СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ГИДРОГЕОЛОГА

2

НЕДРА 1967

СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ГИДРОГЕОЛОГА

Издание второе, исправленное
и дополненное

Том 2

Под редакцией В. М. МАКСИМОВА

1940
105531



Издательство „НЕДРА". *Ленинградское отделение.*
Ленинград · 1967



РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГИДРОГЕОЛОГИИ

ГЛАВА I

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

§ 1. Задачи гидрогеологической съемки

Гидрогеологическая съемка ставит своей целью изучение гидрогеологических условий и картирование. В процессе гидрогеологического картирования должны быть зафиксированы распространение, залегание, условия питания, движения и разгрузки подземных вод; литологический состав, фильтрационные свойства, выдержанность по площади и мощности водовмещающих и водоупорных пород; тип, величина напора, качество, ресурсы, режим подземных вод, а также разнообразные геологические, геоморфологические, гидрологические, геокриологические, климатические и другие факторы формирования подземных вод.

В задачу гидрогеологической съемки может также входить выяснение различных сторон деятельности подземных вод — их влияния на физико-геологические явления, возникновение различных форм рельефа, горные породы, полезные ископаемые и т. д.

Задачи гидрогеологической съемки меняются в зависимости от ее масштаба и назначения. По масштабу (детальности) гидрогеологические съемки делятся на мелкомасштабные (1 : 1 000 000 — 1 : 500 000), среднемасштабные (1 : 200 000 — 1 : 100 000) и крупномасштабные (1 : 50 000 и крупнее).

Мелкомасштабная гидрогеологическая съемка проводится в не изученных в гидрогеологическом отношении районах. Ее целью является общая оценка водоносности пород и качества подземных вод для составления обзорных гидрогеологических карт.

В результате мелкомасштабной съемки должны быть выделены основные водоносные комплексы и горизонты, условия питания, движения и разгрузки подземных вод.

Среднемасштабная гидрогеологическая съемка выполняется в районах, охваченных гидрогеологическим картированием мелкого масштаба, а также в районах, где изучение подземных вод ранее не проводилось. Задачей среднемасштабного картирования также является изучение общих гидрогеологических условий района, но с большей степенью детальности, чем при мелкомасштабной съемке. При проведении среднемасштабной съемки картируются водоносные комплексы и горизонты, соответствующие, примерно, стратиграфическому ярусу или его части, изучается водоносность пород, качество и режим подземных вод, физико-геологические явления, связанные с деятельностью подземных и поверхностных вод.

Крупномасштабная гидрогеологическая съемка применяется для решения специальных задач на стадиях технического и рабочего

проектирования — для выбора участков водозабора, выявления запасов подземных вод, изучения обводненности месторождения, установления условий осушения или орошения участка и др. В процессе гидрогеологической съемки крупного масштаба картируются водоносные горизонты, выделяемые в пределах свиты и более детальных стратиграфических подразделений. Наибольшее внимание уделяется тем гидрогеологическим элементам, изучение которых способствует решению определенной практической задачи, поставленной перед съемкой.

Исходя из поставленных задач, мелкомасштабная и среднемасштабная гидрогеологическая съемка называется общей, а крупномасштабная — специальной.

§ 2. Подготовка к полевым работам

Подготовка к полевым работам состоит из проектирования, научно-методической подготовки и организации работ.

Проектирование гидрогеологической съемки выполняется с учетом фондовых и литературных материалов по геологии и гидрогеологии района. Проект содержит две части: 1) гидрогеологическую и 2) производственно-техническую. В нем должны быть обоснованы задачи и назначение работ, а также виды, объемы и методика проектируемых исследований.

Проектом предусматриваются наиболее экономичные транспортные средства, оборудование и рациональная организация работ. В проекте должны содержаться данные для расчета стоимости работ при составлении сметы. Содержание проекта меняется в зависимости от особенностей и видов проектируемых работ. Это прежде всего относится к проектам специализированных съемок, которые должны отражать их целевую направленность и специфику.

Научно-методическая подготовка к проведению полевых работ продолжается после составления проекта и длится до выезда в поле. Она включает:

1) детальную проработку литературы и фондовых материалов по геологии, гидрогеологии, геоморфологии, климатологии, гидрологии района, знакомство с геологическими коллекциями, дешифрирование аэрофотоматериалов по району работ;

2) изучение литературы по методике гидрогеологических исследований (особенно при проведении специальной гидрогеологической съемки);

3) составление в соответствии с проектом гидрогеологической съемки рабочей программы исследований, устанавливающей время и последовательность проведения намеченных видов работ, детализирующей методику их проведения, определяющей направление основных маршрутов и мест изучения опорных разрезов.

В процессе организации полевых работ партия комплектуется инженерно-техническим персоналом, оснащается необходимым снаряжением, транспортными средствами, оборудованием, продовольствием, материалами и транспортируется к месту работ.

§ 3. Методика гидрогеологической съемки

Методы исследований

При проведении гидрогеологической съемки применяют следующие методы исследований: 1) маршрутные исследования; 2) картировочное бурение и гидрогеологическое опробование скважин; 3) режимные наблю-

дения; 4) геофизические работы; 5) аэрофотосъемку и аэровизуальные наблюдения; 6) лабораторные работы.

Наиболее рациональные сочетания этих методов, их объемов и последовательность проведения выбираются на основании всестороннего учета геологических и гидрогеологических условий территории с целью успешного решения поставленных перед съемкой задач в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами.

Основным видом работ, применяемых при гидрогеологической съемке, являются маршрутные исследования. При общей гидрогеологической съемке проводятся также картировочное бурение и гидрогеологическое опробование скважин (особенно в закрытых платформенных районах), аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения (особенно в районах плохой проходимости). При проведении специальной гидрогеологической съемки обычно используются все перечисленные выше методы исследований. Сравнительно редко проводятся наблюдения с воздуха, так как обычно ограничиваются результатами камерального дешифрирования аэрофотоснимков.

