода воды из шурфа, и малой толщине слоя воды в шурфе напорный градиент потока, инфильтрующегося из шурфа, близок к единице, и скорость инфильтрации может быть численно приравнена к коэффициенту фильтрации  $k$ .

Поскольку метод не учитывает растекание потока и влияние капиллярных сил, его можно применять только в сильно водопроницаемых изотропных породах – крупнозернистых песках, гравийно-галечниковых отложениях, породах зоны выветривания скальных массивов, характеризующихся относительно равномерной беспорядочной трещиноватостью и т.п.

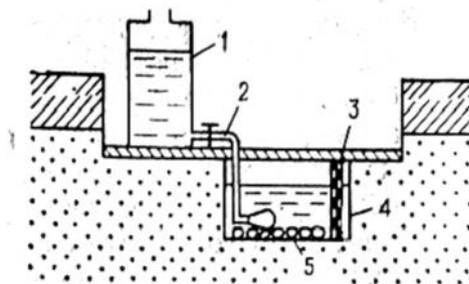


Рис. 81. Установка для опыта методу Болдырева:

1 – бак с водой; 2 – трубка; 3 – водомерная рейка; 4 – металлическое рейка;  
5 – слой гравия на дне зумпфа

Последовательность операций при проведении опыта приведена ниже.

1. В дне шурфа сечением 1x1,5 м устраивают опытный зумпф диаметром 0,35–0,5 м и глубиной 0,2–0,25 м (рис.81). В крупнообломочных породах сечение зумпфа можно увеличить, сообразуясь с реальной возможностью обеспечить бесперебойную подачу требуемого количества воды.

2. Проводят детальное геологическое описание шурфа. Геологический разрез шурфа и зарисовку его дна вычерчивают на листе миллиметровой бумаги, который подшивают в журнал опытного налива.

3. Стенки зумпфа закрепляют металлическим цилиндром, диаметр и высота которого соответствуют размерам зумпфа. Пространство между цилиндром и стенками зумпфа заполняют влажной глиной.

4. Дно зумпфа выравнивают, зачищают и, чтобы предохранить от размыва и заиления, покрывают слоем мелкого гравия толщиной 2–3 см. К стенке зумпфа прикрепляют водомерную рейку длиной 0,2–0,25 м, нуль которой должен совпадать с дном шурфа.

5. Для подачи воды в зумпф устанавливают тарированный бак с водомерной трубкой или поплавковым уровнемером. Рекомендуется пользоваться сдвоенными мерными баками вместимостью 70 л каждый, которые соединены трехходовым краном и снабжены стеклянными водомерными трубками. Использование сдвоенных баков обеспечивает непрерывность подачи воды в зумпф. Вода из бака подается в зумпф по надетой на кран бака гибкой трубке такой длины, что ее нижний конец свободно лежит на дне зумпфа. Во избежание размыва грунта в зумпфе к нижнему концу трубки прикрепляют разбрызгива-

тель – сетку или мешочек с гравием. Конец трубки с разбрызгивателем привязывают к дощечке, по которой будет растекаться вода.

6. Заполняют зумпф водой на 10 см. Чтобы уменьшить количество заземленного воздуха в опробуемой наливом породе и не допустить разрушения дна зумпфа вытесняемым из породы воздухом, скорость подъема уровня должна быть не более 0,5 см/мин.

Заполнив зумпф водой до установленного уровня, в дальнейшем поддерживают этот уровень постоянным: допустимы колебания не более  $\pm 1$  см. Постоянство уровня воды в процессе налива достигается регулированием расхода воды с помощью автоматического регулятора уровня, который после заполнения зумпфа водой прикрепляют к нижнему концу подающей воду трубки (вместо разбрызгивателя) и устанавливают на требуемой высоте над дном зумпфа.

При отсутствии автоматического регулятора расход регулируют краном бака или зажимом, надетым на гибкую трубку. Для наблюдения за уровнем воды по рейке, установленной в зумпфе, в течение всего опыта в шурфе должен находиться наблюдатель. Другой наблюдатель регулирует расход воды из бака, обеспечивает непрерывность ее подачи и документирует опыт.

7. Расход воды замеряют с интервалами от 10 до 20 мин в зависимости от скорости водопоглощения. Наблюдения ведут до стабилизации расхода, который считают установившимся если в течение 2 ч он не отклоняется от среднего расхода более чем на 10%.

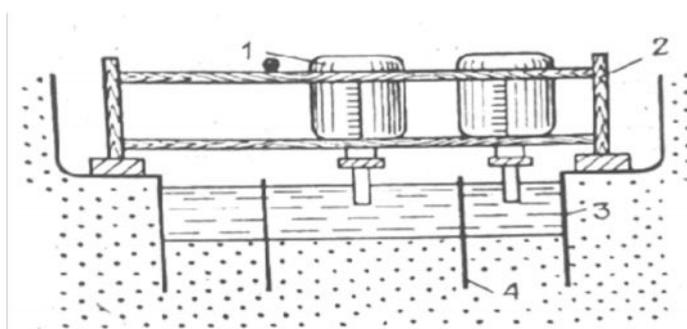


Рис. 82. Установка для опыта по методу Нестерова:  
1 – сосуд Мариотта; 2 – штатив; 3 – наружное кольцо ( $d = 50$  см);  
4 – внутреннее кольцо ( $d = 25$  см)

Наблюдения при наливке записывают в журнал. В процессе опыта составляют график зависимости расхода от времени, который вычерчивают на миллиметровой бумаге и вшивают в журнал опытного налива.

8. Коэффициент фильтрации  $k$  вычисляют по формуле

$$K = Q/F,$$

где  $Q$  – установившийся расход, м<sup>3</sup>/сут;

$F$  – фильтрующая площадь, м<sup>2</sup>.

Для зумпфа с закрепленными водонепроницаемыми стенками

$$F = \frac{3,14d^2}{4} \quad (152)$$

для зумпфа с фильтрующими стенками

$$F = \frac{3,14d^2}{4} + 3,14dH_0, \quad (153)$$

где  $d$  – диаметр зумпфа, м;

$H_0$  – высота столба воды в зумпфе, м (обычно  $H_0 = 0,1$  м).

При камеральной обработке результатов опыта составляют сводный лист опытного налива в шурф по схеме, описанной выше.

**Метод Нестерова.** Этот метод основан на предположении, что при инфильтрации воды из двух цилиндров, расположенных концентрически и заполненных водой на одинаковую высоту, на растекание расходуется вода из внешнего цилиндра, а поток воды из внутреннего цилиндра направлен прямо вниз. Считается, что, поскольку растекания этого потока не происходит, он имеет постоянное сечение, равное сечению цилиндра, а линии токов взаимно параллельны и вертикальны. В этих условиях при установившемся расходе воды из внутреннего цилиндра и малой высоте столба воды в нем можно приравнять градиент инфильтрационного потока из внутреннего цилиндра к единице, а скорость инфильтрации – к коэффициенту фильтрации.

Чтобы данное предположение было допустимо, соотношение диаметром внешнего и внутреннего цилиндров должно быть не меньше, чем 2. Обычно изготавливают металлические цилиндры диаметром 0,5 и 0,25 м, высотой 0,2–0,25 м и жестко скрепляют их, поместив точно концентрически один в другом. Рассматриваемый метод применим для наливов в мелкозернистые и глинистые породы. Последовательность операций при проведении опыта описана ниже.

1. Проходят и документируют шурф и опытный зумпф.

2. В тщательно выровненное и зачищенное дно опытного зумпфа осторожно вдавливают на глубину 5–6 см два цилиндра, расположенных концентрически (рис.82). При погружении цилиндров не должна быть нарушена структура породы в дне зумпфа и замазаны ее поры. После установки цилиндров дно зумпфа покрывают защитным слоем мелкого гравия толщиной 2–3 см.

3. Одновременно и с одинаковой скоростью (не более 0,5 см/мин) заполняют оба цилиндра водой на 10 см от дна. При этом соблюдают все предосторожности, указанные выше.

4. Уровень воды в цилиндрах доводят до требуемой высоты, и в дальнейшем поддерживают его. Требование равенства уровней воды в цилиндрах должно строго соблюдаться, поэтому после наполнения их водой уровень обязательно должен регулироваться автоматически.

Для регулирования уровней могут быть использованы сосуды Мариотта или автоматические регуляторы других типов. Сосуд Мариотта представляет собой бутылку вместимостью 2–5 л. Его заполняют водой, закрывают пробкой с отверстием, в которое вставлена короткая трубка, и опрокидывают горлом вниз над заполненным цилиндром. При опрокидывании сосуда отверстие трубки закрывают пальцем, и конец трубки погружают на 1–2 см в воду. Один сосуд устанавливают над внутренним цилиндром, другой – над кольцевым зазором между внутренним и внешним цилиндром (см. рис.79). Сосуд, установленный над внутренним цилиндром, должен быть протарирован и снабжен шкалой для замера расхода выливающейся воды. Когда вода из сосудов израсходована, их немедленно заменяют другими, наполненными водой.

При использовании автоматических регуляторов другого типа необходимо подавать воду в каждый цилиндр из отдельного бака. Бак, из которого вода поступает во внутренний цилиндр, должен быть протарирован и снабжен водомерной трубкой.

5. Во время опыта замеряют и записывают в журнал опытного налива расход воды, затраченной на инфильтрацию в дно внутреннего цилиндра. Интервал между замерами расхода воды изменяется в зависимости от скорости водопоглощения от 10 до 20 мин. В процессе опыта строят график изменения расхода во времени.

6. По окончании опыта немедленно демонтируют установку, откачивают воду из зумпфа и в центре его проходят скважину глубиной 3–4 м для определения глубины просачивания. Другую скважину бурят до той же отметки на расстоянии 3–5 м от зумпфа. Из скважин через каждые 0,2 м отбирают пробы породы для определения влажности. По полученным лабораторным данным во время камеральной обработки строят совмещенные графики изменения влажности породы с глубиной для обеих скважин и определяют по ним, до какой глубины просочилась вода из зумпфа. Иногда можно определить глубину просачивания по изменению окраски породы во время проходки

скважины в зумпфе. Ее следует записать в графе «Описание породы» и проверить позднее по лабораторным данным.

Контрольные скважины документируют. Их геологические разрезы вычерчивают на отдельном листе миллиметровой бумаги и подшивают в журнал опытного налива.

7. Коэффициент фильтрации рассчитывают по формуле

$$k = \frac{Qh}{E(H_0 + H_k + h)}, \quad (154)$$

где  $Q$  – установившийся расход, м<sup>3</sup>/сут;

$h$  – глубина просачивания воды во время опыта, м;

$F$  – площадь горизонтального сечения внутреннего цилиндра, м<sup>2</sup>;

$H_0$  – высота воды в зумпфе, м;

$H_k$  – капиллярный подъем воды, м.

При камеральной обработке результатов опыта составляют сводный лист опытного налива в шурф по схеме, описанной выше.

## Глава 22. Изучение режима подземных вод, направления и скорости их движения

**Изучение режима подземных вод.** Основные показатели каждого водоносного горизонта – уровень, дебит, химический состав и температура воды – не остаются постоянными, а изменяются под влиянием естественных и искусственных факторов (климат, колебания уровня водоема, откачки из колодцев и т.д.). Это изменения необходимо учитывать при расчетах притока воды в строительные котлованы, определении фильтрационных потерь, прогнозировании изменений уровня подземных вод по берегам водохранилищ и решении целого ряда других практических задач, возникающих при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений.

Наблюдения за изменениями основных показателей водоносных горизонтов во времени называются режимными гидрогеологическими. Одна из главных задач их – установление закономерностей связи водоносных горизонтов с рекой или другим открытым водоемом, а также между собой.

Для режимных наблюдений используют все существующие водопункты (скважины, колодцы, источники) и создают режимную сеть специально оборудованных пьезометрических скважин. Одновременно на реках и водоемах устраивают водомерные посты.

Наблюдения за режимом подземных вод проводят на всех стадиях и этапах проектирования. При составлении схемы использования реки они обычно бывают кратковременными (до года) и проводятся главным образом по существующим источникам и колодцам. На последующих стадиях продолжительность и детальность их возрастают, и в состав режимной сети включают специально оборудованные скважины. В естественных гидрогеологических условиях продолжительность стационарных наблюдений должна быть не менее полутора лет, поскольку они должны отразить все изменения режима подземных вод в течение года.

Наблюдения за режимом подземных вод надо проводить не только во время изысканий, но и в период строительства и эксплуатации сооружений, так как именно в это время происходит наиболее существенные изменения основных показателей водоносных горизонтов, вызванные проходкой котлованов, туннелей и других строительных выемок, а также заполнением водохранилищ и каналов.

Схему расположения скважин режимной сети выбирают таким образом, чтобы по ним можно было наблюдать все изменения режима, вызванные естественными или искусственными причинами. Обычно наблюдательные скважины располагают по поперечникам, направленным перпендикулярно к берегу водоема или борту котлована. Самые дальние скважины должны находиться на таком расстоянии от дрены, на котором колебания уровня воды затухают. Расстояние между поперечниками и скважинами на каждом из них должны быть достаточным для построения в необходимом масштабе карт гидроизогипс, графиков химического состава воды и других материалов, характеризующих режим подземных вод.

Перед началом создания режимной сети составляют схему расположения наблюдательных скважин и проект бурения и оборудования каждой из них. В схеме должны быть учтены все существующие водопункты, а также предусмотрена возможность дальнейшего развития и детализации режимной сети после перехода к следующей стадии проектирования, в строительный период и при передаче сооружения в эксплуатацию. Глубина пьезометрических скважин зависит от глубины залегания водоносных горизонтов, за которыми предполагается вести наблюдения. Если изучают несколько водоносных горизонтов, за которыми предполагается вести наблюдения. Если изучают несколько водоносных горизонтов, расположенных на разной глубине, то для каждого из них желательно пробурить и оборудовать

отдельную скважину, так как при ярусном расположении в одной скважине нескольких пьезометров возможно нарушение изоляции водоносных горизонтов.

При составлении проекта пьезометрических скважины необходимо правильно подобрать длину, конструкцию и тип фильтра, который надо располагать в наиболее проницаемых породах водоносного пласта. Изоляцию водоносных горизонтов, подбор и установку фильтров в пьезометрических скважинах делают так же, как при опытной откачке. У устья каждой пьезометрической скважины оборудуют нулевую точку, от которой производят все замеры глубины. В ходе работ периодически делают контрольное нивелирование.

Диаметр труб фильтровой колонны пьезометрических скважин обычно принимают 50–60 мм. Верхний конец их, оборудованный специальным запором, должен находиться на 0,5–1 м выше устья скважины. Во избежание просачивания поверхностных вод в скважину вокруг трубы необходимо создать замок из глины глубиной до 7 м. Для самоизливающихся скважин верхний конец трубы располагают несколько выше отметки напора. При напорах, превышающих 2 м над уровнем земли, скважину закрывают оголовком, имеющим запорный вентиль и два отвода. На одном из них устанавливают манометр, а другой служит для измерения дебита воды. В промежутках между замерами вентиль запирают, а манометр снимают. Для предохранения пьезометрических скважин от повреждений их можно оборудовать специальными запирающимися будками.

Перед сдачей в эксплуатацию на пьезометрическую скважину составляют технический паспорт, в котором приводят ее геолого-технический разрез и другие необходимые сведения.

Для измерения уровня и температуры воды в скважинах используют те же приборы, что и при опытных откачках. При наличии надежно запирающейся будки у устья скважины она может быть оборудована самописцем уровня. Пробы воды на химические анализы отбирают в соответствии с правилами, изложенными в разд. 6.7.

*Частота наблюдений* за режимом подземных вод устанавливается техническим заданием руководителя работ в зависимости от особенностей режима каждого водоносного горизонта, амплитуды колебания его уровня и поставленных задач. В период изысканий в пьезометрических скважинах, расположенных вблизи берега реки, замеры уровня в межень можно проводить через 3 – 5 дней, а в более удаленных точках – через 5 – 10 дней. В период резких колебаний уровня

реки наблюдения надо вести ежедневно. Дебит самоизливающихся скважин обычно определяют не чаще чем 2 раза в месяц. Пробы воды на химический анализ отбирают не реже 4 раз в год, чтобы можно было проследить изменения состава воды во все сезоны. Во время откачки из котлованов или в период заполнения водохранилища наблюдения за уровнем подземных вод надо проводить не реже одного раза в сутки. Они могут сопровождаться отбором проб воды на химический анализ или для определения содержания взвешенных частиц.

*Наблюдения на источниках* включают измерение дебита и температуры, а также определение химического состава подземных вод. Результаты этих наблюдений помогают выявить и охарактеризовать имеющиеся в районе водоносные горизонты и оценить водопроницаемость пород, а в карстовых и сильно трещиноватых породах установить сосредоточенные пути фильтрации. Большое значение эти наблюдения имеют на действующих гидротехнических сооружениях, когда необходимо определить размеры фильтрационных потерь в районе плотины или в зоне водохранилища.

Перед началом наблюдений все источники, включенные в режимную сеть, нумеруют, наносят на карту, обследуют, описывают и оборудуют для наблюдений. После завершения этих работ на каждый источник составляют паспорт, в котором помещают зарисовку планового положения источника и геологический разрез участка его выхода, а также все основные сведения об источнике.

Прежде всего делают *каптаж источника*, цель которого сосредоточить выход воды таким образом, чтобы можно было замерять его дебит. Для этого в зависимости от характера выхода может быть сделана расчистка устья источника, построена небольшая запруда или отводная канавка и т.д. При устройстве каптажа надо следить за тем, чтобы не нарушить естественный режим источника, не создать подпор и не дать воде уйти в сторону.

Если дебит источника не превышает 2 л/с, то измерение его желательно вести мерным сосудом (ведром, стеклянной банкой) объем которого выбирают в зависимости от расхода воды. Для измерения этим способом при каптаже источника необходимо установить сливной лоток или трубку, под которую можно поставить мерный сосуд. При замерах дебита надо каждый раз проверить состояние каптажа, убедиться в том, что вся вода, выходящая из источника, поступает в лоток и что уровень, на котором происходит слив, не изменился. В

противном случае результаты определения дебита будут неправильными.

Если дебит источника составляет 2 -10 л/с, то его измеряют с помощью *водослива*, который представляет собой железный лист с вырезом для стока воды. Водослив устанавливают в канавке, отводящей воду от источника, с соблюдением следующих требований: стенка водослива должна быть вертикально и перпендикулярна к потоку; края выреза в стенке должны быть не толще 2 мм; перед водосливом должен быть оборудован отстойный бассейн, а уровень воды за водосливом должен быть ниже его порога.

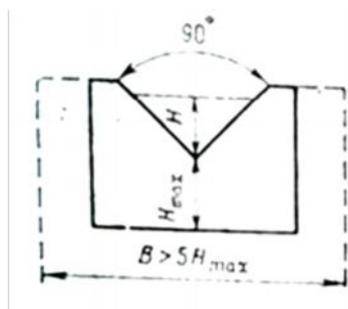


Рис. 83. Водослив Томсона

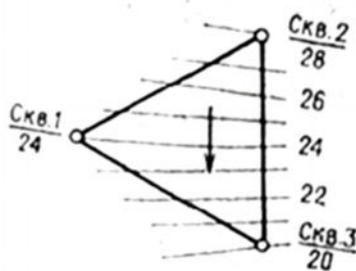


Рис. 84. Схема размещения наблюдательных скважин при определении направления движения подземных вод (показано стрелкой)

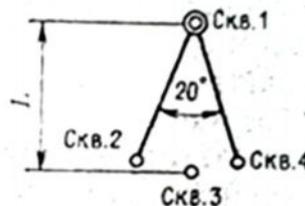


Рис. 85. Схема размещения скважин при определении скорости движения подземных вод: скв. 1 – пусковая; скв. 2, 3, 4 – наблюдательные между пусковой и наблюдательной скважинами

Наиболее часто употребляют водосливы Томсона, имеющий треугольный вырез (рис.83). Кроме того, используют водосливную рамку с прямоугольным вырезом.

Водослив Томсона устанавливают при выходе потока из бассейна, ширина которого  $B$  должна не менее чем в 5 раз превышать наибольший напор на водосливе  $H_{max}$ . В водоеме на расстоянии 0,8 – 1,5 м от водослива устанавливают водомерную рейку, по которой определяют толщину слоя воды  $H$ , переливающейся через водослив. Нулевая отметка рейки должна находиться точно на уровне вершины прямого угла выреза водослива. Деления на рейке наносят через 2 мм. Расход источника рассчитывают по формуле:

$$Q = 1,4h^2\sqrt{h} \quad (155)$$

где  $h$  – напор, измеряемый по рейке, м.

При расходе источника более 10 л/с его дебит измеряют с помощью поплавков, вертушек и других приборов, применяемых при гидрогеологических изысканиях.

*Полевые записи* режимных гидрогеологических наблюдений ведут в специальных журналах и переносят в ведомости, хранящиеся в камеральном бюро. При проведении наблюдений необходимо отмечать все обнаруженные нарушения в оборудовании скважины или источника, по возможности устранять их, если это невозможно, сообщить о них руководителю работ. Пьезометрические скважины надо регулярно, не реже одного раза в год, прочищать и прокачивать. Если прочистить скважину не удастся, следует заменить фильтр или пробудить новую скважину.

В результате режимных наблюдений строят графики изменения уровня, температуры, дебита и химического состава подземных вод. По эти материалам составляют карты гидроизогипс, гидрохимические карты, профили и другие графические материалы.

**Определение направления движения подземных вод.** Направление движения подземных вод совпадает с уклоном поверхности их уровня. Оно не остается постоянным, и изменяется в зависимости от условий питания и дренирования водоносного горизонта. Например, в долинах большинства равнинных рек во время межени река дренирует подземные воды, и поэтому их движение направлено в сторону ее русла. При наступлении паводка река питает водоносные горизонты и поток подземных вод меняет свое направление.

Для определения направления подземного потока на небольшой территории в однородных пластах рыхлых пород проходят три скважины, расположенные по вершинам правильного треугольника со сторонами 50 -200 м. Скважины оборудуют для режимных наблюдений, нивелируют их устье с точностью до 0,5 см и измеряют в них уровень подземных вод в течение нескольких дней. На основании данных этих наблюдений строят карту гидроизогипс в масштабе 1:1000, на который проводят изолинии через 0,1 – 0,25 м и определяют направление движения подземных вод, которое всегда перпендикулярно к горизонталям и происходит от большей отметки к меньшей (рис. 84).

Определение скорости фильтрации. Существует много методов, из которых наиболее распространенными являются индикаторные. Кроме того, используются геофизические методы, которые рассмотрены в специальных руководствах.

При использовании *индикаторных методов* запускают какой либо индикатор (краску, раствор, соли) в одну скважину и наблюдают за его появлением концентрацией в другой скважине, расположенной ниже по направлению движения подземного потока. Если породы слабопроницаемы и направление движения потока выражено не явно, то опыты проводят во время кустовой откачки, когда искусственно создаются повышенные градиенты подземного потока. Индикатор запускают в наблюдательную скважину и улавливают в центральной.

Для проведения опыта с индикаторами можно создать специальный куст из четырех скважин. Одна из них – *пусковая* – служит для запуска индикатора, а три остальные – *наблюдательные* – для улавливания его. Расстояние между пусковой и наблюдательной скважинами выбирают в зависимости от фильтрационной способности пород. В породах, медленно и слабо проводящих воду (суглинки, супеси), скорости течения в порах настолько малы, что определить их практически невозможно. Схема расположения пусковой и наблюдательных скважин приведена на рис.85. Примерные максимальные расстояния  $l$  (в м) между пусковой и наблюдательными скважинами при опытах с индикаторами в различных водоносных породах приведены ниже:

Суглинки .....	0,5 – 1,5
Супеси, тонкозернистые пылеватые пески.....	1 – 3
Среднезернистые пески.....	2 – 4
Крупнозернистые.....	3 – 8

Если требуется определить направление движения подземных вод для большей территории, то строя карту гидроизогипс по данным режимных наблюдений и, восставив перпендикуляры к гидроизогипсам, устанавливают направления подземного потока для каждого участка.

В случае необходимости вычислить уклон подземного потока  $I$  берут разность отметок гидроизогипс в двух точках  $h$  и делят ее на расстояние между этими точками  $l$ :

$$I = h/l \quad (156)$$

Действительная скорость движения подземных вод представляет собой скорость движения воды в порах и трещинах, пронизывающих собой породу. Определение ее необходимо для оценки возможности суффозионных явлений, выяснения путей фильтрации в закарстованных и сильно трещиноватых породах и для других целей. Действительная скорость движения подземных вод больше фиктивной, или кажущейся, скорости, при вычислении которой расход относят ко всей фильтрующей площади, а не к ее проницаемой части – порам и трещинам.

Действительные скорости фильтрации подземных вод очень малы и изменяются в широких пределах в зависимости от пористости и трещиноватости пород и гидравлического градиента подземного потока. Ориентировочные значения максимальной действительной скорости (в м/сут) движения подземных вод при градиентах 0,001 – 0,01 следующие:

Закарстованные породы .....	50
Трещиноватые породы .....	20
Крупнозернистые пески и галечники .....	3
Среднезернистые пески.....	1
Гравелистые пески, галечники, трещиноватые породы .....	до 20

Если в качестве индикатора используют соль, то улавливать ее можно химическим или электролитическим способами. Наиболее часто в качестве индикатора применяют хлористый натрий (поваренную соль) и реже – хлористый аммоний или хлористый кальций. Необходимое для проведения опыта количество соли меняется в зависимости от ее состава, но оно должно быть тем больше, чем больше расстояние между скважинами. Ориентировочно можно считать, что хлористого натрия требуется 10–15 кг, хлористого кальция – 5–10 кг и хлористого аммония – 3–5 кг.

Соль вводят в выработку в виде концентрированного раствора. Если сечение пусковой выработки мало и объем влитого в нее раствора может резко повысить уровень воды, то откачивают из скважины воду в соответствующем объеме и быстро заливают раствор. При глубине уровня воды 2–3 м раствор вливают в скважину сверху через колонну фильтровых или обсадных труб. При большей глубине его можно заливать через специально опущенную колонну труб или через шланг, а также с помощью специального сосуда с открывающим-

ся дном, который опускают в скважину ниже уровня подземных вод. Залив раствор, его перемешивают с водой, находящейся в скважине, и с этого момента начинают наблюдения за изменением концентрации раствора в пусковой и наблюдательных скважинах. До начала опыта делают первое измерение содержания хлор-иона в естественной подземной воде.

При химическом способе из скважин отбирают пробы воды с помощью батометров в объеме  $50 \text{ см}^3$  и титрованием определяют количества содержащегося в ней хлор-иона. В начале опыта пробы берут через каждые 2–3 ч, а за некоторое время до вероятного момента появления раствора интервалы между отбором проб в наблюдательных скважинах уменьшают до 15–30 мин. В зернистых породах наблюдения прекращают после прохождения максимума концентрации соли в воде, а в скальных трещиноватых и закарстованных породах их следует продолжать до полного прохождения индикатора, так как возможно повторное увеличение концентрации раствора.

В процессе опыта строят график изменения содержания хлора во времени. Для вычисления скорости движения подземных вод принимают время появления индикатора или время прохождения максимума его концентрации. Действительную скорость движения подземных вод и вычисляют по формуле:

$$U = l/t, \quad (156)$$

где  $l$  – расстояние между пусковой и наблюдательной скважинами, м;

$t$  – продолжительность времени фильтрации, сут.

**Электролитический способ** определение действительной скорости движения подземных вод основан на уменьшении электрического сопротивления раствора соли при увеличении ее концентрации. Для измерения концентрации хлор-иона в наблюдательные скважины на проводах опускают электрод, который представляет собой металлический стержень, покрытый с боков изоляцией. Провода включены в электрическую цепь, в состав которой входят источник питания (батареи), миллиамперметр, измеритель сопротивления (реостат), обсадные трубы или фильтр скважины. При соприкосновении электрода с водой цепь замыкается, и измеряют сопротивление воды. Чтобы следить за движением раствора соли, кроме этого измеряют сопротивление подземных вод между пусковой и наблюдательными скважинами по схеме, изображенной на рис. 6.26. По мере приближения раствора соли к наблюдательной скважине это сопротивление будет снижаться.

При обработке материалов наблюдений строят графики изменения сопротивления воды в наблюдательных скважинах и по ним фиксируют момент прихода в скважину раствора и максимум его концентрации. Скорость фильтрации определяют так же, как при использовании химического способа.

**Колориметрический способ** основан на определении времени прохождения раствора красящего вещества между двумя скважинами. Его можно применять независимо от содержания в породе соли, в то время как химический способ в засоленных породах использовать нельзя. Содержание красящего вещества в наблюдательной скважине определяют с помощью флюороскопа, который представляет собой набор из десяти стеклянных трубок длиной 50 см и диаметром 2 см, закрытых с одной стороны черными резиновыми пробками. Трубки заполняют раствором красящегося вещества различной концентрации (0; 0,0005; 0,001; 0,005; 0,05; 0,5; 1 и 5%) и устанавливают через одно отверстие в штативе. Водой, взятой из наблюдательной скважины, заполняют пустую трубку и, помещая ее последовательно около каждой заполненной трубки, сравнивают окраску воды с эталоном и определяют концентрацию краски в пробе. Если вода пробы мутная, то ее предварительно фильтруют. Отобранные пробы должны быть защищены от света.

Выбор краски для опыта зависит от реакции воды. В щелочных водах следует использовать флюоресцеин, эозин, красное конго, а в кислых – метиловую синьку и анилиновую голубую.

Красящие вещества для запуска в скважину растворяют в щелочи (в нашатырном спирте) из расчета 2–4 см<sup>3</sup> щелочи на 1 г краски или в слабой уксусной кислоте. Перед запуском краски отбирают пробы воды из скважин и определяют ее прозрачность и окраску. После этого запускают краску в пусковую скважину и регулярно берут пробы в наблюдательных. В остальном опыт и обработка его результатов проводят так же, как и при использовании химического способа. На графике прохождения индикатора откладывают интенсивность окраски воды, взятую по эталонным трубкам. Количество красящего вещества, необходимые для опыта, приведено в табл. 27.

Красящее вещество	Количество красящего вещества в граммах сухой навески на каждые 5 м пути фильтрации	
	для рыхлых пород	для трещиноватых и закарстованных пород
Флюоресцеин, флюорантон, эозин	1-5	1-10
Эритрозин	5-15	5-20
Красная конго, метиловая синька, анилиновая голубая	10-30	10-40
Понсо красная 2	5-15	5-20

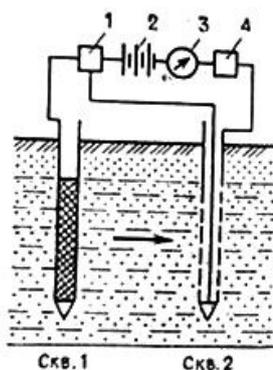


Рис. 86. Схема измерения электрического сопротивления между пусковой 1 и наблюдательной 2 скважинами: 1 – коммутатор; 2 – батарея; 3 – миллиамперметр; 4 – реостат

## Глава 23. Гидрогеологические исследования для целей водоснабжения (материалы О.К.Шуляковой)

Подземные воды используются в народном хозяйстве для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, орошения и обводнения, энергетических целей теплофикации, лечебных целей, в качестве столовых минеральных вод и как сырье для извлечения ценных компонентов. Особенно острым является вопрос обеспечения водой населения для хозяйственно-питьевых нужд. Потребность в воде для водоснабжения вновь создаваемых и расширяющихся городов, промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов в нашей стране непрерывно возрастает.

Подземные воды имеют определенные преимущества перед поверхностными: распространены почти повсеместно, имеют высокое качество, менее подвержены опасности радиоактивного, химического и бактериологического загрязнения. В силу этого они предназначены прежде всего для удовлетворения питьевых и бытовых нужд населения. Доля подземных вод в обеспечении хозяйственно-питьевого водоснабжения уже сейчас превышает 50%.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения используется пресные воды, требования к их качеству регламентируются ГОСТ 2874-73.

Проект использования подземных вод для водоснабжения по каждому объекту согласуется с органами санитарно-эпидемиологической службы и органами по использованию и охране водных ресурсов на территории.

Сооружения для забора подземных вод должны надежно обеспечивать прием (захват) потребного количества подземных вод и подачу воды в водоводы. Тип и схему размещения водозаборных сооружений следует выбирать с учетом геологических и гидрогеологических условий на основе технико-экономического расчета.

### **23.1 Определения потребностей в воде и количества скважин водозабора для различных объектов**

Для расчета количества скважин водозабора необходимо располагать данными о проектных эксплуатационных дебитах скважин и потребности в воде для объекта. Проектные эксплуатационные дебиты скважин выбираются на основании опыта эксплуатации скважин в районе разведки с учетом возможной экстраполяции понижений.

Заявки на потребное количество воды для водоснабжения того или иного объекта составляются управлениями коммунального хозяйства при областных, городских или поселковых Советах народных депутатов или рассчитываются проектными организациями. Количество воды рассчитывается по нормам хозяйственно-питьевого водопотребления на одного жителя, нормам расхода воды для жилых и общественных зданий, расхода воды на поливку зеленых насаждений и на наружное пожаротушение.

Количество скважин будущего водозабора определяется делением заявленной потребности в воде на эксплуатационный дебит одной скважины по формуле

$$n = \frac{Q_{\text{потр}}}{Q_3} \quad (157)$$

Система расположения скважин группового водозабора выбирается в зависимости от граничных условий водоносного пласта в плане. Чаще всего устраивают линейные, площадные и кольцевые водозаборы. Расстояния между скважинами в водозаборе зависят от изменчивости литологического состава и фильтрационных свойств во-

довмещающих пород, гидравлического режима водоносного горизонта, условий восполнения эксплуатационных запасов и в каждом конкретном случае должны обосновываться гидрогеологическими расчетами.

Для каждого варианта при принятых количестве водозахватных со-оружений и расстояниях между ними гидрогеологическими расчетами устанавливается возможность получения нужного количества воды  $Q$  при понижениях уровня  $S$ , не выходящих за пределы максимально допустимых понижений уровня  $S_{дон}$ . Должно выдерживаться условие  $S \leq S_{дон}$ .  $S_{дон}$  принимается равной 60-80% от мощности водоносного пласта для безнапорных горизонта при эксплуатации напорных пластов высота напора.