В процессе гидрогеологической съемки должен быть собран фактический материал, достаточный для характеристики гидрогеологических условий территории, соответствующей целям и масштабу исследований. Требования, предъявляемые к достоверности результатов гидрогеологической съемки, называются кондиционными.

Инструкции по гидрогеологической съемке требуют, чтобы объем, содержание и методика различных видов исследований, применяемых при съемке, учитывали специфику гидрогеологической обстановки, способствовали всестороннему изучению подземных вод.

МАРШРУТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задачей маршрутных исследований является изучение и картирование геоморфологических элементов, выходов пород на поверхность (обнажений, осыпей, курумов и др.), границы распространения каждой литолого-фациальной толщи, тектонических зон, водоносных и сдренированных горизонтов, отдельных водопунктов (источников, колодцев, скважин и др.), физико-геологических явлений (оползней, карста, болот, мерзлоты и др.), ручьев, рек, озер, влаголюбивой, сухолюбивой, солеустойчивой растительности и т. д. Получаемый в результате маршрутных исследований фактический материал является наиболее важным для характеристики верхних водоносных горизонтов и для составления гидрогеологической карты.

Расположение и частота маршрутов зависят от масштаба и целей съемки, сложности геолого-гидрогеологических условий, рельефа и проходимости местности. Маршруты должны достаточно равномерно охватывать всю площадь съемки (примерно один-два маршрута на каждый квадратный сантиметр карты в масштабе съемки). Наибольшее внимание уделяется изучению глубоко врезанных долин рек, где в уступах террас наблюдаются многочисленные источники, иногда расположенные в несколько ярусов, значительные по протяженности и высоте обнажения.

Эти маршруты должны дополняться поперечными пересечениями, которые располагаются по боковым притокам рек. Сеть маршрутов может быть сгущена при изучении отдельных участков, представляющих практический интерес (например, гидрохимическая аномалия при проведении гидрохимической съемки; места выхода минеральных источников при поисках минеральных вод; участки распространения высокодебитных источников с пресной водой при гидрогеологической съемке для водоснабжения

и т. д.) или определяющих главные гидрогеологические особенности района (области питания или разгрузки водоносных горизонтов, водоносные тектонические зоны и др.).

Количество точек наблюдения зависит от сложности геологических и гидрогеологических условий, выдержанности водоносных горизонтов и постоянства их гидрогеологических характеристик (степени обводненности пород, глубины залегания вод, химического состава вод и др.).

Выделяются следующие основные виды маршрутных наблюдений: геоморфологические, геологические, гидрогеологические, гидрологические, геоботанические, геокриологические (мерзлотные). Маршрутные наблюдения сопровождаются качественным и количественным опробованием подземных вод, которыми необходимо охарактеризовать все участки, различающиеся по гидрогеологическим и структурно-геологическим условиям. К маршрутным наблюдениям предъявляются определенные требования, которые излагаются ниже.

Геоморфологические наблюдения. Задачами геоморфологических наблюдений при гидрогеологической съемке являются:

1) изучение распространения и особенностей различных форм рельефа и их связей с подземными водами;

2) получение дополнительного материала для картирования геологических структур, толщ различного литологического состава и особенно четвертичных отложений;

3) выявление характера, направленности и интенсивности физико-геологических явлений, связанных с формированием рельефа;

4) освещение геоморфологических условий для практических целей (строительства промышленных и горных предприятий, дорог и др.).

Основным методом геоморфологических исследований является непосредственное наблюдение и описание форм рельефа. Главные геоморфологические маршруты располагаются вкрест простирания и по простиранию основных типов рельефа. Причем особенности рельефа описываются не только на специальных геоморфологических точках, но и на обнажениях, водопунктах и т. д.

При описании рельефа необходимо выяснить:

1) морфографию — внешний вид рельефа. Выделяются и описываются крупные элементы рельефа (водоразделы, речные долины, вершины и др.), отдельные формы (холмы, гряды, увалы, овраги, террасы, уступы и др.), элементы форм (склоны террас, характер бровки и т. д.);

2) морфометрию — длину, ширину, высоту или глубину каждой формы рельефа, уклон ее поверхности, абсолютные отметки описываемых точек;

3) происхождение элементов рельефа и степень участия в их образовании подземных вод.

Особое внимание при гидрогеологической съемке уделяется изучению речных долин, их террас и форм рельефа, связанных с деятельностью подземных вод (оползневые, карстовые, просадочные, суффозионные, болотные) или мерзлоты (термокарстовые, солифлюкционные, пучинные и др.).

По результатам геоморфологических наблюдений выделяются основные типы рельефа территории: горнотектонический, вулканический, структурно-пластовый, скульптурный, или эрозионный, аккумулятивный, а также составляется геоморфологическая карта.

Геологические наблюдения. Задачами геологических наблюдений при гидрогеологической съемке являются:

1) изучение литологического состава, физических свойств и залегания пород с целью установления условий их обводненности;

2) сопоставление имеющейся геологической основы с наблюдаемым стратиграфическим разрезом изучаемого района; ознакомление с характером стратиграфических и структурных границ и контактов;

3) привязка выделяемых водоносных горизонтов и комплексов к определенным литолого-стратиграфическим толщам;

4) изучение физико-геологических явлений.

Объектами геологических наблюдений являются выходы пород на поверхность, естественные и искусственные обнажения, а также разрезы пород, вскрываемые горными выработками, расчистками и т. д. Точки геологических наблюдений обычно совпадают с гидрогеологическими и геоморфологическими.

Густота и расположение маршрутов и точек геологических наблюдений конкретно определяются в зависимости от сложности геологического строения, масштаба и назначения гидрогеологической съемки.

Геологическими наблюдениями необходимо прежде всего выявить такие особенности различных литолого-стратиграфических толщ, которые определяют их фильтрационные свойства (трещиноватость, закарстованность, эффективную пористость, выветрелость, раздробленность, плотность, гранулометрический состав и др.).