**Пример.** Рассчитаем потребное количество воды для поселка в  $\text{м}^3/\text{сут}$  при следующих условиях.

1. Число жителей к 1990 г. предполагается 10 000.

2. Поселок будет застроен домами со всеми коммунальными удобствами – водопровод, канализация и централизованное горячее водоснабжение.

3. В поселке разместятся: а) гостиница с ваннами в отдельных номерах – на 200 человек; б) поликлиника на 20 посетителей одновременно; в) детские сады – 3 по 450 человек; г) столовая на 100 обедающих одновременно; д) баня на 200 посетителей; е) школа на 2000 учащихся; ж) кинотеатр на 700 зрителей по 3 сеанса в день.

4. Площадь, занятая поселком, примерно  $1,5 \text{ км}^2$  ( $1500 000 \text{ м}^2$ ), причем площадь, занятая зелеными насаждениями, равна примерно 70% от общей площади.

**Решение.** 1. Определяем количество воды для жителей, поселка с учетом коэффициента часовой неравномерности, равным 1,25.

$$0,200 \text{ м}^3/\text{сут} \times 1000 \times 1,25 = 2500 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

2. Для общественных зданий:

а) гостиница:  $0,200 \text{ м}^3/\text{сут} \times 200 \times 1,7 = 68 \text{ м}^3/\text{сут};$

б) поликлиника:  $0,015 \times 20 \times 1,0 = 0,30 \text{ м}^3$ ; с учетом пропускной способности поликлиники – 200 человек за рабочий день:

$$\frac{200 \text{ чел.}}{20 \text{ чел.}} \times 0,3 = 3 \text{ м}^3/\text{сут};$$

в) детские сады:  $0,100 \text{ м}^3/\text{сут} \times 1350 \times 3,0 = 405 \text{ м}^3/\text{сут};$

г) столовая (пропускная способность за рабочий день 700 человек):  $0,200 \text{ м}^3/\text{сут} \times 700 \times 1,5 = 21 \text{ м}^3/\text{сут};$

д) баня:  $0,150 \times 200 = 30 \text{ м}^3/\text{сут};$

е) школа:  $0,020 \times 2000 \times 2 = 80 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;

ж) кинотеатр:  $0,005 \times 700 \times 3 \times 2 = 21 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

3. На поливку зеленых насаждений, улиц, проездов:

$0,001 \times 1500 \times 0,7 = 10 \text{ 500 м}^3/\text{сут}$ .

4. На наружное пожаротушение из расчета застойки многоэтажными домами, возникновения одного очага пожара одновременно и времени пожаротушения – 3 ч:  $0,015 \text{ м}^3/\text{сут} \times 3600 \times 3 = 162 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

5. Общая потребность в воде составляет

$2500 + 68 + 3 + 405 + 21 + 30 + 80 + 21 + 10 \text{ 500} + 162 = 13 \text{ 790 м}^3/\text{сут}$ .

**Пример.** Рассчитаем количество скважин водозабора при заявленной потребности в воде  $10 \text{ 000 м}^3/\text{сут}$ . Заявленную потребность намечено удовлетворить за счет эксплуатации подземных вод нижне-сарматского водоносного комплекса. Дебит скважин, опробованных на стадии предварительных исследований. В среднем  $8 \text{ л/с}$  при понижении на  $5 \text{ м}$ . водоносный комплекс напорный, высота напора  $30 \text{ м}$ .

**Решение 1.** Учитывая возможность экстраполяции фактически полученного понижения в пределах  $2-3S_{\text{макс}}$ , достигнутого при откачках, определяем эксплуатационное понижение:  $S_a = 5 \text{ м} \times 3 = 15 \text{ м}$ .

2. Проектный эксплуатационный дебит, соответствующий эксплуатационному понижению, равен  $8 \text{ л/с} \times 3 = 24 \text{ л/с}$ .

3. Количество скважин водозабора определяем по формуле:

$$n = \frac{Q_{\text{потр}}}{Q_s} = \frac{10 \text{ 000}}{86,4 \cdot 24} = 5 \text{ скв.}$$

## Глава 24. Эксплуатационные запасы и методы их оценки

Разведка подземных вод должна проводиться в тесной связи с методикой оценки эксплуатационных запасов.

**Под эксплуатационными запасами** понимается количество воды в кубических метрах в сутки. Которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного срока водопотребления ( $25 \text{ лет}$  или  $10 \text{ 000}$ ). Оцениваются эксплуатационные запасы месторождений подземных вод, их отдельных участков, а также крупных гидрогеологических районов.

**Под месторождениями подземных вод** подразумевается такая часть площади распространения водоносных горизонтов или ком-

плексов. В пределах которой под влиянием естественных или искусственных факторов создаются благоприятные условия (по сравнению с окружающими площадями) для отбора подземных вод в количестве, достаточном для целесообразного их использования в народном хозяйстве.

Эксплуатационные запасы подземных вод могут обеспечиваться: 1) естественными запасами оцениваемого горизонта; 2) естественными ресурсами оцениваемого горизонта; 3) привлекаемыми ресурсами, формирующимися в процессе эксплуатации за счет перетекания подземных вод из других водоносных горизонтов и поверхностных водоемов; 4) искусственными запасами и ресурсами подземных вод, формирующимися при гидро-техническом строительстве, орошении земель и искусственном восполнении подземных вод.

Под естественными (емкостными) запасами понимается объем гравитационной воды в порах, трещинах и карстовых пустотах водомещающих пород. В естественных запасах безнапорных водоносных горизонтов выделяют объем гравитационной воды, находящейся в водомещающих породах в зоне колебаний уровня. Его называют регулировочным запасом.

В напорных пластах к естественным запасам относятся также так называемые *упругие запасы* – объем воды, которой может быть высвобожден из пласта при понижении в нем пластового давления. Эта часть запасов имеет весьма существенное значение в высоконапорных водоносных горизонтах.

Под естественными ресурсами понимается объем воды, идущий на питание водоносного горизонта в ненарушенных условиях. Естественные ресурсы равны сумме всех приходных элементов баланса данного горизонта (инфильтрация атмосферных осадков, фильтрация из рек и водоемов, перетекание из смежных горизонтов и др.). Они могут быть определены также по расходу подземного потока или по сумме расходных элементов баланса (испарение, родниковый сток, фильтрация в реки).

Если эксплуатационные запасы подземных вод полностью обеспечиваются в течение всего срока эксплуатации возобновляемыми источниками формирования (питания), эксплуатация водозаборов происходит при установившемся режиме фильтрации. В противном случае наблюдается неустановившийся режим фильтрации.

Эксплуатационные запасы подземных вод по их народнохозяйственному значению разделяют на две группы: балансовые запасы, ис-

пользование которых экономически целесообразно и которые должны удовлетворять условиям, т.е. требованиям к качеству вод для данного назначения и заданным условиям режима эксплуатации, и забалансовые запасы, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно (вследствие малого количества, несоответствия качества заданному назначению, особо сложных условий эксплуатации или технологии извлечения ценных компонентов), но они могут рассматриваться как объект использования в будущем.

Эксплуатационные запасы подземных вод подразделяются в зависимости от степени разведанности месторождений, изученности качества вод и условий эксплуатации на четыре категории: *A*, *B*, *C*<sub>1</sub> и *C*<sub>2</sub>. Подробная характеристика категорий запасов подземных вод дана в инструкции по применению эксплуатационных запасов подземных вод.

По геолого-гидрогеологическим условиям, определяющим методику проведения разведочных работ и подсчета эксплуатационных запасов, месторождения подземных вод могут быть разделены на основные типы.

- Месторождения в речных долинах;
- месторождения в артезианских бассейнах;
- месторождения в конусах выноса предгорных, шлейфов и межгорных впадин;
- месторождения в ограниченных по площади структурах или массивах трещинных и трещинно-карстовых пород и в зонах тектонических нарушений;
- месторождения в песчаных массивах пустынь и полупустынь;
- месторождения в надморенных и межморенных водно-ледниковых отложениях;
- месторождения в области развития многолетнемерзлых пород.

Из всех типов наиболее широко развиты и имеют наибольшее промышленное значение месторождения в речных долинах и артезианских бассейнах. Они составляют более 60% от общего числа разведанных месторождений.

По степени неоднородности фильтрационных свойств водоемщающих пород водоносные горизонты и комплексы могут быть разделены на условно однородные, неоднородные и весьма неоднородные. Для предварительной характеристики степени неоднородности пласта могут быть использованы данные по удельным дебитам скважин. В условно однородных пластах максимальные и минимальные

дебиты однотипно оборудованных скважин различаются не более чем в 5 раз, в неоднородных – в 5-10 раз и в весьма неоднородных – более чем в 10 раз.

Для выработки общих принципов методики разведочных работ и оценки эксплуатационных запасов в зависимости от сложности гидрогеологических условий все месторождения подземных вод могут быть подразделены на три обобщенные группы.

*Группа I.* Месторождения с простыми гидрогеологическими условиями. Подземные воды приурочены к спокойно залегающим коллекторам выдержанной мощности, представленным однородными (пористыми и равномерно трещиноватыми) породами.

*Группа II.* Месторождения со сложными гидрогеологическими условиями. Подземные воды приурочены к относительно спокойно залегающим коллекторам невыдержанной мощности или неоднородным по фильтрационным свойствам (неравномерно трещиноватым и закарстованным).

*Группа III.* Месторождения с очень сложными гидрогеологическими условиями. Подземные воды приурочены к весьма неоднородным по фильтрационным свойствам (неравномерно трещиноватым или закарстованным) коллекторам, имеющим локальное распространение, или пластам, невыдержанным по мощности и осложненным тектоническими нарушениями.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод проводится гидродинамическим, гидравлическим, балансовым методами, методом гидрогеологической аналогии либо комплексом перечисленных методов.

Суть гидродинамического метода заключается в расчетах водозаборных сооружений при принятых начальных и граничных условиях и параметрах водоносного горизонта в пределах рассматриваемой области фильтрации. Гидродинамические методы могут быть подразделены на аналитические и машинные.

Гидродинамические методы оценки эксплуатационных запасов наиболее целесообразно применять для месторождений первой и второй групп по сложности гидрогеологических условий. Для достаточно простых гидрогеологических условий (однородные фильтрационные свойства, прямолинейные границы водоносных пластов) следует использовать аналитические зависимости. Расчетные формулы выбираются в зависимости от принятой схемы водозабора и граничных

условий водоносного пласта. Этот вопрос широко освещен в работах Н.Н.Биндемана, Л.С.Язвина, Н.И.Плотникова и др. [11, 39,41].

В сложных гидрогеологических условиях, характеризующихся существенной неоднородностью гидрогеологических параметров, сложной конфигурацией границ пласта, Наиболее целесообразны методы *аналогового моделирования*.

Оценка эксплуатационных запасов *гидравлическим методом* заключается в определении расчетного дебита водозабора или прогнозных понижений в скважинах по эмпирическим данным, полученным в процессе опыта. Опытным путем определяют понижение уровня и срезки уровней во взаимодействующих скважинах при установившемся режиме. Этот метод может быть использован для оценки запасов в условиях обеспеченного, их восполнения, но при существенной неоднородности водовмещающих пород. В условиях неустановившейся фильтрации гидравлический метод применяют для оценки эксплуатационных запасов в основном месторождений III группы.

Гидравлический метод в сочетании с гидродинамическим может быть использован и при неустановившемся движении для месторождений II группы.

Оценка запасов балансовым, методом заключается в определении объема воды, который может быть отобран водозабором в течение того или иного срока эксплуатации за счет сработки естественных запасов, частичного или полного перехвата водозабором естественного потока. Этот метод вспомогательный и применяется при оценке эксплуатационных запасов низких категорий ( $C_2$ , иногда  $C_1$ ). Балансовый метод должен использоваться обязательно и в сочетании с гидравлическим или гидродинамическим при оценке обеспеченности эксплуатационных запасов более высоких категорий в ограниченных структурах.

Оценка запасов методом гидрогеологической аналогии заключается в определении модуля эксплуатационных запасов водоносного горизонта, устанавливаемого по данным эксплуатации действующих водозаборов.

Под *модулем эксплуатационных запасов* понимается расход, который может быть получен с единицы площади (а в долинах рек с единицы длины) водоносного горизонта. Для использования метода аналогии необходимо доказать идентичность гидрогеологических условий и источников формирования запасов.

## Глава 25. Требования к разведке и изученности месторождений подземных вод

Для планомерного выявления ресурсов подземных вод и во избежание неоправданных затрат необходимо соблюдать определенную последовательность в проведении поисково-разведочных работ. Выделяют три основные стадии: поисковую, предварительную и детальную разведки. В зависимости от потребности в воде, сложности гидрогеологических условий и степени их изученности отдельные стадии исследований могут быть совмещены или полностью исключены. Последнее должно быть обосновано.

Гидрогеологические исследования на каждой из стадий выполняются по проекту [31]. Результаты работ каждой из стадий – основа для составления проекта последующей стадии и проектирования водоснабжения. В результате проведения работ в различные стадии должны быть решены следующие вопросы.

*Поисковые работы* – поиски месторождений (участков) и в их пределах водоносных горизонтов, перспективных для постановки разведочных работ.

*Предварительная разведка* – изучение основных особенностей геолого-гидрогеологических условий месторождения (участка), предварительная оценка основных источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод и расчетных гидрогеологических параметров, выбор рациональной схемы водозабора, предварительная оценка эксплуатационных запасов подземных вод по низким категориям.

*Детальная разведка* – уточнение условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод, обоснование схемы и конструкции водозабора, оценка эксплуатационных запасов подземных вод по категориям, определяющим выделение капиталовложений на проектирование и строительство – новых или реконструкцию действующих водозаборов. Капитальные вложения выделяются при наличии на участке намечаемого водозабора утвержденных государственной комиссией по запасам полезных ископаемых эксплуатационных запасов подземных вод категорий *A* и *B*, обеспечивающих проектную производительность водозабора в течение расчетного срока водопотребления: запасы категории *A* должны составлять не менее 50%.

На участках с весьма сложным гидрогеологическим строением, где выявление запасов подземных вод категории *A* в процессе развед-

ки нецелесообразно, допускается проектирование и выделение капитальных вложений на строительство водозаборных сооружений на базе запасов категории *B* (главным образом месторождения III группы). Это допустимо также в случаях, когда выявленные запасы категории *B* на оцениваемом месторождении (участке) значительно (в 2–3 раза) превышают потребность в воде, при ожидаемых небольших затратах на сооружение водозабора (соизмеримых с затратами на разведку).

Достоверность определения эксплуатационных запасов существенно зависит от степени неоднородности фильтрационных свойств водо-вмещающих пород и от достоверности определения расчетных гидрогеологических параметров (связанной с количеством их определений). Поэтому на стадии детальной разведки всех типов месторождений подземных вод в пределах детально разведываемого водозаборного участка количество разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин, попадающих в схему водозабора, зависит от степени изменчивости фильтрационных свойств и должно составлять в относительно однородных пластах 15–20% (но не менее трех на водозаборный ряд), а в неоднородных – 40–50% от числа эксплуатационных скважин. В весьма неоднородных пластах на месте каждой проектной скважины должны быть пробурены разведочная или разведочно-эксплуатационная скважина.

### **Пример проекта гидрогеологических исследований для водоснабжения**

В качестве примера возьмем проект на детальную разведку подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения одного из населенных пунктов, расположенного в пределах артезианского бассейна. Исходными данными для составления проекта служат материалы, полученные на предварительной стадии.

В результате проведенных предварительных гидрогеологических исследований на участке был выявлен наиболее перспективный источник централизованного водоснабжения – силурийский водоносный комплекс. Данный водоносный комплекс в региональном плане развит на значительной площади. При схематизации природной обстановки для расчетов принята схема «неограниченный пласт».

На стадии предварительной разведки были пробурены и опробованы 3 скважины, вскрывшие силурийские отложения (в пределах

глубин 98–180 м на полную мощность – 81–82 м). Силурийский водоносный комплекс приурочен к трещиноватым и кавернозным известнякам, перекрытым сверху глинами сеномана и подстилаемым аргиллитами кембрия. Подземные воды напорные. Высота напора над кровлей пласта 48–50 м.

Минерализация воды силурийского водоносного комплекса 0,8–1,0 г/л, жесткость 1,2–3,6 мг·экв/л, по составу это гидрокарбонатные кальциевые воды.

Параметры пласта рассчитаны по данным двух опытных одиночных откачек и одной кустовой. Как более достоверные приняты данные кустовой откачки: водопродность  $T = k \cdot m = 192,5 \text{ м}^2/\text{сут}$ , коэффициент пьезопроводности  $\chi = 1,4 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$ .

Перед выбором объема и методики проектируемых работ были оценены эксплуатационные запасы подземных вод силурийского водоносного комплекса гидродинамическим методом. Производительность водозабора рассчитана путем определения понижения уровня воды в скважине, находящейся в наихудших условиях, на конечный срок эксплуатации.

Расчетный срок эксплуатации водозабора был принят равным  $10^4$  сут.