В процессе гидрогеологической съемки следует закартировать и описать наблюдающиеся в районе физико-геологические явления, выяснить их происхождение, возраст и причины образования. Например, при описании явлений, вызывающих разрушение склонов (оползни, осовы, оплывины, обвалы), обращается внимание на размеры; положение на склоне; формы рельефа, образовавшиеся при разрушении склонов; литологический состав, состояние и водоносность пород; крутизну склона, его ориентировку; характер растительности; деятельность описываемого явления, изменения, вносимые им в геологические и гидрогеологические условия района.

Гидрогеологические наблюдения проводятся с целью изучения степени и характера водоносности пород, глубины залегания подземных вод, условий питания, движения и разгрузки их, физических свойств и химического состава.

Объектами гидрогеологических наблюдений являются источники, мочажины, колодцы, гидрогеологические скважины и горные выработки.

Гидрологические наблюдения. Задачами гидрологических исследований, проводимых при гидрогеологической съемке, являются: изучение взаимосвязи подземных и поверхностных вод; измерение расходов поверхностных вод; выяснение физических свойств и химического состава поверхностных вод.

Данные гидрологических наблюдений используются для ориентировочной оценки естественных ресурсов подземных вод, для характеристики условий их питания и разгрузки. Гидрологические наблюдения проводятся на реках, ручьях, озерах, водоемах, болотах, заболоченных массивах, оросительных и осушительных каналах. При их изучении следует установить следующие данные: размеры и глубину водотока и водоема; литологический состав и водоносность пород, слагающих дно и берега водотока и водоема; режим поверхностных вод; расход поверхностных вод на различных участках водотока; физические свойства и химический состав вод; определение мест подтока подземных вод (субаквальные источники и др.) по изменению температуры и минерализации поверхностных вод, а также по увеличению расхода водотока.

Гидрологические наблюдения следует выполнять в меженные периоды, когда питание рек осуществляется главным образом за счет подземных вод.

Геоботанические наблюдения позволяют получить важные сведения об изменении особенностей подземных вод, близко залегающих к поверхности земли, о литологическом составе и фильтрационных свойствах водовмещающих пород. В качестве показателя гидрогеологических условий используются растительные сообщества, а также отдельные виды растений.

С. В. Викторов и Е. А. Востокова называют такие сообщества гидроиндикаторами и делят их на две группы: прямые гидроиндикаторы и косвенные.

К прямым гидроиндикаторам относятся растительные сообщества, образованные растениями, корневая система которых достигает грунтовых вод или вод капиллярной каймы, залегающих над водоносным горизонтом.

Косвенными гидроиндикаторами являются сообщества, образованные растениями, существующими за счет влаги атмосферных осадков. Эти растения указывают на определенную геоморфологическую обстановку и соответствующий литологический состав пород, что позволяет косвенно судить о гидрогеологических условиях.

Геоботанические наблюдения в засушливых областях позволяют выявить участки с различными глубинами залегания подземных вод; дать прогноз о качестве вод на этих участках; показать границы между некоторыми литологическими разностями пород [Востокова и др., 1962].

Наиболее благоприятными для геоботанических исследований в засушливых районах являются лето и осень. В процессе проведения исследований необходимо отмечать наиболее резкие границы растительных сообществ и выявлять причины их смены. Для более полной расшифровки геоботанических данных целесообразно включать в состав гидрогеологических партий специалистов ботаников.

Геоботанические наблюдения дают значительный эффект для расшифровки гидрогеологических особенностей и в других ландшафтно-климатических обстановках. Так, например, в районах развития болот и заболоченных массивов по характеру растительности можно установить тип водного питания болот. При исследовании болотных массивов следует обращать внимание на характер растительного покрова и его изменение по площади, необходимо выявить тип болотного микроландшафта (лесной, травяной, моховый, смешанный и т. д.), составить схематические карты распределения различных растительных сообществ на болоте.

При гидрогеологической съемке в залесенных районах геоботанические наблюдения помогают установлению некоторых физико-геологических явлений и литологических особенностей пород. В качестве примеров можно привести «пьяный лес» при возникновении оползней, наклон деревьев к центру участка при развитии карста и термокарста, приуроченность соснового леса, отчасти берез, к легким грунтам, а ели и кедра — к более тяжелым.

В процессе геоботанических исследований отбираются наиболее типичные растения — гидроиндикаторы для ботанического, иногда спектрального анализов.

Геокриологические (*мерзлотные*) *наблюдения* проводятся с целью изучения закономерностей распространения и особенностей мерзлых пород; влияния мерзлоты на гидрогеологические условия картируемой территории; физико-геологических явлений, связанных с промерзанием и оттаиванием пород.

При производстве геокриологических исследований фиксируются состояние и свойства мерзлых пород, криогенные и посткриогенные явления.

Описание разреза многолетнемерзлых пород в обнажениях, выработ-

ках и т. п. проводится, как обычно, послойно сверху вниз. Наиболее тщательно изучают льдистость и особенности строения мерзлой породы, обусловленные формой, размером и залеганием линз, прослоек, прожилок, корок и гнезд льда. Особое внимание уделяется жильным льдам. Делаются зарисовки текстуры ледяных тел, отмечают характер распределения минеральных примесей, воздушных пор, наличие растительных и животных остатков, включений микроорганизмов. Изучение текстуры и взаимоотношения льдов с вмещающими породами позволяет выяснить природу мерзлоты и направленность мерзлотных процессов. Следует выяснить, в каких пустотах (тектонических, карстовых, порах) образовались льды, как изменяется содержание льда с глубиной. Устанавливается мощность сезоннопромерзающего и сезонноотаивающего слоя. Кроме того, в горных выработках осматриваются ледяные натеки, образующиеся на стенках в результате замерзания инфильтрационных или подземных вод. Устанавливаются причина замерзания вод, объемы льда, динамика его нарастания во времени. Производятся замеры температур воды, льда и пород. Отбираются пробы воды и льда на химический анализ с целью выяснения вопроса, за счет каких вод образовался лед (подмерзлотных, межмерзлотных, надмерзлотных, конденсационных вод или атмосферных осадков). Изучение мерзлых пород сопровождается также отбором образцов, которые необходимо сохранять в мерзлом состоянии до момента их исследования.