Размер понижения для условий «неограниченного пласта» определили по зависимости (126):

$$S = \frac{Q_{\text{проект}}}{4\pi km} \ln \frac{2,25\chi t}{r_k^2} = \frac{0,183Q_{\text{проект}}}{km} \ln \frac{2,25\chi t}{r_k^2}$$

где  $Q_{\text{проект}}$  – проектная производительность водозабора,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ; она принята равной (с учетом заявленной потребности)  $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;

$km$  – водопродность пласта,  $\text{м}^2/\text{сут}$  (принята равной  $192,5 \text{ м}^2/\text{сут}$ );

$k$  – коэффициент пьезопроводности пласта,  $\text{м}^2/\text{сут}$  (равен  $1,4 \cdot 10^5$ );

$t$  – расчетный срок эксплуатации водозабора, сут ( $10^4$ );

$r_k$  – расчетный радиус большого колодца.

Радиус большого колодца при принятой линейной схеме водозабора определяется по зависимости

$$r_k = 0,2l [6],$$

где  $l$  – длина ряда при линейной системе.

Для определения длины ряда рассчитали количество скважин водозабора при принятом эксплуатационном дебите  $Q_s = 648 \text{ м}^3/\text{сут}$  по формуле (153):

$$n = \frac{Q_{\text{нотр}}}{Q_s} = \frac{5000}{648} = 8_{\text{сква.}}$$

Расстояние между скважинами водозабора было принято равным 400 м. Поэтому

$$l = 400 \cdot (n - 1) = 400 \cdot 7 = 2800 \text{ м,}$$

$$r_K = 0,2 \cdot 2800 = 560 \text{ м,}$$

$$S = \frac{0,183 \cdot 5000}{192,5} \lg \frac{2,25 \cdot 1,4 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{560^2} = 19,0 \text{ м}$$

Определили дополнительное понижение, обусловленное сопротивлением самой скважины, по формуле [30]:

$$\Delta S_{\text{сква}} = \frac{Q_s}{2\pi km} \left( \ln \frac{r}{r_c} + \zeta \right)$$

где  $r_c$  – радиус скважины в м (принят 0,1 м),

$r_n$  – приведенный радиус некоторой условной области влияния данной скважины, равный для линейной системы:

$$r_n = \sigma / 2\pi;$$

где  $\sigma$  – расстояние между скважинами  $r_n = \frac{400}{2 \cdot 3,14} = 60 \text{ м;}$

$\zeta$  – фильтрационное сопротивление, принятое равным нулю для совершенных скважин:

$$\Delta S_{\text{сква}} = \frac{648}{2 \cdot 3,14 \cdot 192,5} 2,3 \lg \frac{60}{0,1} = 3,4 \text{ м}$$

Таким образом, общее понижение в центральной скважине водозабора на конец расчетного периода примерно равно 22,4 м (19 + 3,4) и эксплуатационные запасы 5000 м<sup>3</sup>/сут можно считать обеспеченными, так как расчетное понижение не превышает допустимого, равного высоте напора над кровлей водоносного горизонта (48 м).

На детальной стадии разведки проводятся буровые и опытные работы, геофизические, стационарные гидрогеологические наблюдения, топографические работы и лабораторные исследования.

*Буровые работы* – проходка разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин для организации кустовых откачек.

Исследуемый участок относится ко второму типу месторождений подземных вод (месторождение в артезианских бассейнах) и ко II группе (подземные воды приурочены к спокойно залегающим неравномерно трещиноватым коллекторам, поэтому количество разведочно-эксплуатационных скважин должно быть равным 50% от числа эксплуатационных скважин [25] (4 скважины).

Так как протяженность линейного ряда 2800 м, для определения гидрогеологических параметров пласта на участке необходимо заложить два куста – один куст на каждые 1000 м протяженности водозабора [39].

Глубина скважин при условии вскрытия водоносного пласта на полную мощность будет равна 180 м, поэтому для проведения кустовых откачек необходимо запроектировать наименьшее количество наблюдательных скважин – по три в каждом кусте. Общее количество скважин – десять (четыре разведочно-эксплуатационные и шесть наблюдательных). Общий метраж бурения  $180 \text{ м} \cdot 10 = 1800 \text{ м}$ . Порядок выбора конструкций скважин, типов фильтров, оборудования приводится в гл. 18.

*Опытные работы* включают пробные откачки из наблюдательных скважин, опытные одиночные из двух разведочно-эксплуатационных скважин и двух опытных кустовых из остальных разведочно-эксплуатационных скважин. Перед пробными и опытными откачками из всех скважин проводятся прокачки. Продолжительность одной прокачки 1 смена – 7 ч (по опыту работ). После прокачек наблюдают за восстановлением уровня.

Пробные откачки проводятся в течение 24 ч (3,43 смены). Время, затрачиваемое на прокачки и пробные откачки по всем скважинам, должно составить  $1 \text{ см} \times 10 + 3,43 \text{ см} \times 6 = 30,58 \text{ см}$ .

Характер и виды опытных откачек выбирают в зависимости от принятого метода оценки запасов подземных вод.

Оценку запасов подземных вод по результатам детальной разведки намечено произвести гидродинамическим и гидравлическим методами, что возможно для месторождений II группы [25]. В связи с этим опытные одиночные откачки будут проведены с двумя понижениями уровня общей продолжительностью 8 сут. Назначение этих откачек – установить характер зависимости дебита от понижения. Проведение откачек составит:  $3,43 \text{ см} \times 8 \times 2 = 54,88 \text{ см}$ .

Кустовые откачки будут проведены при одном понижении уровня при постоянном дебите для точного определения гидрогеологических параметров.

Расстояния наблюдательных скважин от центральной – возмущающей определяют по формуле (143 а):

$$r_n = ia^1$$

где  $r$  – расстояние до первой наблюдательной скважины принимается равным  $0,7$  мощности водоносного пласта –  $82 \cdot 0,7 = 57 \text{ м}$ ;

$a$  – коэффициент, равный для напорных вод 2,5. Определим  $r_2$ ,  $r_3$ :

$$r_2 = 57 - 2,5^{2-1} = 142 \text{ м};$$

$$r_3 = 57 - 2,5^{3-1} = 366 \text{ м}.$$

Рассчитаем время проведения кустовой откачки по формуле (145):

$$t = t_K + t_n; t_K = \frac{r^2}{0,4 x^2}$$

где  $r$  – расстояние до удаленной наблюдательной скважины, м;  
 $x$  – коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/сут.

$$t = \frac{355^2}{0,4 \cdot 1,4 \cdot 10^5} = 2,2 \text{ сут}$$

$$t_n = 54t_K = 5 \cdot 2,2 = 11 \text{ сут}; t = 2,2 + 11 = 13,2 \text{ сут}.$$

Затраты времени на кустовые откачки равны:

$$13,2 \times 2 \times 3,43 = 90,55 \text{ см}.$$

Общие затраты времени на все виды опытных работ (прокачки, пробные, опытные одиночные и кустовые откачки) составят:

$$30,58 + 54,88 + 90,55 = 176,01 \text{ см}.$$

Методика проведения откачек, выбор насосов и приборов для их проведения обоснованы в предыдущих главах.

*Стационарные гидрогеологические наблюдения* за подземными водами будут производиться в течение 1 года. В наблюдательную сеть намечается включить по одной наблюдательной скважине из числа пробуренных в каждом кусте и по две разведочные скважины из числа пробуренных на стадии предварительной разведки, одна из которых пройдена на вышележащий сеноманский водоносный горизонт.

В цикл режимных наблюдений войдут замеры уровня и температуры воды один раз в 5 дней и отбор проб воды на сокращенный химический анализ по сезонам года. Количество замеров уровня и температуры по всем точкам за год составит: 6 замеров  $\times$  4  $\times$  12 = 288 замеров. Количество проб воды, отбираемых за год по всем пунктам, равно: 4 пробы  $\times$  4 = 16 проб.

*Топографические работы* будут заключаться в плановой и высотной привязке всех 10 скважин.

*Лабораторные работы* будут включать проведение анализов. В соответствии со стадией разведки под схему водозабора подземные

воды намечаемого к эксплуатации водоносного горизонта должны быть охарактеризованы полными химическими анализами., Должно быть выяснено содержание вредных микрокомпонентов согласно ГОСТ 2874–73: бериллия Be, молибдена Mo, мышьяка As, свинца Pb, фтора F, радия –226 Ra, стронция –90 Sr, марганца Mn, меди Cu, цинка Zn. Этими анализами должны быть охвачены все разведочно-эксплуатационные скважины.

Для характеристики бактериальных свойств воды намечается отобрать по одной пробе воды из каждой разведочно-эксплуатационной скважины на бактериологический анализ.

## **Глава 26. Определение водопритоков к горным выработкам** (материалы В.А.Шемелиной)

Определение притоков подземных вод к горным выработкам – одна из сложнейших задач рудничной гидрогеологии. В зависимости от гидрогеологических условий и характера исходных материалов для решения подобных задач могут быть использованы балансовый, гидродинамический методы, моделирование и метод аналогии. Наиболее широко применяется гидродинамический метод расчета водопритоков как к отдельным выработкам, так и к системе выработок. Для выбора формул расчета водопритоков необходимо знать проектируемые виды выработок, особенности к параметры водоносных горизонтов, граничные условия пластов, характер поступления воды в выработки и другие факторы. Описание различных методов определения водопритоков в выработки, методы борьбы с ними приведены в работах В.Д.Бабушкина П.П.Климентова и др.

Приток воды ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ) в ствол шахты из однородного артезианского водоносного горизонта (рис.87) определяют по формуле:

$$U = 1,36k \frac{(2H - M)M}{\lg R - \lg r} \quad (158)$$

где  $H$  – высота напора над подошвой водоносного пласта, м;

$M$  – мощность напорного водоносного пласта, м;

$R$  – радиус влияния, м;

$r$  – радиус выработки, м.

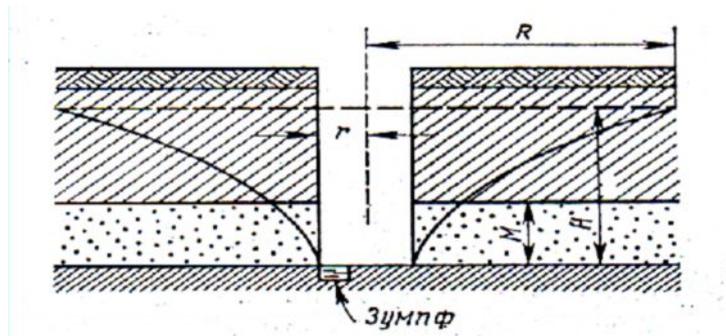


Рис.87. Приток воды в ствол шахты

Притоки безнапорных вод ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ), поступающих по всему периметру карьера, рассчитывают по формуле:

$$Q = \frac{1,36k(H^2 - h^2)}{\lg \frac{R}{r_0}} \quad (159)$$

Притоки напорных вод рассчитывают по формуле

$$Q = \frac{\pi H(2H - M)M - h^2}{\ln \frac{Rt}{20}} \quad (160)$$

где  $H$  – мощность грунтового водоносного горизонта, м;

$H_1$  – напор над подошвой напорного пласта. Остальные обозначения см. на рис. 88.

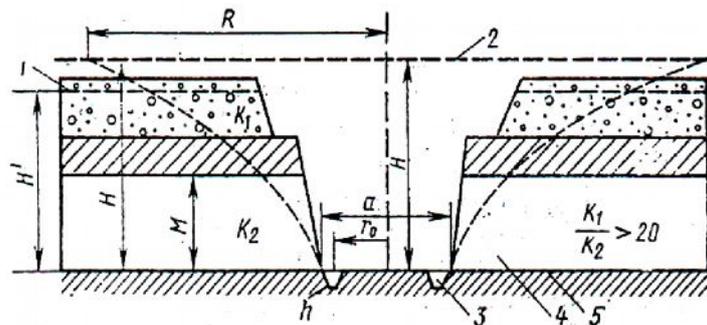


Рис. 88. Схема притока безнапорных и напорных вод, вскрываемых по всему периметру карьера: 1 – уровень грунтовых вод, 2 – пьезометрический уровень напорных вод, 3 – столб воды в дренажных зумпфах, 4 – продуктивный комплекс, 5 – водоупор.

Если карьер одновременно дренирует безнапорные воды вскрышных отложений и напорные воды коренных пород, как это показано на рис. 80, то притоки, подсчитанные по формулам, суммируются.

В условиях безнапорных вод при неограниченном в плане пласте приток к участку подземных разработок с приведенным радиусом  $r_0$  определяют по формуле:

$$Q = \frac{2\pi KH^2}{Ei\left(-\frac{20}{4ax^7}\right)} \quad (161)$$

где  $a_y$  – коэффициент уровнепроводности;  $t$  – длительность откачки;  $E_i$  – экспоненциальная функция, определяемая по специальным таблицам или графикам [4]. Если  $r^2/4a_y t \leq 0,1$ , т. е. поток может рассматриваться как квазистационарный, формулу (14.4) приводят к виду

$$Q = \frac{\pi KH^2}{\ln\left(\frac{Rn}{zn}\right)} \quad (162)$$

где  $R_n \approx 1,5\sqrt{a_y t}$  – приведенный радиус депрессии;  
 $r_0$  – радиус выработки (приведенный).

**Задача.** Определить приток воды в карьер из напорного горизонта (рис. 85). Коэффициент фильтрации пород  $k_2 = 5$  м/сут, мощность водоносной толщи  $M = 10,5$  м, напор над подошвой пласта  $H_1 = 52,3$  м, радиус влияния карьера  $R = 10\,000$  м, столб воды в зумпфе  $h = 1$  м, ширина карьера  $b = 350$  м, длина карьера  $a = 1250$  м.

Для определения притока воды в карьер применим формулу (148), в которой  $r_0$  рассчитывается по формуле Н.К.Гириного  $r_0 = \frac{a}{4} + 0,4b$ , так как карьер прямоугольной формы [32]:

$$r_0 = \frac{1250}{4} + (0,4 \cdot 350) = 452,5 \text{ м.}$$

$$Q = \frac{3,14 \cdot 5 \left[ (12 \cdot 52,3 - 10,5) \cdot 10,5 - 11^2 \right]}{2,31 \lg \frac{10000}{452,5}} = 4537,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

## Глава 27 Гидрогеологические исследования в связи с орошением и осушением земель (материалы Завалей В.А.)

Одним из основных вопросов, позволяющим коренным образом улучшить плодородие земель и поднять их урожайность, является

мелиорация. Специалисты-гидрогеологи являются основными исполнителями мелиоративных программ в части научного гидрогеологического обоснования проектируемых мероприятий и рационального использования и регулирования режима подземных вод. Мелиорация включает в себя мероприятия как по орошению, так и по осушению земель.

Под орошением понимается искусственное увлажнение почвы с целью повышения ее плодородия. Главным образом необходимость в орошении ощущается в южных засушливых районах – зоне недостаточного увлажнения.

Необходимость оросительных мероприятий возникает при засушливом режиме земель, когда коэффициент водного баланса, предложенный А.Н.Костяковым, меньше единицы:

$$K_B = \frac{\alpha \cdot N}{V} \leq 1, \quad (164)$$

где  $K_B$  – коэффициент водного баланса;

$\alpha N$  – приход влаги в почву за определенный период;

$N$  – слой атмосферных осадков;

$\alpha$  – коэффициент инфильтрации;

$I$  – расход влаги почвой за тот же период.

Гидрогеологические исследования в связи с орошением земель могут иметь двоякое направление:

– поисков и разведки источников воды для орошения, если ими являются подземные воды;

– гидрогеологических исследований зоны аэрации и подземных вод на самой орошаемой площади.

Характер исследований при решении вопросов этих двух направлений столь различен, что их приходится рассматривать отдельно.

Изучение подземных вод как источников орошения осуществляется по той же схеме и методике, как и для целей водоснабжения. Эта методика детально рассмотрена выше и здесь не повторяется. Остановимся лишь на некоторых специфических моментах.

Перед началом исследований необходимо установить количество потребной воды для орошения и требования, предъявляемые к ее качеству.

Потребное количество воды определяется построением графика поливов и его увязкой. Более простым, но приближенным способом

потребность в воде можно определить по оросительному гидромодулю, пользуясь формулой:

$$Q = q_0 \cdot F, \quad (165)$$

где  $Q$  – потребный расход воды на орошение;

$q_0$  – оросительный гидромодуль (0,2–1,0 дм<sup>3</sup>/с на 1 га);

$F$  – орошаемая площадь.

Большое внимание должно уделяться изучению режима источников воды для орошения, так как они должны обеспечивать орошение именно в вегетационный период развития растений. При этом надо учитывать, что зимой вода для орошения использоваться не будет и в этот период будет происходить восполнение запасов подземных вод в водоносном пласте.

Требования к качеству оросительной воды рассматриваются в курсе «Мелиоративная гидрогеология». Для оценки качества воды здесь приходится тщательно изучать ее солевой состав, температуру и определять ирригационный коэффициент.

Состав и объем изысканий на орошаемых массивах зависят от характера проектируемых сооружений, величины орошаемой площади, степени сложности гидрогеологических условий района и от степени предыдущей его изученности.

Работы ведутся в несколько этапов:

- схема;
- ТЭО – технико-экономическое обоснование;
- технический проект;
- рабочие чертежи.

При этом схема и ТЭО являются предстадийными этапами, а технический проект и рабочие чертежи – стадиями исследований.

Ниже приводится лишь краткое описание выделенных этапов, так как подробная характеристика всех необходимых гидрогеологических работ приводится в специальном руководстве.

Цель работы на этапе «схема» – предварительная оценка изучаемой территории, проведение районирования, разработка программ мелиоративных мероприятий. При этом используются мелкомасштабные и среднемасштабные гидрогеологические карты (масштабов 1:2 500 000, 1:1000 000, 1:500 000 и 1:200 000) и все имеющиеся геологические и гидрогеологические сведения по району. Полевые работы на данном этапе обычно не приводятся. Отчетным

материалом является схематическая карта гидрогеолого-мелиоративного районирования с пояснительной запиской.

В технико-экономическом обосновании приводится сравнительная оценка различных вариантов освоения земель, обосновывается экономическая целесообразность и хозяйственная необходимость проектирования и орошения земель. Здесь уже должны быть выявлены гидрогеологические условия массива, изучены фильтрационные свойства пород и составлен предварительный прогноз режима подземных вод и водно-солевого баланса. Для этого проводится комплексная гидрогеологическая съемка в масштабе 1:200 000 – 1:100 000. Площадь съемки на 30–50% больше площади орошаемого массива. Съемка сопровождается:

- геофизическими исследованиями по 2–3 опорным профилям. Расстояние между профилями 10–12, максимум 15–18 км;

- бурением опорных скважин на профилях глубиной 300–500 м, разведочно–картировочных скважин на площади массива глубиной 50–150 м,

- картировочных скважин глубиной до 20 м. Количество скважин примерно определяется исходя из следующей нормы: одна скважина на 100–200 км<sup>2</sup>;

- проходкой шурфов, канав, расчисток;

- пробными откачками из скважин для оценки фильтрационных свойств пород;

- опытными наливками в шурфы;

- закладкой режимной сети и началом стационарных наблюдений.

В результате проведенных работ составляется отчет, к которому прикладываются карты:

- фактического материала;

- ландшафтно-индикационная;

- геоморфологическая;

- гидрогеологическая;

- карта районирования для целей мелиорации.

Исследования под техникой проект проводятся на массивах, орошение которых признано целесообразным в результате предыдущих работ.

Здесь уточняются гидрогеологические условия земель, прогноз режима уровня и солевого баланса, изучается режим и баланс под-

земных вод, выделяются участки, на которых требуется проведение мелиоративных мероприятий, разрабатываются виды их и оценивается эффективность различных вариантов. Здесь же уточняется количественная оценка гидрогеологических параметров, нужных для расчета, и дается качественный прогноз изменения гидрогеологических условий земель под влиянием орошения.

Работы на этой стадии являются наиболее важными и ответственными, так как по результатам их делается окончательное решение о проведении орошения и оценивается его эффективность.

Работы ведутся гидрогеологической съемкой 1:50 000 – 1:25 000 масштаба. Съемка сопровождается следующими работами:

- геофизическими исследованиями, проводимыми по профилям с расстоянием между ними 3-5 км;
- бурением скважин, закладываемых на профилях при расстояниях между ними 2-3 км;
- опытными работами по определению действительной скорости потока, направления его, скорости инфильтрации в зоне аэрации и т.п.;
- опытными откачками (одиночными, кустовыми) из скважин;
- режимными наблюдениями;
- лабораторными работами по определению качества воды и характеристик грунта.

Основной объем работ на стадии технического проекта сосредотачивается преимущественно на наиболее типичных (ключевых) участках. Ключевые участки выделяются на основании карты гидрогеолого-мелиоративного районирования и должны в себе содержать все основные элементы района. Результаты, полученные на этих ключевых участках, потом переносятся на весь район. Количество участков и их площадь определяются сложностью геологического строения и гидрогеологических условий района.

При производстве изыскательских работ особое внимание уделяется получению исходных материалов для составления уравнений водного и солевого баланса орошаемого массива.

Уравнение водного баланса имеет вид:

$$\mu\Delta H = (N + Y_1 + W_1 + Z_1) - (Y_2 + W_2 + Z_2) \pm (V + F). \quad (166)$$

В первых скобках правой части уравнения дается приходная часть баланса, во вторых – расходная, а в третьих – изменения в запасах воды,

где  $\mu$  – водоотдача или недостаток насыщения;  
 $\Delta H$  – изменение уровня грунтовых вод (амплитуда) за данный промежуток времени;  
 $\mu\Delta H$  – количество воды, поступившей в пласт или отданной пластом за данный промежуток времени;  
 $N$  – слой атмосферных осадков;  
 $Y_1$  – количество воды, поступившей в ирригационную систему у головного сооружения;  
 $W_1$  – приход воды подземным потоком;  
 $Z_1$  – конденсация воды в почве;  
 $Y_2$  – количество воды, стекающее через сбросную сеть, включая поверхностный сток;  
 $W_2$  – сток воды в виде подземного потока;  
 $Z_2$  – испарение с поверхности почвы, с водной поверхности и транспирация растениями;  
 $V$  – изменение запасов воды в зоне аэрации;  
 $F$  – изменение запасов воды в поверхностных водоемах, а также в виде снега и льда.

Все величины, входящие в рассматриваемое уравнение, выражены высотой слоя воды в миллиметрах.

Решив уравнение водного баланса в отношении  $\Delta H$ , можно предсказать положение уровня грунтовых вод на любой момент времени, т.е. прогнозировать изменение уровня подземных вод.

Под солевым балансом понимают соотношение между поступлением солей в почву и расходом их (в т/га) за определенный период.

Уравнение солевого баланса зоны аэрации имеет вид

$$S_2 - S_1 = S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 - S_8 - S_9, \quad (167)$$

где  $S_1$  – начальный запас солей в зоне аэрации на площади в 1 га, который определяется по формуле

$$S = 100 \cdot a \cdot y \cdot h, \quad (168)$$

где  $a$  – засоленность грунтов, %;

$y$  – объемный вес сухого грунта;

$h$  – мощность зоны аэрации, м;

$S_2$  – тоже конечный запас (на конец рассматриваемого периода);

$S_3$  – поступление солей с атмосферными осадками;

$S_4$  – поступление солей с оросительной водой;

$S_5$  – привнос солей ветром;

$S_6$  – поступление солей с удобрениями;

$S_7$  – поступление солей из водонасыщенной зоны путем испарения и транспирации;

$S_8$  – вынос солей просачивающимися атмосферными осадками и оросительными водами вниз в водоносный горизонт;

$S_9$  – вынос растениями солей с урожаем.

Для прогноза солевого баланса зоны аэрации рассмотренное выше уравнение решается относительно ( $S_2 - S_1$ ). Все же остальные величины уравнения определяются по результатам проведенных работ.

Составление и анализ уравнений водного и солевого баланса для орошаемых массивов имеют очень важное значение, так как по ним можно:

– дать прогноз изменения уровня и засоленности почв, т.е. предсказать возможность заболачивания и засоления земель;

– наметить необходимые мероприятия для недопущения вредных воздействий;

– разработать наиболее рациональный режим орошения.

По результатам проведенных работ на стадии технического проекта составляется отчет с приложением следующих карт:

– ландшафтно-индикационной;

– карты глубин залегания подземных вод и их минерализации;

– химического состава подземных вод;

– карты геолого–генетических комплексов;

– состава и засоления пород;

– гидродинамической карты;

– карты засоления почво-грунтов зоны аэрации;

– карты гидрогеологического районирования для целей мелиорации (с выделением типичных участков).

Исследования на стадии рабочих чертежей производятся в основном для уточнения отдельных вопросов гидрогеологии. Здесь используются все материалы предыдущих исследований и наблюдения за режимом подземных вод в период эксплуатации и на опытно-эксплуатационных участках, уточняется прогноз и оценка эффективности действия оросительных систем.

Необходимость осушительных мероприятий возникает при переувлажненном режиме земель, когда коэффициент водного баланса больше единицы:

$$K_B = \frac{\alpha \cdot N}{V} > 1, \quad (169)$$

Объектами осушительных мелиорации являются типичные болота, заболоченные и подтопляемые земли. Болота образуются под влиянием целого ряда факторов. Под воздействием подземных вод болота образуются в следующих случаях:

- при непосредственном выходе грунтовых вод на поверхность при затрудненном стоке;
- при близком залегании грунтовых вод к поверхности;
- под влиянием напорных вод, имеющих выход на поверхность через гидрогеологические окна;
- при усиленной инфильтрации большого количества атмосферных осадков и замедленном их подземном стоке в дренирующие понижения и незначительном при этом испарении.

Гидрогеологические исследования на осушаемых массивах ведутся по тем же этапам и примерно по той же методике, что и для массивов орошения. Учитывая это, методика проведения работ приводится здесь очень кратко, тем более что по этим вопросам имеется специальная литература.

При работах на стадии “схема” проводится предварительная оценка осушаемой территории, намечается программа осушительных мероприятий, делается районирование. Для решения этих вопросов используются мелкомасштабные карты 1:2500000 – 1:500000 масштаба и имеющиеся сведения по гидрогеологии района.

Исследования на этапе технико – экономического обоснования должны выявить гидрогеологические условия переувлажненных земель и типы водного питания их. Без выяснения причин заболачивания, а ими не всегда являются подземные воды, бороться с заболачиванием невозможно.

После проведения минимального объема полевых работ и обобщения полученных данных производится районирование территории в масштабе 1:200000, на основании чего устанавливается очередность осушения и намечаются соответствующие мелиоративные мероприятия.

На стадии технического проекта изыскания проводятся на выбранных массивах первоочередного осушения. Здесь уже детально

должны быть изучены гидрогеологические условия переувлажненных земель, уточнены типы водного питания, сделана их количественная оценка, изучен режим подземных вод. Все работы выполняются применительно к крупно-масштабной гидрогеологической съемке 1:50000 – 1:10000 масштаба. Скважины или шурфы закладываются по сетке на расстояниях от 100 до 500 м. По проведенным работам выбирается наиболее рациональная схема осушения и дается исходный материал для ее расчета, делается расчет дренажа, составляется прогноз изменения режима подземных вод. На стадии рабочих чертежей уточняются те или иные элементы гидрогеологических условий.

## **Глава 28 Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых**

(материалы Завалей В.А.)

При добыче полезных ископаемых приходится вести борьбу с рудничными водами.

Под рудничными или шахтными водами понимаются подземные или поверхностные воды, проникающие в горные выработки и оказывающие определенное влияние на условия эксплуатации месторождения. Изучением рудничных вод занимается отрасль гидрогеологии – рудничная гидрогеология. Задачами рудничной гидрогеологии являются:

- изучение гидрогеологии разведываемых месторождений и гидрогеологическая характеристика их;
- гидрогеологическое обоснование работ по проходке шахт и карьеров;
- наблюдение за рудничными водами на существующих рудниках и выяснение режима водопритока;
- проведение систематических мер борьбы с рудничными водами при эксплуатации месторождений;
- изучение химизма подземных вод, как поисковых признаков месторождений некоторых цветных металлов и редких элементов.

Обводненность месторождений полезных ископаемых неодинаковая. Она зависит от ряда факторов:

- климатических условий района, главным образом от количества выпадающих атмосферных осадков и величины испарения;
  - рельефа местности, оказывающего влияние на интенсивность поверхностного стока, и тем самым влияющего на величину инфильтрации атмосферных осадков;
  - гипсометрического (высотного) положения месторождения по отношению к местному базису эрозии;
  - фильтрации вод из поверхностных водотоков и водоемов, если они расположены поблизости от месторождения;
  - литологического состава пород, слагающих месторождение;
  - тектоники района, степени трещиноватости и раздробленности пород;
  - глубины разработок по отношению к статическому уровню подземных вод;
  - степени обнаженности месторождения горными выработками.
- Обводненность горных выработок может оцениваться следующими показателями:
- абсолютной величиной водопритока, обычно в м<sup>3</sup>/час;
  - коэффициентом водообильности (К), представляющим собой отношение количества откачиваемой воды (в м<sup>3</sup>) к количеству добытого за тот же промежуток времени (обычно за год) полезного ископаемого Р (в тоннах):

$$K = \frac{Q}{P} \quad (170)$$

Значения К изменяются в больших пределах от нуля (в сухих выработках) до 300 м<sup>3</sup>/т и выше (в сильно обводненных выработках);

- коэффициентом удельной водообильности, представляющим собой отношение количества откачиваемой воды к площади разработок. Обычно приток принимается в м<sup>3</sup>/час, а площадь в 1000 м<sup>2</sup>.

Из большого числа существующих классификаций месторождений полезных ископаемых по степени обводненности рассмотрим только одну, предложенную П.П.Климентовым, в которой выделяются:

- месторождения, в геологическом разрезе которых широко развиты карстующие породы. Эти месторождения отличаются наиболее высокой водообильностью, особенно при наличии гидравлической связи подземных вод с поверхностными. Притоки воды на таких ме-

сторождения достигают 2000 –5000 м<sup>3</sup>/час и более, а коэффициент водообильности до 200–300;

– месторождения, в геологическом разрезе которых преобладают мощные толщи рыхлых нецементированных зернистых пород (песчаных, песчано-галечниковых, песчано-глинистых). Обводненность месторождений этого типа неравномерная и зависит от литологического состава пород и физико-географических условий района (климата, наличия поверхностных водотоков и водоемов). При слабопроницаемых породах обводненность месторождений низкая; притоки обычно не превышают 100 м<sup>3</sup>/час, а коэффициент водообильности не более 2. При хорошо проницаемых породах обводненность месторождений увеличивается, притоки возрастают до 200–300 м<sup>3</sup>/час, а коэффициент водообильности до 15–20;

– месторождения, в геологическом разрезе которых преобладают скальные трещиноватые породы. Обводненность месторождений этого типа довольно разнородна, зависит от степени трещиноватости и тектонической раздробленности скальных пород, а также от физико-географических условий района. Притоки в выработки обычно не превышают 100 м<sup>3</sup>/час, а коэффициент водообильности – 2, иногда же эти значения увеличиваются соответственно до 500 м<sup>3</sup>/час и 10 – 15;

– месторождения с любым геологическим разрезом, расположенные на междуречных массивах с относительно высокими отметками или в горных районах с сильно пересеченным рельефом. Такие месторождения располагаются выше местного базиса эрозии, хорошо дренируются и поэтому являются слабо обводненными;

– соляные месторождения. Соляные залежи обладают высокой пластичностью, благодаря чему все возникающие трещины быстро смыкаются, самозалечиваются. Поэтому в монолитных соляных залежах подземные воды отсутствуют, а сами месторождения сухие;

– месторождения в районах многолетней мерзлоты. Большинство месторождений этого типа являются слабо обводненными или безводными. Исключением являются месторождения, питающиеся подмерзлотными водами и месторождения, расположенные на побережье северных морей и питаемые морскими минерализованными водами.

Борьба с рудничными водами может производиться двумя путями:

– водоотливом. При этом вода, поступающая в горные выработки, захватывается какими-либо приемными устройствами и при помощи насосов выдается на поверхность. Это пассивный способ борьбы с водой и может применяться только на слабо обводненных месторождениях;

– осушением. В этом случае применяются устройства, перехватывающие поверхностные и подземные воды еще до поступления их в горные выработки.

Осушение является активным способом борьбы с обводнением, так как при этом осушаются не только сами горные выработки, но и породы в районе месторождения.

При водоотливе подземная вода, поступающая из кровли, почвы, стенок, забоев в нарезных и очистных выработках поступает в водосборные каналы. Каналы имеют уклон, равный уклону основной выработки, и располагаются сбоку от нее. Из водосборных каналов вода самотеком поступает в водосборник, а из него насосами перекачивается на поверхность.

Водосборник служит резервуаром для временного хранения воды, емкость которого должна обеспечивать 8–10-часовой приток воды в шахту. Одновременно он является отстойником для очистки воды от взвешенных насосов и накопления осадка, проходится поперечным сечением обычных штреков и может быть очень большой длины.

Осушение месторождений осуществляется:

– ограждением горных выработок от поверхностных вод;

– понижением уровня подземных вод ниже горизонта разработок.

Ограждение горных выработок от поверхностных вод заключается в следующем:

– в отводе поверхностного стока, формирующегося за счет атмосферных осадков за пределы месторождения. Такой отвод обычно производится нагорными канавами, нарезаемыми по периметру месторождения с нагорной стороны;

– в осушении заболоченных участков, прилегающих к горным выработкам с помощью дренажных каналов;

– в отводе русел рек и ручьев, протекающих поблизости с разработками;

– в спрямлении и очистке русел рек и ручьев для более быстрого отвода поверхностного стока;

– искусственном водоотливе из водоемов, не имеющих стока путем перекачки воды насосами.

Осушение путем понижения уровня подземных вод может осуществляться подземным и поверхностным способами.