Физико-геологические явления, связанные с промерзанием и оттаиванием пород, служат поисковыми показателями на подземные воды. Наиболее важными из них являются наледи подземных вод. Маршрутные наблюдения с целью их изучения производят не менее двух раз (до начала весеннего снеготаяния и в середине — конце лета). При описании наледи указывают экспозицию участка, форму рельефа, к которой она приурочена. Кроме того, отмечают размеры и объем наледи, ее форму, стадию развития, состояние, геологические и гидрогеологические условия образования. Из наледи отбирается проба льда (после оттаивания — воды) на химический анализ. Наледи, обнаруженные в конце лета, так же как и не замерзающие зимой источники, являются поисковым признаком на тектонические нарушения или контакты толщ различного литологического состава.

Весьма важную задачу гидрогеологической съемки представляет выявление таликов, которые обычно устанавливаются по крупным непромерзающим водотокам и водоемам, мощным постоянно действующим источникам, локальным участкам теплолюбивой растительности и др.

При описании бугров пучения, образование которых обычно связано с промерзанием надмерзлотных, реже подмерзлотных вод, следует указывать их тип и вид; форму образования (круглая, овальная, полигональная и др.) и размеры; ориентировку бугров пучения (их расположение помогает установлению направления движения грунтового потока); степень отсортированности материала на поверхности бугра, наличие трещин, их ориентировку и размер; характер растительности и ее распределение; глубину сезонного промерзания или оттаивания в разных частях бугра (при помощи шурфования); взаимосвязь деятельного слоя и толщи многолетнемерзлых пород; наличие в бугре напорных вод, условия их питания и т. д.

При проведении маршрутных исследований в районах распространения многолетней мерзлоты описываются также посткриогенные образования (термокарст, термоабразия, солифлюкция и др.). Их изучение позволяет установить направление современного развития и состояние многолетнемерзлых пород.

Картировочное бурение и гидрогеологическое опробование скважин

Задачами картировочного бурения при гидрогеологической съемке являются:

1) изучение геологического строения территории до глубин 100—200 и более метров;

2) вскрытие и гидрогеологическое опробование водоносных горизонтов;

3) обоснование границ распространения первых от поверхности водоносных горизонтов;

4) оконтуривание участков распространения подземных (преимущественно грунтовых) вод, характеризующихся различными особенностями (минерализацией, химическим составом, глубиной залегания, ресурсами и др.).

Количество картировочных скважин зависит от степени обнажения, сложности гидрогеологических условий и масштаба съемки.

Наибольшее количество скважин закладывается в закрытых платформенных районах, особенно в тех из них, где распространены грунтовые воды с пестрой минерализацией и различной глубиной залегания. При проведении гидрогеологической съемки в открытых горных районах обычно ограничиваются небольшим количеством скважин.

Картировочные скважины, как правило, располагаются по профилям вкрест простирания основных геоморфологических элементов, по направлению движения грунтовых вод с тем, чтобы охарактеризовать изменение их особенностей в различных геоморфологических условиях. При изучении артезианских вод следует располагать скважины по профилям, проходящим через области питания, напора и разгрузки с тем, чтобы установить гидрохимическую, гидродинамическую и температурную зональность в артезианских водоносных горизонтах, а также изменение литологического состава и водопроницаемости вскрываемых пород.

В процессе бурения картировочных скважин описывается гидрогеологический разрез, ведутся наблюдения за проявлением воды, ее уровнем, температурой, фиксируются провалы бурового инструмента, выход газа из скважин, а также отбираются образцы пород и воды для анализов.

После оборудования скважины для гидрогеологического изучения проводится качественное и количественное опробование вскрытых водоносных горизонтов. Методика подобного опробования изложена в гл. III.

Режимные наблюдения

Режимные наблюдения при производстве гидрогеологической съемки имеют целью установление общих закономерностей изменения режима подземных вод (уровня, температуры, дебита, химического состава и др.) во времени в зависимости от воздействия различных природных факторов (климатических, гидрологических, геоморфологических, геологических, гидрогеологических и др.) и в результате хозяйственной деятельности человека. Продолжительность режимных наблюдений определяется длительностью проведения съемочных работ и обычно ограничивается одним-двумя годами. Поэтому по их результатам можно получить лишь предварительные представления о режиме, балансе и условиях формирования подземных вод и наметить режимную сеть для стационарных наблюдений.

Содержание режимных наблюдений определяется их целевой направленностью и видом гидрогеологической съемки. Например, при проведении общей гидрогеологической съемки изучается, преимущественно, режим первого от поверхности водоносного горизонта. Более сложные задачи ставятся перед режимными наблюдениями при проведении специальной гидрогеологической съемки: изучение режима нескольких водоносных горизонтов (в том числе и глубоко залегающих), их взаимосвязи между собой и с поверхностными водами и др. (см. главу V).

По результатам режимных исследований составляются годовые таблицы и графики данных наблюдений по каждой наблюдательной точке за уровнем, дебитом, температурой и химическим составом подземных и поверхностных вод, а также таблицы метеорологических наблюдений; карты гидроизогипс, или глубин залегания грунтовых вод, на определенный период; гидрохимические карты на характерные периоды года с показом минерализации, содержания отдельных компонентов и др.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Геофизическими методами при гидрогеологических исследованиях изучаются геологические разрезы речных долин, скважин и районов; разрывные дислокации и зоны трещиноватости; подземные карстовые формы; определяются направления и скорости движения подземных вод; изучаются многолетняя мерзлота, ее мощность, сквозные и несквозные талики в зоне мерзлых пород, залежи подземного льда и др. (см. главу III).

Аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения

Аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения применяются для картирования грунтовых вод и физико-геологических явлений. Указанные методы позволяют значительно сократить объем других видов полевых исследований (прежде всего маршрутных), повысить производительность в работе, более точно зафиксировать очертания изучаемых объектов и их пространственные изменения.

В настоящее время при производстве полевых работ применяются аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения.