Подземный способ осушения осуществляется из горных выработок с помощью следующих устройств:

– дренажных штреков, представляющих собой горизонтальные горные выработки. Они обычно ведутся на 3–5 м ниже эксплуатационного штрека и на 100–150 м впереди него;

– забивных фильтров – перфорированных труб диаметром 1–2 и общей длиной не более 10–15 м. Трубы забиваются в кровлю штрека, вскрывают водоносный горизонт и осушают его. Расстояния между фильтрами 10–35 м;

– сквозных фильтров – скважин, пройденных с поверхности до горной выработки и оборудованных на интервалах водоносных горизонтов фильтрами для отвода воды в горную выработку. Расстояние между сквозными фильтрами 100 – 200 м;

– поглощающих скважин, пройденных с поверхности и вошедших в поглощательный пласт, расположенный ниже горизонта разработок. Эта скважина оборудуется фильтрами на все пересекаемые водоносные горизонты и воды, самотеком перетекает с верхних водоносных пластов в нижний – поглощающий. Поглощение скважины можно применять при благоприятных для этого гидрогеологических условий, т.е. при наличии ниже горизонта разработок хорошего коллектора с высокими водопоглощающими свойствами;

– дренажных канав глубиной 1–2 м, располагаемых посередине штрека. Канавы дренируют близко подступающие к почве штрека и самотеком отводят их в водосборник;

– понижающих колодцев, проходимых в почве штреков на глубину 3–5 м. Расстояние между колодцами 50–100 м по длине штрека. Из колодцев вода откачивается насосами и отводится в водосборник;

– передовых (опережающих) скважин длиной 10–15 м, закладываемых из забоя штрека горизонтально и под некоторым углом в направлении проходки;

– предохранительных перемычек, устраиваемых в случае возможного прорыва вод или пльвуна. Они ограждают аварийный уча-

сток от остальных выработок и позволяют постепенно откачивать прорвавшиеся воды. Предохранительные перемычки бывают водонепроницаемыми и фильтрующими;

– иглофильтровых установок, состоящих из насоса, вакуумнасоса, трубопроводов и комплекта иглофильтров. Иглофильтры устанавливаются на расстояниях 0,6–1,2 м друг от друга и осушают грунты до глубины 3–4 м. Осушение им очень эффективно в зернистых породах с весьма слабой водоотдачей.

Поверхностный способ осушения применяется при сравнительно неглубоком залегании полезного ископаемого (до 100 м) и в породах, обладающих хорошей водоотдачей. Осушение осуществляется водопонижительной установкой.

На участке месторождения по его контуру закладывается с поверхности ряд водопонижительных скважин. Скважины на интервале водоносных горизонтов оборудуются фильтрами и глубинными насосами. Из всех скважин одновременно производится откачка воды. Депрессионные воронки от работы взаимодействующих скважин пересекаются между собой и происходит общее снижение уровня. Один ряд скважин может понизить уровень до 20 м. При необходимости больших понижений устраивают многоконтурные установки, располагая их ярусами.

Гидрогеологические исследования ведутся на всех стадиях изучения месторождения полезных ископаемых, а также при его эксплуатации.

При поисках, когда запасы полезного ископаемого утверждаются по категории С, гидрогеологические исследования заключаются в проведении гидрогеологической съемки масштабов 1:200 000 и 1:100 000 с обследованием всех родников, колодцев. В минимальном количестве проходятся специальные гидрогеологические скважины, но необходимо стараться по возможности использовать геологические выработки. Из скважин проводятся пробные откачки и организуются режимные наблюдения. В результате проведенных работ выясняются общие гидрогеологические условия района месторождения, области и условия питания, разгрузки, устанавливается наличие и дается характеристика выявленным водоносным горизонтам, определяется положение уровней, водообильность пород, качество воды, элементы режима.

При предварительной разведке месторождения, когда запасы полезного ископаемого утверждаются по категории В, гидрогеологи-

ческие работы ставятся более широко. Буровые скважины специально для гидрогеологических целей закладываются по сетке со стороной квадратов 500–1000 м и глубиной – ниже горизонта разработок. Скважины детально изучаются в части литологии, установления мощностей слоев, уровней и напоров воды, качества ее. Из скважин производятся одиночные опытные откачки для определения водообильности пород, коэффициента фильтрации и радиуса влияния. Часть скважин оборудуется под режимные наблюдения. В результате проведенных работ составляется карта гидроизогипс, строятся гидрогеологические профили, колонки скважин, графики откачек, режимных наблюдений, рассчитывается коэффициент фильтрации, определяется расход подземного потока и делается предварительный расчет ожидаемого водопритока.

При детальной разведке месторождения и утверждения по нему запасов по категории А производится гидрогеологическая съемка масштабов 1:5000 или 1:10 000 с закладкой скважин по сетке со стороной квадратов 200–300 м. В скважинах производится полный комплекс исследований с производством опытных откачек. Часть откачек делается кустовыми для более точного определения коэффициента фильтрации и радиуса влияния. Опытным путем устанавливается действительная скорость движения подземных вод, наличие или отсутствие связи между отдельными горизонтами и с поверхностными водами. Продолжаются режимные наблюдения. По проведенным работам дается исчерпывающая характеристика для разрешения всех вопросов, связанных с проектированием горных выработок, добычей полезного ископаемого, определением водопритоков и разработкой мер борьбы с рудничными водами.

В процессе строительства рудника и его эксплуатации гидрогеологические работы продолжаются. Их проводит специальная гидрогеологическая служба, организуемая на рудниках. Работы ведутся на поверхности и в горных выработках.

На поверхности в основном проводятся режимные наблюдения на созданной опорной сети: рудниках, колодцах, скважинах, реках, озерах. При необходимости проходятся дополнительные выработки.

В горных выработках производится подземная гидрогеологическая съемка и ведутся режимные наблюдения.

Подземная гидрогеологическая съемка заключается:

– в нанесении на маркшейдерские планы всех водоотливных устройств, насосов, трубопроводов, водосборников, перемычек, за-

бивных и сквозных фильтров, дренажных канав, колодцев и других устройств;

– в составлении плана обводненности горных выработок в виде разверток всех стенок выработки. На план наносится литологический состав пород, физико-механические свойства их, условия залегания пород, трещиноватость пород, проявление водоносности, пересекаемые водоносные горизонты;

– в замере расходов воды на отдельных участках, по возможности отдельно с кровли, подошвы, стенок. Одновременно замеряется температура воды и отбирается проба на химический анализ.

Режимные наблюдения ведутся на всей опорной подземной сети. Систематически замеряются расходы в водоотливных канавах и общий расход воды, извлекаемой из шахты. Одновременно замеряется температура и по сезонам года отбираются пробы воды на химанализ.

В результате проводимых работ гидрогеологической службой составляется ежегодный отчет с подробной характеристикой гидрогеологических условий месторождения, прогнозом ожидаемых водопритоков и мер, рекомендуемых для осушения. Гидрогеолог, работающий на руднике, должен хорошо изучить геологическое строение и гидрогеологические условия месторождения, чтобы своевременно предсказать возможность изменения режима подземных вод, прорывы их в выработку и наметить способы борьбы с ними.

## **Глава 29 Гидрогеологические исследования на нефтяных и газовых месторождениях**

(материалы Завалей В.А.)

Нефтяные и газовые месторождения обычно находятся на больших глубинах в приподнятых частях геологических структур (чаще антиклиналях), перекрытых сверху множеством водоупорных слоев, чередующихся с водоносными горизонтами. Подземные воды, приуроченные к залежам нефти, называются нефтяными.

Нефть, газ и вода располагаются в месторождении в определенном порядке, соответственно их удельным весам. Газ как более легкий располагается вверху, ниже – нефть, а затем – вода.

В закрытом нефтяном месторождении нефть, вода и газы образуют общую гидродинамическую систему, находящуюся под пьезо-

метрическим напором воды данного артезианского пласта. Эта система в естественных условиях находится в состоянии равновесия, обуславливающего застойный режим горизонта (рис. 89).

При вскрытии скважинами нефтяного месторождения, давление воды выполняет роль подъемной силы, заставляющей нефть изливаться на поверхность. Большое значение имеет и газовый фактор. При вскрытии нефти скважиной давление падает и газы, растворенные в нефти, выделяются из нее, образуя газо-нефтяную смесь меньшего удельного веса, поднимающуюся на поверхность. Таким образом, под действием газов и давления воды нефть поднимается на поверхность, а скважины фонтанируют.

Когда газ полностью выходит из нефти, давление воды остается единственным фактором работы буровых скважин, и по мере откачки нефти происходит передвижение подземных вод, замещающих извлекаемую из залежи нефть. Это явление в нефтепромысловой практике является весьма полезным, если фронт наступления воды на нефтяную залежь будет ровным. К сожалению, часто происходит нарушение равномерности фронта наступления воды на нефтяную залежь, внедрение воды во внутрь ее и приводит к обводнению месторождения. Это приводит к падению дебита нефтяных скважин и потере части запасов нефти.

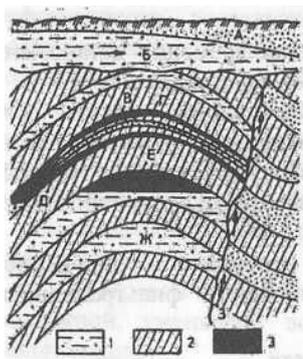


Рис. 89. Схема залегания подземных вод нефтяного месторождения:  
1 – проницаемые породы; 2 – непроницаемые породы; 3 – нефть;  
А – поверхность грунтовых вод; воды: Б – грунтовые; В – верхние пластовые; Г – промежуточные; Д – контурные; Е – подошвенные; Ж – нижние пластовые; З – трещинные

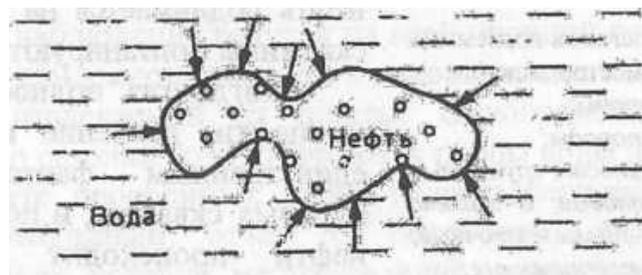


Рис. 90 Языки обводнения

Обводнение нефтяного месторождения может происходить так называемыми конусами подсосывания и языками обводнения.

Конусы подсосывания образуются в результате того, что при эксплуатации нефтенасыщенных слоев создается понижение давления в зоне влияния скважин. В результате к фильтру скважины вместе с нефтью движется и вода, но так как она обладает меньшей вязкостью, чем нефть, а следовательно, и большей подвижностью, то успевает быстрее подойти к фильтру. При этом около скважины образуются конусы подсосывания, направленные вершиной к фильтру скважины. Если вершина подсосывания достигает верхней части фильтра, то скважина разобщена от нефти и будет давать чистую воду. Для борьбы с конусами подсосывания рекомендуются следующие мероприятия:

- в случае появления воды в скважине временно остановить эксплуатацию ее, чтобы образовавшийся конус подсосывания опал;

- не добуривать скважины до водонефтяного контакта; при образовании конуса подсосывания цементировать нижнюю часть фильтра, расположенную в обводненных слоях залежи. Этот способ эффективен, если эксплуатируемый пласт имеет водонепроницаемые прослойки.

Языки обводнения образуются под влиянием неравномерной эксплуатации нефтяной залежи и изменчивости фильтрационных свойств пород (рис. 90).

При неправильной эксплуатации фронт нефти и воды делается неровным, на отдельных участках создаются выступы более быстро наступающей воды, что и приводит к возникновению языков обводнения. Последние влекут за собой проникновение масс воды внутрь залежи и окружение водой отдельных нефтяных участков. Скважины преждевременно обводняются, а нефть теряется. Мерой борьбы против такого обводнения является правильная эксплуатация с учетом передвижения подземной воды, для чего следует в период эксплуатации вести тщательные наблюдения за началом обводнения скважины и в случае появления в них воды эксплуатация обводненных скважин должна приостановиться. Таким образом можно выравнивать фронт водонефтяного контакта. Мерой борьбы с продвижением языка может служить также откачка воды из регулировочной скважины, закладываемой сзади языка на некотором расстоянии от эксплуатируемой скважины. Регулировочная скважина оттянет язык на себя и выровняет фронт водонефтяного контакта.

Увеличение добычи нефти можно достигнуть следующими мероприятиями:

- законтурным заводнением нефтяной залежи. За контуром нефтеносности закладывается система скважин с фильтрами, погруженными в водоносную часть нефтяного пласта. Под воздействием накачиваемой в скважины воды создается повышенное давление в пласте, которое и усиливает приток нефти к эксплуатационным скважинам. Применение законтурного заводнения требует детальных знаний гидрогеологических условий месторождения;

- гидравлическим разрывом пласта для повышения его фильтрационных свойств;

- прогревом нефтяных пластов паром, что делает нефть более подвижной, уменьшает возможность обводнения и облегчает ее эксплуатацию.

Так как нефть залегает глубоко и на поверхность земли не проявляется, то все гидрогеологические исследования нефтяных месторождений ведутся в скважинах, причем не на специальных гидрогеологических выработках, а чаще всего в разведочно-эксплуатационных скважинах на нефть. Поэтому гидрогеологической документации нефтяных скважин уделяют основное внимание. Недостатки в документации, обусловленные бурением с глинистым раствором, компенсируются широко применяемыми геофизическими методами разведки – каротажем всех видов.

В результате таких наблюдений по всем встреченным горизонтам и по ряду скважин гидрогеолог обязан иметь полное представление о гидрогеологии месторождения, должен установить стратиграфическое положение водоносных горизонтов, взаимоотношение их между собой, а также поверхностными водами и нефтяной залежью, определить пьезометрические напоры их, изучить состав вод.

В процессе эксплуатации нефтяного месторождения работа гидрогеолога продолжается. Он ведет систематическое наблюдение за работой скважин и по полученным данным составляет карты обводнения нефтяного пласта, т.е. выясняет картину продвижения подземных вод в нефтяную залежь. Совместно с геологами и нефтяниками – эксплуатационниками гидрогеолог намечает пути борьбы с обводнением и меры по увеличению добычи нефти.

## Глава 30 Гидрогеологические исследования при подземном выщелачивании полезных ископаемых (материалы Завалей В.А.)

Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых, к которым относится в частности и подземное выщелачивание, основаны на переводе полезного ископаемого в подвижное состояние и выводе его на поверхность для дальнейшей переработки. При этом производится прокачка через недра растворителя с последующим извлечением из него добываемого компонента. Обязательным условием подобной добычи полезного ископаемого является хорошая проницаемость среды, содержащей извлекаемый компонент. Подземные выщелачивания могут осуществляться системой скважин с использованием естественной проницаемости руд и шахтным методом с созданием искусственной проницаемости (рис.91).

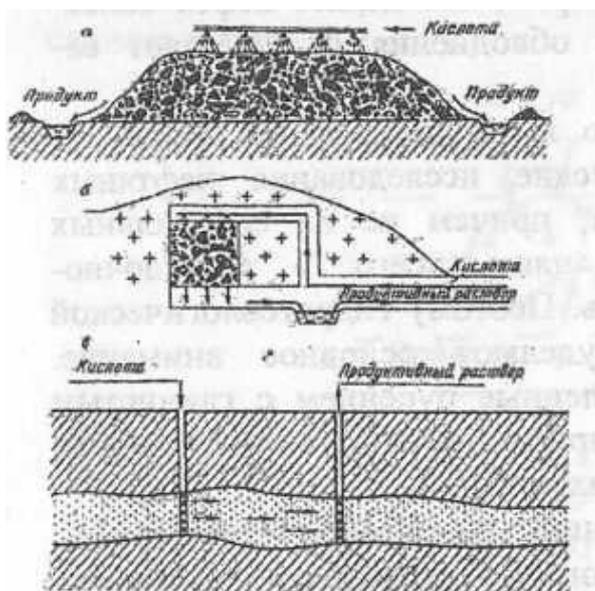


Рис. 91. Технологические схемы выщелачивания металлов:  
*а* – кучное; *б–в* – подземное (*б* – из раздробленных и магазинированных блоков;  
*в* - из проницаемых руд в естественном залегании)

Скважинная система подземного выщелачивания по режиму движения флюидов подразделяется на целый ряд методов (рис. 92), однако все они характеризуются высокой эффективностью, позволяющей резко сократить капитальные затраты, обеспечить постепенный ввод предприятия в эксплуатацию. Общая себестоимость про-

дукции скважинного выщелачивания в 3–6 раз ниже ее себестоимости на предприятиях с горным способом добычи [11].

Шахтная система выщелачивания с созданием искусственной проницаемости руд заключается в том, что раздробленная руда оставляется и магазинируется в блоках и затем обрабатывается растворителем. При этом общая величина капитальных затрат снижается по сравнению с традиционными способами по 15–20%.

В Казахстане наибольшее развитие получила скважинная система подземного выщелачивания месторождения урановых руд. Это главным образом экзогенные, так называемые «инфильтрационные» месторождения, образованные выщелачиванием урана из горных пород инфильтрационными кислородсодержащими атмосферными водами и последующим сбросом урана в виде нерастворимых низковалентных соединений.