Различают два вида аэрофотосъемки: перспективную, или косую, съемку и плановое аэрофотографирование. Перспективная аэрофотосъемка проводится под определенным углом к горизонту для изучения особенностей типичных ландшафтов, участков разгрузки подземных вод, результатов деятельности физико-геологических явлений, зон тектонических нарушений и др. Перспективные снимки обычно выполняются ручными фотокамерами самими исследователями при аэровизуальных полетах. Плановое аэрофотографирование используется для гидрогеологического картирования всей территории съемки или отдельных ее участков с характерным ландшафтом, наиболее типичными гидрогеологическими условиями.

Рекомендуется следующее соотношение между масштабами гидрогеологических съемок и аэрофотоснимков.

Масштабы гидрогеологических съемок	Масштабы аэрофотоснимков
1 : 1 000 000	1 : 50 000—1 : 60 000
1 : 500 000	1 : 40 000
1 : 200 000	1 : 25 000—1 : 30 000
1 : 100 000	1 : 17 000—1 : 25 000
1 : 50 000	1 : 10 000—1 : 17 000
1 : 25 000	1 : 10 000
1 : 10 000 и крупнее	1 : 5 000

Однако следует учитывать, что при съемке в горноскладчатых областях, в районах со сложными гидрогеологическими условиями используются аэрофотоснимки более крупного масштаба, чем в районах с пологим залеганием пород, простыми гидрогеологическими условиями.

Для правильной интерпретации данных аэрофотосъемки необходимо проведение наземных исследований, целью которых является расшифровка различных контуров на фотоснимках, установление связи грунтовых вод с рельефом, растительностью, почвами, выявление индикаторов грунтовых вод и их фотографических эталонов. Основными видами наземных исследований являются маршрутные наблюдения, бурение и гидрогеологическое опробование скважин.

Гидрогеологическое дешифрирование представляет собой сложную задачу, так как оно охватывает комплекс признаков: топографических, гидрологических, геологических, геоботанических, геокриологических и собственно гидрогеологических. Области разгрузки подземных вод фиксируются по источникам, травертинам, наледям значительного размера, оплывинам, оползням. Участки развития грунтовых вод (часто их неглубокого залегания) устанавливаются по распространению определенных сообществ растительности (гидроиндикаторов), определенных типов почв (солончаков, болотных и др.), выходам на поверхность водопроницаемых пород, по выделению характерных типов ландшафта (ледникового, карстового, термокарстового, конусов выноса и др.), по некоторым гидрогеологическим признакам и т. п.

Аэровизуальные наблюдения применяются либо при рекогносцировочных исследованиях, либо при съемках различного масштаба (особенно среднего и мелкого) для корректировки наземных наблюдений. Аэровизуальные наблюдения ведутся с самолетов, летающих со скоростью 100—160 *км/ч*.

Длительность аэровизуального полета не должна превышать 3 *ч* в день с тем, чтобы не ослабевала острота зрительного восприятия исследователя. Результаты аэровизуальных наблюдений оформляются в виде записей в дневнике, карт-эскизов, рисунков, схем, перспективных снимков.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Некоторые виды лабораторных исследований выполняются в процессе ведения полевых работ как непосредственно в полевой обстановке, так и на базе партии. Их задачей является установление физических свойств и химического состава вод, минералогического и гранулометрического состава, а также некоторых физических и водных свойств пород. Эти данные позволяют более целеустремленно вести гидрогеологическую съемку и предварительно оценить ее практические результаты в процессе выполнения полевых исследований. Объем лабораторных работ определяется задачами полевых исследований и оснащенностью партии лабораторным оборудованием.

В заключение описания методов исследований, применяемых при гидрогеологической съемке, небходимо заметить, что последняя может иметь ряд особенностей, определяемых ландшафтными и гидрогеологическими условиями районов и назначением съемки. Так, например, съемка в тундре будет отличаться от съемки в таежных, степных, полупустынных и пустынных районах и районах многолетней мерзлоты; съемка для водоснабжения от съемки, проводимой при изучении месторождений полезных ископаемых, гидротехническом строительстве и т. д.

§ 4. Методика составления гидрогеологических карт

По результатам гидрогеологической съемки, обработки фондовых и литературных материалов составляются гидрогеологические карты. Последние делятся [Зайцев, 1961; Ланге, 1939 и др.]:

1) по степени обоснованности фактическим материалом — на кондиционные и некондиционные. Нормы и требования к кондиционным картам указываются в специальных инструкциях;

2) по масштабу — на карты-планы (1 : 25 000 и крупнее), детальные (1 : 50 000 — 1 : 100 000), обзорные (1 : 200 000 и мельче);

3) по назначению и содержанию — на общие для полной характеристики общих гидрогеологических условий территории и на специальные для решения какой-либо узкой, предварительно поставленной перед исследователем задачи (водоснабжение поселка, рудника, орошение земельного массива, гидрохимические поиски полезного ископаемого);

4) по способу графического оформления карт — на совмещенные и расчлененные. На совмещенных картах показывается сразу до 9—10 гидрогеологических элементов при помощи сплошной цветной закраски, черного крапа, изолиний разных цветов и толщины, цветной штриховки, отдельных значков разной формы, величины и цвета, жирных линий разного цвета, цифр и буквенных индексов разного размера и цвета. На расчлененных картах наносится какой-либо один гидрогеологический элемент. Для характеристики общих гидрогеологических условий необходим комплекс расчлененных гидрогеологических карт, накладывающихся и дополняющих друг друга.

На общих гидрогеологических картах совмещенного типа масштабов 1 : 1 000 000 — 1 : 500 000, 1 : 200 000 — 1 : 100 000 согласно методическим указаниям, разработанным ВСЕГИНГЕО, требуется показывать следующие данные.

1. По площади — распространение водоносных горизонтов (комплексов) и водопроницаемых, но безводных пород с указанием возраста изображаемых толщ. Показываются соответственно цветом и цветной горизонтальной штриховкой.