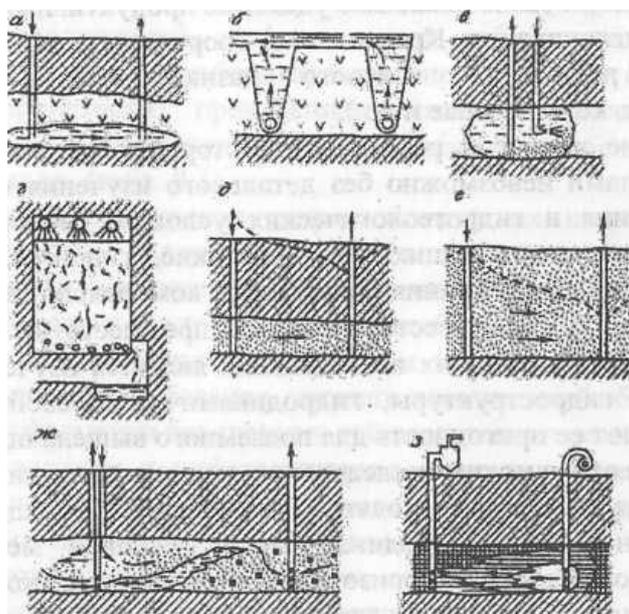


Рис. 92. Режим движения флюидов при геотехнологических методах  $S_f$  добычи полезных ископаемых: *a*–*в* – в свободном пространстве (*a* – напорный; *б* – безнапорный; *в*–*в* режиме струи); 2–3 – в пористой среде (*г* – гравитационный; 3 – газовый)

Добыча полезного ископаемого методом подземного выщелачивания осуществляется через специально оборудованные и подготовленные скважины. Последние, в свою очередь, подразделяются на закачные (нагнетательные), обеспечивающие подачу выщелачивающего реагента в недра, и откачные (разгрузочные), обеспечивающие удаление продуктивных растворов из объема выщелачивания. Кроме

этого, сооружаются вспомогательные скважины различного целевого назначения (наблюдательные, разведочные, контрольные и др.).

Решение вопросов разработки месторождений геотехнологическими методами невозможно без детального изучения их геологического строения и гидрогеологических условий, свойств массива и флюидов, его насыщающих. Геологические, гидрогеологические и геофизические исследования проводятся комплексно и обязательно сопровождают разведку месторождения и предшествуют проектированию. Главной задачей этих исследований является изучение месторождения как гидроструктуры, гидродинамические свойства которой обуславливают ее пригодность для подземного выщелачивания.

Гидрогеологические исследования при применении метода подземного выщелачивания проводятся для решения следующих вопросов:

- установление гидродинамических условий месторождения, включая условия питания горизонтов, направления и скорости движения подземных вод, области и характера их разгрузки;
- количество и состав водоносных горизонтов, гидравлическая связь между ними, мощность и глубина их залегания, статические уровни и пьезометрические напоры; степень взаимосвязи подземных и поверхностных вод;
- химический и газовый состав подземных вод, физические их свойства;
- фильтрационные свойства руд и вмещающих пород, коэффициенты фильтрации, водоотдача, уровне- и пьезопроводность, радиус влияния скважин;
- характеристика водоупоров, подстилающих и перекрывающих рудную залежь;
- степень и характер изменчивости основных гидрогеологических параметров полезного ископаемого и вмещающих пород по площади и в разрезе;
- изменение естественных гидродинамических условий при подземном выщелачивании руд;
- изменение геоэкологической обстановки, и в первую очередь изменение санитарного состояния подземных и поверхностных вод;
- выявление источников хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения горнорудного предприятия.

Гидрогеологическое изучение подготавливаемых к подземному выщелачиванию месторождений проводится главным образом путем

опробования разведочных и специальных скважин (одиночных или площадного расположения), геофизическими наблюдениями в них, индикаторными опытами и лабораторными определениями (например, эффективной пористости), проведением режимных наблюдений за подземными и поверхностными водами, моделированием геофильтрации и др. (табл. 28).

Уже в процессе бурения гидрогеологических и разведочных скважин обязательным является наблюдение за уровнями подземных вод, параметрами и поглощением промывочной жидкости, фиксируются провалы бурового инструмента. При необходимости при бурении скважин с промывкой глинистым раствором возможно использование метода опережающего опробования, дающего значительный объем гидрогеологической информации без специальной подготовки скважины.

Наиболее важным и информативным является материал, полученный по результатам опытно-фильтрационных работ – опытных и кустовых откачек, нагнетаний (реже наливов) в скважины.

Опытные откачки дают возможность определить фильтрационные свойства водоносных горизонтов, определить такие параметры, как осредненная водопроводимость геологических тел, анизотропия водолпроводимости в определенных направлениях. При проведении откачек опробуются подземные воды для последующей оценки их химического состава, степени возможного коррозионного влияния подземных вод на оборудование скважин при подземном выщелачивании руд.

Кустовые откачки осуществляются для оценки взаимосвязи между водоносными горизонтами, для выявления анизотропии свойств водоносных горизонтов по площади, для выявления степени взаимосвязи между поверхностными и подземными водами. Большое значение результаты кустовых откачек имеют (наряду с лабораторными определениями) при оценке величин проницаемости водоупоров, что весьма важно для установления предельных значений напоров в системах эксплуатационных скважин. Кустовые откачки необходимо проводить при возможно большем количестве равномерно расположенных по площади, совершенных по степени вскрытия скважин.

### Характеристика гидрогеологических исследований

Стадия изучения месторождения	Характеристика гидрогеологических исследований		
	цели	основные задачи	основные способы решения
Поисково-оценочные работы	Оценка разрешающих факторов: выяснение обводненности рудовмещающих пород, определение возможности фильтрации растворов по породам рудовмещающего горизонта	Выделение водоносных горизонтов, установление обводненности рудовмещающих отложений, оценка дебитов скважин, оценка гидрогеологических параметров	Анализ материалов бурения поисково-оценочных скважин, выделение литолого-фациальных зон и структурных блоков; бурение одиночных гидрогеологических скважин; каротажные исследования; откачки и наливы (нагнетания); изучение гранулометрического состава по всем рудным оценочным скважинам, оценка фильтрационных свойств руд и пород в лабораторных условиях
Разведка	Определение влияния гидрогеологических условий на отработку месторождения методом ПВ; гидрогеологическое районирование месторождения; гидрогеологическое обоснование категории запасов, обоснование исходных данных (по комплексу гидро-	Определение гидрогеологических параметров; оценка проницаемости руд и безрудных пород продуктивных горизонтов; обоснование литологофациальных типов руд и оценка возможных дебитов технологических скважин; оценка взаимосвязи рудовмещающих безрудных водоносных горизонтов;	Бурение кустов и одиночных гидрогеологических скважин; опытно-фильтрационные работы: лабораторные исследования гранулометрического состава и проницаемости пород; стационарные наблюдения

	геологических параметров) к ТЭДу на детальную разведку	установление взаимосвязи месторождения с водозаборами подземных вод (если они имеются)	
--	--	--	--

Одними из первостепенных исследований для оценки водопроницаемости водоносных горизонтов и определения водоупорности пород кровли пласта являются опытные нагнетания. Особое значение этот метод приобретает, когда полезное ископаемое залегает на небольшой глубине. Поинтер-вальные нагнетания дают возможность построить фильтрационные разрезы по скважинам, а также определить стабильные величины водопоглощения при разных ступенях давления. При проведении нагнетаний необходимо соблюдать определенные условия, такие как проведение опыта поинтервал-но, опробование способом «сверху вниз», использование цементных поясов для создания лучшей изоляции интервалов и др. Прекращение опыта возможно лишь при стабилизации режима водопоглощения при заданном давлении. Нагнетанию в скважину должны предшествовать мероприятия по герметизации всех соседних скважин, а для оценки радиуса влияния они должны быть оборудованы манометрами.

Значительное место в исследованиях фильтрационных свойств и приемистости пласта, выявлении зон активного водопритока, других гидро-геологических характеристик полезного ископаемого принадлежит геофизическим (каротажным) методам исследования скважин. Помимо изучения геологического строения разреза и выделения при этом литологических разностей, мощностей и строения пластов, ослабленных интервалов разреза каротаж дает возможность выявления обводненных и проницаемых пластов и определения их эффективной мощности. Этими методами определяется качественная, сравнительная или количественная оценка порово-трещинной пористости горных пород, фильтрационные свойства пород – коллекторов, оценивается фильтрационная неоднородность разреза, выявляются величины гидростатического напора различных водоносных горизонтов, дается сравнительная или количественная Оценка минерализации подземных вод. Методы электрокаротажа (КС), поляризационного (ДС) и радиоактивного (ГК, НГК) каротажа, а также термо- и кавернометрии рассматриваются в курсах специальных дисциплин. Подробнее остановимся лишь на методах резистивиметрии и расходомерии. При

гидрогеологических исследованиях, связанных с изучением месторождений, отработка которых предусматривает подземное выщелачивание, этим методам отводится особая роль. Резистивно-метрические измерения проводятся в скважинах зондом малого размера (благодаря чему устраняется влияние стенок скважин) и служат для определения мест притока пластовых вод в скважину, а также для измерения удельного электрического сопротивления воды для определения их минерализации.

Расходометрия – измерение расхода осевого потока воды, циркулирующего вдоль ствола скважины, дающей возможность в совокупности с гидравлическими построениями и расчетами получить сведения о глубине залегания, мощности, водопроницаемости, удельном дебите, пьезометрическом напоре, коэффициенте фильтрации и других гидрогеологических параметрах водоносных пластов. При этом учитывается, что расход осевого потока воды, измеряемой в стволе скважины в режиме фонтанирования, откачки, налива или нагнетания изменяется лишь в интервалах проницаемых пород. Границы пластов, отличающиеся по фильтрационным свойствам, фиксируются на расходометрическом графике  $Q = f(h)$  точками излома кривой, а дебит водопритока или водопоглощения слоя устанавливается по разности между расходом воды в его кровле и подошве.

Расходометрия дает возможность оценить пьезометрические напоры в каждом отдельном водоносном пласте без их предварительной изоляции. Это достигается замером расходов при вертикальной циркуляции воды, обусловленной перетоками между пластами при неработающих скважинах. С помощью расходометрии также послойно определяются водопроницаемость и коэффициент фильтрации пород, при этом режим фильтрации может быть как установившимся, так и неустановившимся, а скважина совершенной и несовершенной.

Режимные наблюдения должны проводиться как на самом месторождении, так и на участках, находящихся за пределами зоны влияния подземного выщелачивания. Сеть точек режимных наблюдений, к которым относится ряд разведочных и гидрогеологических скважин, поверхностные водотоки, водозаборы, специальные режимные наблюдательные скважины, организуется уже в период предварительной разведки, развивается при детальной. Наблюдения продолжаются вплоть до полной отработки месторождения.

При проведении гидрогеологических исследований ведутся журналы установленного образца, куда заносятся результаты всех

первичных замеров и наблюдений. К сводным графическим документам относятся профили проницаемости пробуренных скважин, гидрогеологические и гидро-динами-ческие карты с выделением областей питания и разгрузки водоносных гори-зонтов, их гидравлического взаимодействия, распространения водоупорных пород, величины на-поров, химического состава и минерализации подземных вод, водо-проводимости и др.

### **Глава 31. Гидрогеологические исследования для организации полигонов захоронения промышленных стоков (материалы Завалей В.А.)**

Подземное захоронение жидких промышленных стоков в глубоких водоносных горизонтах является одним из методов утилизации отходов производства, имеющим достаточно много преимуществ перед традиционными, какими как организация различного рода хранилищ, прудов-испарителей, накопителей и т.п. В первую очередь захоронение промстоков в глубокие водоносные горизонты, осуществленное с соблюдением всех необходи-мых условий, является значи-тельно экологически безопасным по сравнению с поверхностными, неизбежно являющимися источниками поступления загрязнений как в поверхностные и подземные воды, так и в атмосферу. По-мимо это-го, метод подземного захоронения промышленных стоков имеет лучшие экономические показатели по сравнению с разработками сис-тем безоходных технологий или глубокой очистки сточных вод.

В Казахстане выявлено более 700 потенциальных источников загрязне-ния поверхностных и подземных вод, из них более 200 непо-средственно связано именно с промышленными стоками. Особенно актуальна проблема загрязнения водных объектов и окружающей среды для промышленного развитых регионов Казахстана, где перво-очередную роль играют нефтегазодобывающая и перерабатывающая отрасли промышленности.

В соответствии с действующим законодательством Республики Казах-стан проектирование подземных сооружений, связанных с за-хоронением вредных веществ, отходов производства и сточных вод, допускается только при наличии достоверных геолого-гидрогеологических данных о возможности локализации захороняе-мых веществ, стоков в строго определенных гра-ницах и обеспечении гарантий, исключающих проникновение захороненных веществ в со-

седние участки недр, подземные воды питьевого, бальнеологического или теплоэнергетического назначения, на земную поверхность и в атмосферу.

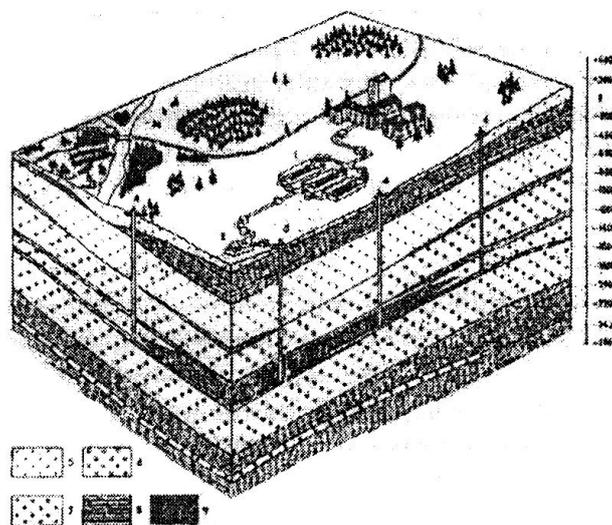


Рис. 93. Принципиальная схема захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты: 1 - накопительная емкость; 2 - насос; 3 - нагнетательная скважина; 4 - наблюдательные скважины; 5 - зона активного водообмена (пресные подземные воды); 6 - зона замедленного водообмена (солончатые подземные воды); 7 - зона застойного режима (соленые подземные воды и рассолы); 8 - водоупорные породы; 9 - закачанные промышленные стоки.

Осуществляется такое захоронение промстоков с помощью строительства специальных полигонов захоронения, располагаемых по возможности вблизи накопителей сточных вод (рис. 93). При организации работ по закачке промстоков существуют определенные требования как к водовмещающим породам водоносных горизонтов – коллекторов, так и к закачиваемой жидкости.

Некоторые из таких требований заключаются в следующем:

- горизонт не должен содержать пресные или слабосолончатые воды, пригодные для питьевых целей, а также воды, используемые для бальнеологических или теплоэнергетических целей; закачка промышленных стоков возможна лишь в горизонт, содержащий минерализованные воды, непригодные для практического использования;
- пласт-коллектор в пределах исследуемой площади не должен содержать полезных ископаемых и эксплуатироваться;

– водоносные горизонты-коллектора, выбранные для закачки, должны быть надежно изолированы от эксплуатируемых или пригодных для какой-либо эксплуатации водоносных горизонтов;

– выше водоупора, перекрывающего пласт-коллектор, должно залегать не менее одного буферного водоносного горизонта, содержащего подземные воды, непригодные для питьевых, бальнеологических или промышленных целей;

– водоносный горизонт-коллектор в ближайшей окрестности (в радиусе 20 – 30 км) не должен выходить на поверхность или быть связан с рекой;

– подземное захоронение сточных вод нельзя осуществлять в тектонически сложных и сейсмически активных районах;

– пласт-коллектор должен обладать достаточно высокой водопроницаемостью, обеспечивающей экономически эффективный сброс заданного количества промстоков;

– водоносные горизонты-коллектора, выбранные для закачки, должны быть надежно изолированы от эксплуатируемых или пригодных для какой – либо эксплуатации водоносных горизонтов;

– водовмещающие породы водоносных горизонтов-коллекторов не должны быстро кольматироваться при эксплуатации нагнетательных скважин;

– закачиваемые сточные воды должны быть совместимы с породами и подземными водами поглощающего водоносного горизонта, для чего необходимо проведение специальных исследований.

При проектировании и строительстве полигона для захоронения промстоков осуществляется комплекс мероприятий, включающих как специальные изыскания по выбору наиболее подходящих для этих целей горизонтов и мест заложения поглощающих скважин, так и выбор системы водоподготовки стоков для кондиций, обеспечивающих совместимость с подземными водами горизонта-коллектора.

Для выбора полигона захоронения промстоков в глубокие водоносные горизонты проводится определенный комплекс геологоразведочных работ, включающих выбор наиболее перспективных пластов-коллекторов по результатам гидрогеологических, геофизических и гидрогеохимических исследований, бурение скважин и проведение специализированного изучения поглощающих возможностей нагнетательных скважин.

Благоприятными для подземного захоронения промстоков с точки зрения геологического строения являются осадочные отложе-

ния, имеющие спокойные, без тектонических нарушений условия залегания. Таким условиям удовлетворяют в первую очередь территории платформ и краевых прогибов и, за редким исключением, – межгорные и предгорные впадины.