2. По площади — минерализацию подземных вод для первого от поверхности земли картируемого водоносного горизонта (комплекса). Изображается крапом в следующих градациях: до 0,1 *г/л*; 0,1—0,5 *г/л*; 0,5—1,0 *г/л*; 1—3 *г/л*; 3—5 *г/л*; 5—7 *г/л*; 7—10 *г/л*; 10—15 *г/л*; 15—30 *г/л*; 30—50 *г/л* и более 50 *г/л*. Если по минерализации воды можно выделить несколько крупных участков, то эти участки разделяются изолиниями минерализации.

3. В точках — водопункты (источники, скважины, колодцы и др.). Цифрами у значка водопункта указывают его номер, дебит (*л/сек*), величина понижения у скважин (*м*), глубина до воды у скважин, колодцев (*м*), минерализация воды, а индексами — возраст водовмещающих пород. Цветом внутри значка показывается химический состав вод.

4. Линиями — границы распространения водоносных горизонтов, залегающих ниже первого от поверхности горизонта, гидроизогипсы грунтового водоносного горизонта.

5. Стрелками — направление движения подземных вод.

Кроме указанной нагрузки на гидрогеологические карты, составляемые по методике ВСЕГИНГЕО, могут наноситься площади распространения таликов, многолетней мерзлоты, участки проявления карста, оползней и других физико-геологических явлений, линзы пресных вод, верховодка и некоторые другие элементы.

Карта сопровождается гидрогеологическими разрезами, на которых должны отражаться геологическое строение на глубину, литологический состав водоносных горизонтов (комплексов), фациальные изменения, водоупорные толщи, уровни залегания и величина напоров водоносных горизонтов (комплексов), минерализация и дебит.

Помимо гидрогеологической карты, обязательно составляемой по методике, указанной выше, к отчету по гидрогеологической съемке могут представляться карты разнообразного содержания: глубин залегания подземных вод, пьезоизогипс, ресурсов подземных вод, водообильности, гидрохимическая карта специального назначения. Методика составления этих карт разрабатывается самими авторами.

При составлении гидрогеологической карты СССР масштаба 1 : 2 500 000 использовалась другая методика. Эта карта является обзорной и предназначена для характеристики общих закономерностей распространения, количества и глубины залегания подземных вод, степени их минерализации и химического состава.

Примером обзорных специализированных гидрогеологических карт может служить гидрохимическая карта СССР масштаба 1 : 5 000 000 (редактор И. К. Зайцев, ВСЕГЕИ, 1957 г.). На этой карте показаны следующие данные.

1. По площади (цветом) — гидрохимические зоны и пояса. Гидрохимическая зона — это часть геологического разреза, содержащая воды определенной минерализации. Зона А — до 1 *г/л*, зона Б — 1—10 *г/л*, зона В — 10—50 *г/л*, зона Г — более 50 *г/л*, зона Д — пестрые по минерализации. Гидрохимический пояс — это участок литосферы, характеризующийся определенной сменой гидрохимических зон в вертикальном разрезе. Выделяются следующие основные гидрохимические пояса, состоящие из одной гидрохимической зоны (А, Б и др.), из двух гидрохимических зон (АБ, БВ, БА и др.), из трех гидрохимических зон (АБВ, АБА и др.), из четырех гидрохимических зон (АБВГ, АБВБ и др.) и т. д.

2. По площади (штриховкой) — ориентировочная глубина распространения подземных вод, пригодных для водоснабжения (с минерализацией до 1 *г/л* для увлажненных областей и до 3 *г/л* для засушливых областей).

3. По площади (значками) — районы широкого распространения метановых подземных вод, перспективных по газогидрохимическим показателям в отношении нефтегазоносности.

4. По площади (значками) — районы распространения подземных вод с повышенным содержанием таких специфических компонентов как бром, калий, йод, бор, сероводород.

5. В точках — термальные и минеральные источники.

6. В точках — мощности установленных гидрохимических зон.

7. Линиями — южная граница распространения многолетней мерзлоты, изолинии максимальной глубины залегания пород с температурой 0° и 50° С.

К гидрохимической карте приложен гидрохимический разрез через всю территорию СССР примерно в широтном направлении.

Методика составления специальных гидрогеологических карт среднего и крупного масштабов определяется прежде всего тем, какое содержание в них вкладывается и какое целевое назначение они имеют. Поскольку содержание специализированных карт весьма разнообразно, единая методика их составления отсутствует. При составлении этих карт необходимо следовать основному правилу — цветной закраской показываются главные гидрогеологические элементы. Последовательность применения других знаков выбирается с учетом наглядности изображения гидрогеологических данных, степени их важности и назначения карты.

МЕТОДИКА ОПИСАНИЯ ВОДОПУНКТОВ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В СКВАЖИНАХ, ШУРФАХ, КОЛОДЦАХ И ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ

ГЛАВА II

Гидрогеологические наблюдения по различным водопунктам проводятся с целью детального изучения условий залегания, мощности, гидравлического режима, условий питания и разгрузки водоносных горизонтов. Кроме того, они помогают установить характер взаимосвязи между отдельными водоносными горизонтами и подземных вод с поверхностными, режим подземных вод и связь его с метеорологическими факторами.

При ведении горных работ гидрогеологические наблюдения необходимы для оценки водообильности горных пород и разработки мероприятий по борьбе с подземными водами.

Гидрогеологические наблюдения проводятся по источникам, колодцам, скважинам различного назначения, шурфам и подземным выработкам. Методика, объем и точность наблюдений определяются требованиями, предъявляемыми к изучению подземных вод на данном этапе их исследования.

§ 1. Описание водопунктов

При изучении и описании водопунктов (источника, скважины, колодца, шурфа и т. д.) должны быть освещены следующие основные вопросы.

1. Географическое положение водопунктов (источника, скважины, колодца, шурфа и т. д.).

2. Орографические условия места расположения водопункта, относительная высота над меженным уровнем ближайшего водотока или водоема (реки, озера, пруда и т. п.), дном балки, оврага, болота.

3. Абсолютная высота водопункта; определяется она нивелировкой при помощи барометра-анероида или приближенно по горизонталям крупномасштабной карты.

4. Для водопунктов, расположенных на склоне или у подножия его, необходимо отмечать экспозицию склона. Это особенно важно для Восточной Сибири и Дальнего Востока, где ориентировка склона существенно влияет на развитие многолетней мерзлоты.

5. Возраст, состав, степень выветрелости и трещиноватости, условия залегания породы, из которой поступает вода, питающая водопункт.

6. Условия поступления воды в водопункты по контакту различных пород, из трещин по плоскостям напластования, из трещин отдельности, тектонических трещин, из каверны, пещеры, карстовых пустот и т. п. При этом следует отмечать ориентировку и характер трещин, каналов и т. п., из которых поступает вода.

7. Необходимо, по возможности, определить дебит водопункта. Дебит источника можно замерить объемным способом при помощи поплавка или переносной водосливной рамы, а колодца и скважины — при помощи пробной откачки (см. главу III). Если произвести откачку невозможно, следует составить хотя бы ориентировочное представление о дебите колодца или скважины на основании опроса местных жителей, пользующихся водой из колодца или скважины.

8. Физические свойства воды из водопункта (температура, вкус, запах, цвет, прозрачность).

9. Из водопунктов, отличающихся какими-либо особенностями, а также из наиболее типичных водопунктов следует отобрать пробы воды для химического анализа. Если в месте выхода источника наблюдается налет в виде твердого осадка, выпавшего из воды источника, необходимо взять пробу этого осадка для химического анализа.

10. Режим водопункта (по опросным данным или по повторным наблюдениям).

11. Для каких целей используется вода водопункта; характер каптажного устройства.

12. Степень удобства подъездных путей к водопункту.

13. Для водопунктов, расположенных в области распространения многолетней мерзлоты, необходимо определить, с какими водами связан водопункт (надмерзлотными, межмерзлотными, подмерзлотными).

14. При описании источников и неглубоких колодцев и скважин необходимо по возможности выяснить (преимущественно по опросным данным), пересыхает ли водопункт в летнее время, перемерзает ли зимой и в какие промежутки времени это наблюдается.

15. При обследовании участков, покрытых торфяниками, а также пойменных частей сухих долин необходимо обратить внимание на наличие так называемых «окон» воды. Они обычно являются пьезометрами подземной воды, фиксируя уровень ее залегания. Желательно, по возможности, определить абсолютную высоту уровня воды в окнах, замерить температуру и охарактеризовать прочие физико-химические свойства воды, так же как и при обследовании обычных водопунктов.

16. При обследовании колодцев и скважин необходимо указывать глубину (до дна, до воды, столб воды), описать геологический (литологический) разрез, вскрытый колодцем или скважиной, описать водоподъемные устройства, а также систему крепления колодца или скважины; выяснить возможную максимальную производительность водопункта.

17. Выяснить, по возможности, глубину появления воды при проходке колодца или скважины.

18. При описании источников необходимо, кроме вышеперечисленного, отметить характер выхода воды (спокойное истечение в виде нисходящих струй, грифонов, количество концентрированных выходов-головок, рассеянный пластовый выход и т. п.), а также описать форму и размеры родниковой воронки и характер каптажного устройства при наличии последнего.

19. При изучении кяризов следует провести дополнительно следующие наблюдения:

а) замерить длину и сечение дренажной галереи, указать длину водозаборной и водоотводной частей. Охарактеризовать доступность галереи для осмотра;

б) обследовать и описать состояние креплений портальной части и водозаборной;

в) определить дебит галереи или собрать имеющиеся об этом сведения;

г) определить и нанести на карту место выхода галереи на дневную поверхность или места водозаборных колодцев у тех кяризов, галереи которых не выходят на дневную поверхность;

д) зарисовать схему расположения смотровых колодцев и описать каждый из них;

е) составить геолого-литологический разрез, вскрытый колодцами и галереей, показав на нем мощность водоносного горизонта и глубины заложения в нем галереи.

20. При гидрогеологическом обследовании шахт и рудников, имеющихся в районе, необходимо, по возможности, получить сведения, перечисленные ниже, путем непосредственного обследования шахт и рудников или путем сбора данных из фондовых материалов, хранящихся в шахтоуправлениях и других организациях:

а) географическое положение, название шахтоуправления, какое полезное ископаемое разрабатывается;

б) основные особенности геологии месторождения;

в) общее описание горных выработок (их глубина, сечение, крепление, план расположения вертикальных, горизонтальных и наклонных выработок);

г) литологический разрез по стволу и квершлагам с характеристикой водоносных горизонтов, с указанием выходов воды, обводненных зон, зон дробления пород;

д) изменение характера и степени трещиноватости пород по мере углубления выработок и изменения притока воды в выработки в связи с этим;

е) из каких горизонтов, свит, тектонических нарушений, трещин или жил поступает вода в выработки и в каком количестве;

ж) суммарный приток воды в шахту (рудник) и изменение его по временам года;

з) наблюдалось ли катастрофическое более или менее резкое увеличение притоков воды в выработки, на каких глубинах, из каких пород, по каким причинам; быстрота сработки увеличенного притока;

и) влияние шахт (рудников) на режим и водообилие колодцев, скважин, шурфов, прудов и других водопунктов, расположенных вблизи от шахты. При этом необходимо отметить расстояние между водопунктами и шахтными выработками, что позволит определить размеры депрессионной воронки, созданной шахтным водоотливом.

к) физические и химические свойства подземных вод из отдельных водоносных горизонтов, тектонических нарушений, трещин, жил и контактов пород, вскрытых шахтными (рудничными) выработками;

л) существующие на шахтах (рудниках) способы ограждения выработок от воды и их эффективность (перемычки, водонепроницаемая крепь), а также различные дренажные устройства (поверхностный дренаж, сквозные и забивные фильтры и т. п.). Для последних следует указать время сооружения, конструкцию, производительность, режим работы и эффективность;

м) предполагаемая область питания водоносных горизонтов, обводняющих выработки;

н) используются ли, на какие нужды и в каком количестве шахтные (рудничные) воды.