Гидрогеологические условия, благоприятные для захоронения, – застойный режим или замедленный водообмен, что характеризуется в первую очередь повышенной минерализацией подземных вод и не большими скоростями движения. Глубина залегания поглощающего пласта коллектора должна быть определена для каждого конкретного района отдельно, но при этом, с одной стороны, должна соблюдаться санитарная безопасность, а с другой, – техническая осуществимость мероприятий по захоронению.

Одним из условий, лимитирующих захоронение промышленных стоков, являются фильтрационные свойства горизонта-коллектора, определяющие приемистость скважин. Однако эти показатели могут измениться (чаще всего ухудшаться), так как при закачке промстоков, насыщенных минеральными солями, органическими веществами, бактериями, механическими примесями в призабойной зоне происходит выпадение осадка, рост бактерий и другие процессы, что в свою очередь приводит к кольматации призабойной зоны.

Проблемы захоронения промышленных стоков в глубокие водоносные горизонты многогранны и включают большое количество вопросов, соприкасающихся с различными областями знаний:

- изучение геологического строения и гидрогеологических условий с целью выявления возможных поглощающих горизонтов;
- бурение и исследование скважин для определения их приемистости и гидрогеологических параметров водоносных горизонтов;
- лабораторные исследования для изучения физико-химических свойств водовмещающих пород водоносных горизонтов, разделяющих их слабопроницаемых отложений и подземных вод;
- изучение взаимодействия промышленных стоков с горными породами и пластовыми водами;
- прогноз изменения приемистости скважин во времени и миграции отдельных компонентов сточных вод в подземных водах;
- обеспечение экологической безопасности в районах полигонов захоронения промышленных стоков и др.

Исследования по оценке условий захоронения промышленных стоков следует проводить в следующие стадии: *предварительная оценка и детальные исследования.*

Целью гидрогеологических исследований для предварительной оценки возможности захоронения промстоков является выяснение принципиальной возможности захоронения промстоков в глубокие водоносные горизонты и обоснование проекта дальнейших гидрогеологических исследований.

Задачи стадии предварительной оценки:

1. Изучение геологических, тектонических, гидрогеологических и других условий по району.

2. Сравнительная оценка гидрогеологических условий отдельных горизонтов, рекомендуемых для подземного сброса сточных вод.

3. Обоснование выбора рабочего пласта-коллектора для последующего детального изучения и его будущей эксплуатации.

*При этом проводятся следующие виды работ:*

– сбор, систематизация и обобщение геологических, гидрогеологических и геофизических материалов по району исследований. Изучение и обобщение всех имеющихся по району материалов глубокого бурения структурных, нефтяных и гидрогеологических скважин с обязательным анализом результатов каротажных исследований скважин;

– составление на основе анализа обобщенных материалов предыдущих работ: геолого–структурной карты и следующих карт отдельно для каждого горизонта (погоризонтных карт):

– глубин залегания кровли водоносного горизонта;

– общей и эффективной мощности водоносного горизонта;

– водопроницаемости водоносного горизонта;

– минерализации и химического состава подземных вод;

– схем сопоставления геолого-геофизических материалов с выделением пластов, перспективных для захоронения сточных вод;

– составление отчета с обоснованием предварительно выбранной схемы нагнетания и определением задач дальнейших стадий исследований.

На основании анализа результатов предварительной стадии исследований рассматриваются следующие основные вопросы [13]:

– обосновывается необходимость осуществления подземного захоронения промстоков с учетом мнения научно-исследовательских и проектных организаций;

– приводятся сведения по объемам, химическому составу и режиму поступления промстоков для захоронения;

– приводятся сведения о геологическом строении и гидрогеологических условиях района;

– подтверждается отсутствие в районе исследований месторождений полезных ископаемых, в том числе подземных вод, могущих испытать влияние захоронения промстоков;

– осуществляется выбор пласта – коллектора, «буферного» горизонта, а также дается оценка надежности водоупоров, изолирующих эти горизонты;

– осуществляется предварительный расчет давления при закачке промстоков в скважины и прогнозируется распространение компонентов промстоков по площади (определяются размеры санитарно-защитных зон полигона);

– рассматриваются условия взаимодействия удаленных отходов с пластовыми водами и вмещающими породами пластов – коллекторов (при необходимости обосновывается схема подготовки промстоков к захоронению);

– обосновывается местоположение полигона захоронения промстоков, его принципиальная схема и состав основных сооружений;

– разрабатываются мероприятия по созданию санитарно-защитных зон полигона и созданию системы мониторинга по контролю недр;

– оценивается влияние захоронения промстоков на окружающую среду;

– уточняются задачи проведения детальных исследований применительно к схеме проектируемого полигона.

В составе детальных исследований для подземного сброса стоков проводятся следующие виды гидрогеологических работ:

– проведение наземных геофизических работ с целью уточнения условий залегания пласта – коллектора и разделяющих его водоупорных горизонтов;

– бурение разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин с размещением их по площади детальной разведки применительно к принятой технологической схеме нагнетания стоков для подземного их сброса с целью более детального изучения гидрогеологических условий выбранной площади в целом и рабочего пласта – коллектора;

– каротаж гидрогеологических скважин (электрокаротаж, гамма-кароаж, кавернометрия, резистивиметрия и другие виды) с целью

детального изучения литологического разреза и предварительной оценки коллекторских свойств водоносных пластов;

– опытно–фильтрационные работы с целью детального изучения коллекторских свойств выбранного рабочего пласта – коллектора и определение необходимых расчетных гидрогеологических параметров. Опытные откачки и нагнетания проводятся по общепринятой методике;

– лабораторные исследования по определению химического состава пластовых вод, исследование кернового материала с целью определения проницаемости и детального изучения процессов химического взаимодействия со сточными водами, в том числе изучение возможного естественного обеззараживания стоков при длительной их закачке;

– опытные работы по закачке реальных или имитированных стоков, выбор оптимальной конструкции фильтров и предварительное изучение режима нагнетания при будущей эксплуатации;

– камеральные работы, составление отчета с рекомендациями по техно-логической схеме нагнетания в условиях длительной эксплуатации пласта коллектора и методике стационарных наблюдений за режимом нагнетания.

На основании полученных материалов детальных исследований составляется рабочий проект, где даются конструктивные решения по отдельным сооружениям и узлам полигона захоронения промстоков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Анатольевский П.А., Малоян А.В., Шнееров О.М.* Технология бурения скважин на воду. М., 1962, 248 с.
2. *Ансберг Е.А., Боровицкий В.П., Бутиц Ш.Ф.* и др. Практикум по общей гидрогеологии. Л., 1965, 232 с.
3. *Аравин В.И., Нумеров С.Н.* Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. М., 1953, 616 с.
4. *Бабушкин В.Д., Пересунько Д.И., Прохоров С.П.* и др. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых. М., 1969, 408 с.
5. *Бабушкин В.Д., Плотников И.И., Чуйко В.М.* Методы изучения фильтрационных свойств неоднородных пород. М., 1974, 208 с.
6. *Башкатов Д.П., Роговой В.Л.* Бурение скважин на воду. М., 1976, с.
7. *Башкатов Д.П., Тесля А.Г.* Гидрогеологические наблюдения при бурении и опробовании скважин на воду. М., 1970, 144 с.
8. *Белицкий А.С., Дубровский В.В.* Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. М., 1974, 255 с.
9. *Беляков В.М., Попков В.А., Краснощекое Г.М.* Учебная книга мастера по бурению скважин на воду. М., 1976, 367 с.
10. *Биндеман Н.Н., Язвин Л.С.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., 1970, 208 с.
11. *Богомолов Г.В.* Гидрогеология с основами инженерной геологии. М., 1975.
12. *Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С.* Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., 1973, 304 с.
13. *Боревский Б.В., Хордикайнен М.А., Язвин Л.С.* Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. М., 1976, 246 с.
14. *Бочевер Ф.М.* Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водопонижительных установок. М., 1963, 59 с.
15. *Бочевер Ф.М.* Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. М., 1968, 327 с.
16. *Бочевер Ф.М.* Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М., 1968, 352 с.

17. *Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В.* и др. Основы гидрогеологических расчетов. 2-е изд. М., 1969, 367 с.
18. *Вевиоровская М.А., Кравченко И.П., Румянцев С.А.* Методы аналогий применительно к фильтрационным расчетам. М., 1962, 257с.
19. *Гавич И.К., Лучшева А.А., Семенова С.М.* Сборник задач по общей гидрогеологии. М., 1964, 252 с.
20. *Гармонов И.В., Лебедев А.В.* Основные задачи по динамике подземных вод. М., 1952, 244 с.
21. *Гордеев П.В., Шемелина В.А., Шулякова О.К.* Руководство к практическим занятиям по гидрогеологии. М., 1981.
22. *Гидрогеологическая карта СССР* масштаба 1 : 2 500 000. Объяснительная записка. М., 1972.
23. *Дружинин П. И.* Изучение региональных потоков подземных вод методом электрогидродинамических аналогий. М., 1966, 336 с.
24. *Дружинин И. И.* Метод электрогидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации. М. – JL, 1956, 356 с.
25. *Жернов И.Е., Шестаков В.М.* Моделирование фильтрации подземных. М., 1971, 266 с.
26. *Завалей В.А.* Поиски и разведка подземных вод: Учебник. – Алматы: КазНТУ, НИЦ «Ғылым», 2002. – 258 с.
27. *Инструкция по применению эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод.* М., 1976.
28. *Каменский Г.Н.* Основы динамики подземных вод. 2-е изд. М., 1943, 260 с.
29. *Климентов П.П.* Общая гидрогеология. 3-е изд. М., 1971, 224с.
30. *Климентов П.П.* Сборник задач по динамике подземных вод. М., 1951, 127 с.
31. *Климентов П.П., Богданов Г.Я.* Общая гидрогеология. М., 1977, 357 с.
32. *Климентов П.П., Кононов В.М.* Динамика подземных вод. М., 1977; 440 с.
33. *Климентов П.П., Кононов В. М.* Методика гидрогеологических исследований. М., 1978, 407 с.
34. *Климентов П.П., Сыроватко М. В.* Гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых. М., 1966, 379 с.
35. *Крашин И.И.* Моделирование фильтрации и теплообмена в водонапорных системах. М., 1976, 159 с.

36. Крашин И.И., Пересунько Д.И. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования (методическое руководство). М., 1972, 206 с.
37. *Опытно-фильтрационные работы/Под*, ред. Шестакова В.М. и Башкава Д.Н. М., 1974, 202 с.
38. Овчинников А.М. Общая гидрогеология. 2-е изд. М., 1955, 380с.
39. Оноприенко М.Г. Бурение и оборудование гидрогеологических скважин. М., 1978, 168 с.
40. Перцовский В.В. Обоснование режима опытных откачек. – Разведка и охрана недр. 1976, № 7, с. 46–49.
41. Плотников Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод для крупного водоснабжения. М., 1968, ч. 2, 466 с.
42. Плотников Н.А., Сычев К.И. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод с искусственным их восполнением. М., 1976, 152с.
43. *Поиски и разведка* подземных вод для крупного водоснабжения (методическое пособие). М., 1969, 327 с.
44. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия. Л., 1975, 208 с. 43.
45. Резников А. А., Муликовская Е. Н., Соколов И. И. Методы определения природных вод. 3-е изд. М., 1970, 477 с.
46. Самсонов Б.Г., Бурдакова О.Л., Кривошеева Л.И. Рекомендации обработке результатов опытных работ на основе уравнений неустановившегося движения. М., 1969, 104 с.
47. Силин-Бекчурин А.И. Динамика подземных вод. М., 1965, 380с.
48. *Справочник* гидрогеолога. М., 1962, 616 с.
49. *Справочник* по бурению и оборудованию скважин на воду. / Под Дубровского В.В. 2-е изд. М., 1972, 511 с.
50. *Справочное руководство* гидрогеолога. 2-е изд. Л., 1967, т. 1, 592 с.
51. *Справочник* по специальным работам. Проектирование скважин для водоснабжения. М., 1970, 200 с.
52. *Техника* проведения и методика обработки опытно-фильтрационных вод (методические рекомендации). М., 1969, 185 с.
53. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. 4-ое изд. М., 1975, 303 с.
54. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М., 1973, 326 с.
55. Шестаков В.М., Кравченко И.П., Пашковский И.С. Практикум по химии подземных вод. 2-е изд. М., 1975, 270 с.
56. Щелкачев В.П., Ланук Б.Б. Подземная гидравлика. М., 1949, 523 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение		3
<b>ЧАСТЬ I. ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ</b>		
<b>Глава 1</b>	<b>Круговорот воды в природе</b>	7
<b>Глава 2</b>	<b>Испарение</b>	13
<b>Глава 3</b>	<b>Понятие о подземных водах</b>	16
	3.1 Теория происхождения и формирование подземных вод	17
	3.2 Виды воды в горных породах	21
<b>Глава 4</b>	<b>Параметры поверхностного и подземного стоков</b>	28
<b>Глава 5</b>	<b>Водные свойства горных пород</b>	31
<b>Глава 6</b>	<b>Физические свойства и химический состав подземных вод</b>	42
	6.1 Обработка химических анализов подземных вод	43
	6.2 Систематизация химических анализов подземных	50
	6.3 Графические методы изображения химического состава вод	55
<b>Глава 7</b>	<b>Грунтовые воды</b>	63
	7.1 Построение карт гидроизогипс и глубин залегания грунтовых вод	64
	7.2 Анализ карт гидроизогипс	67
<b>Глава 8</b>	<b>Артезианские воды</b>	70
	8.1 Построение карт гидроизопьез и анализ карт	73
	8.2 Анализ карт гидроизопьез	74
<b>Глава 9</b>	<b>Трещинные воды</b>	79
<b>Глава 10</b>	<b>Карстовые воды</b>	82
<b>ЧАСТЬ II. ДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД</b>		
<b>Глава 11</b>	<b>Основные законы движения подземных вод</b>	88
<b>Глава 12</b>	<b>Определение гидрогеологических параметров</b>	93
	12.1 Определение гидрогеологических параметров по данным откачек из скважин при установившемся движении	94

	12.2 Определение гидрогеологических параметров по данным откачек из скважин при неустановившемся движении	98
<b>Глава 13</b>	<b>Определение расхода подземных вод и построение депрессионных кривых потоков для установившегося движения в однородных и неоднородных пластах</b>	104
<b>Глава 14</b>	<b>Применение уравнений неустановившегося движения подземных вод для решения гидрогеологических задач</b>	114
<b>Глава 15</b>	<b>Движение подземных вод в районах гидротехнических сооружений и водохранилищ</b>	118
	15.1 Прогноз подпора грунтовых вод	118
	15.2 Фильтрационные расходы воды под плотиной и в обход ее плечевых примыканий, потери воды на фильтрацию из водохранилищ и каналов	122
<b>Глава 16</b>	<b>Движение подземных вод к водозаборным и дренажным сооружениям</b>	129
	16.1 Расчеты одиночных водозаборов	129
	16.2 Обоснование расчетных схем и расчеты взаимодействующих водозаборов и дренажных сооружений	136

### **ЧАСТЬ III. МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

<b>Глава 17</b>	<b>Проектирование и производство гидрогеологических съемочных работ</b>	145
<b>Глава 18</b>	<b>Требования к конструкциям гидрогеологических скважин, наблюдение и документация при проходке скважин</b>	178
	18.1 Обоснование конструкции гидрогеологических скважин	179
	18.2 Гидрогеологические наблюдения и документация при бурении скважин	186
<b>Глава 19</b>	<b>Опытно-фильтрационные работы</b>	190
	19.1 Виды откачек, их проектирование	190
	19.2 Оборудование для опытных откачек	206

	19.3 Подготовка и проведение опытной откачки	217
<b>Глава 20</b>	<b>Опытные нагнетания воды в скважины</b>	225
<b>Глава 21</b>	<b>Опытные наливывы в шурфы</b>	239
<b>Глава 22</b>	<b>Изучение режима подземных вод, направления и скорости их движения</b>	246
<b>Глава 23</b>	<b>Гидрогеологические исследования для целей водоснабжения</b>	256
	23.1 Определения потребностей в воде и количества скважин водозабора для различных объектов	257
<b>Глава 24</b>	<b>Эксплуатационные запасы и методы их оценки</b>	259
<b>Глава 25</b>	<b>Требования к разведке и изученности месторождений подземных вод</b>	264
<b>Глава 26</b>	<b>Определение водопритоков к горным выработкам</b>	270
<b>Глава 27</b>	<b>Гидрогеологические исследования в связи с орошением и осушением земель</b>	272
<b>Глава 28</b>	<b>Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых</b>	280
<b>Глава 29</b>	<b>Гидрогеологические исследования на нефтяных и газовых месторождениях</b>	287
<b>Глава 30</b>	<b>Гидрогеологические исследования при подземном выщелачивании полезных ископаемых</b>	291
<b>Глава 31</b>	<b>Гидрогеологические исследования для организации полигонов захоронения промышленных стоков</b>	298
	<b>Литература</b>	305

**Кожназаров А.Д.  
Рачков И.С.**

## **ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

Подписано в печать 20.06.2015 г.  
Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная. Объем 19,5 п.л.  
Тираж 200 экз.  
Отпечатано в типографии издательства «Ценные бумаги»



г. Алматы, ул. Желтоксан, 96-98/80. Тел./факс: 8(727) 273-38-26, 273-07-42.