о) водообильность месторождения (коэффициент водообильности, приток воды на 1 $м^2$ вскрытой поверхности).

21. При изучении действующих водозаборов желательно собрать сведения для освещения хотя бы в самых общих чертах следующих вопросов:

а) за счет каких водоисточников происходит водоснабжение местного населения и промышленных предприятий, в каком количестве и каким способом;

б) характер водозаборов и их расположение;

в) качество используемой воды и характер применяемых способов по ее улучшению;

г) производительность существующих водозаборов, срок их действия и режим.

22. При описании болот и заболоченностей необходимо выяснить характер их питания (подземные воды, атмосферные осадки, поверхностные водоемы).

Формы учетных карточек источников, колодцев, шурфов и буровых скважин приведены в первом издании Справочного руководства гидрогеолога [1959].

§ 2. Гидрогеологические наблюдения в скважинах, шурфах, колодцах и подземных выработках

Наблюдения в скважинах

Гидрогеологические наблюдения в скважинах состоят из наблюдений в процессе бурения скважин различного назначения, стационарных длительных наблюдений в специально оборудованных режимных скважинах и наблюдений в опытных и наблюдательных скважинах при проведении опытных гидрогеологических работ — наливов, откачек, нагнетаний.

В режимных скважинах гидрогеологические наблюдения проводятся с целью изучения режима подземных вод различных водоносных горизонтов — изменения во времени количественных и качественных характеристик. При этом ведутся наблюдения за уровнем, температурой, химическим составом подземных вод (см. главу V).

В опытных и наблюдательных скважинах ведутся в основном наблюдения за динамическим уровнем подземных вод, а по центральным скважинам — за дебитом.

Попутно производятся отбор проб воды на химический анализ и наблюдения за температурой подземных вод (см. главу III).

В данной главе основное внимание уделяется описанию гидрогеологических наблюдений в процессе бурения скважин, а также наблюдений в колодцах, шурфах и подземных выработках.

В процессе бурения скважин необходимо вести наблюдения за литологическим составом и трещиноватостью пород, положением уровня воды, поглощением промывочной жидкости, самоизливом воды из скважины и высотой фонтана, температурой воды, провалами бурового инструмента, выходом керна. По окончании бурения из скважин отбираются пробы воды и газа для химического анализа.

Наблюдения за литологическим составом, пористостью и трещиноватостью пород, вскрываемых скважиной, позволяют ориентировочно судить о степени водопроницаемости пород и дают возможность установить глубину залегания и мощность водоносных горизонтов. При бурении сплошным забоем большое значение приобретают наблюдения за скоростью и режимом бурения; литологический состав пород изучается по шламу.

Наблюдения за уровнем воды в процессе проходки скважины и установившимся уровнем дают возможность установить глубину залегания водоносного горизонта и его гидравлический режим. Глубина за-

легания уровня воды в скважине определяется с помощью специальных гидрогеологических приборов от занивелированной точки (см. главу XII).

При наблюдении за уровнем воды в скважинах следует различать глубину появления воды в скважине (сокращенно — появление воды) и установившийся уровень ее, так называемый статический уровень.

При бурении без промывки определение глубины появления и установившегося уровня не вызывает особых затруднений.

При бурении с промывкой вскрытие водоносного горизонта определяют косвенным путем на основании наблюдений за выходом и потерями промывочной жидкости. При бурении с промывкой водой вскрытие водоносного горизонта может быть фиксировано по увеличению поглощения промывочных вод либо полному их поглощению. Кроме того, произойдет резкое изменение уровня воды в скважине, наблюдаемое во время перерывов в бурении.

Указанные явления могут также свидетельствовать об увеличении водопроницаемости уже вскрытого скважиной водоносного горизонта или о вскрытии сухих пород с большой водопроницаемостью.

В последнем случае после прекращения подачи промывочной воды в скважину оставшаяся в ней вода уходит в сухие водопроницаемые породы и скважина осушается до забоя. Если же увеличение поглощения промывочных вод или полное их поглощение при бурении вызвано повышением водопроницаемости пород уже вскрытого водоносного горизонта, то после прекращения подачи промывочной воды в скважину уровень воды в ней устанавливается на определенной глубине, соответствующей статическому уровню водоносного горизонта. В случае добавления (доливания) воды в скважину уровень воды в ней снижается до глубины, соответствующей статическому уровню водоносного горизонта, а в случае откачки воды из скважины он повышается до той же глубины.

В процессе бурения скважины уровень воды следует замерять не менее одного (до трех) раза в смену, в зависимости от скорости проходки и количества подъемов бурового снаряда. Буровой снаряд во время замера обязательно должен быть извлечен из скважины. В целях экономии времени гидрогеологические наблюдения приурочивают к подъему снаряда для извлечения керна и к другим перерывам в бурении.

Применение глинистого раствора при бурении снижает водопроницаемость пород вокруг скважины, это необходимо учитывать при проведении гидрогеологических наблюдений и исследований. При вскрытии и проходке водоносных пород при таком способе бурения необходимо производить наблюдения за уровнем глинистого раствора, как при бурении с промывкой водой; наблюдения за физическими свойствами глинистого раствора (удельный вес, вязкость), которые изменяются (уменьшаются) при вскрытии водоносного горизонта; химические анализы водных вытяжек из глинистого раствора; электрокаротаж и наблюдение за температурой жидкости в скважине.

Хорошо интерпретируемые результаты дают наблюдения за уровнем жидкости в скважине и за ее физическими свойствами лишь при проходке водообильных пород, с водами, обладающими значительным напором. При этом в скважине происходит разбавление глинистого раствора подземной водой и заметное изменение его физических свойств.

Результаты наблюдений за литологическим составом пород, уровнем промывочной жидкости и ее физическими свойствами заносятся в специальные журналы. По окончании бурения необходимо провести наблюдения за восстановлением уровня воды в скважине.

Наблюдения за температурой в скважинах проводятся в процессе бурения, но главным образом после окончания бурения скважины, когда

через некоторое время восстановится нарушенный бурением тепловой режим горных пород и подземных вод. На это обстоятельство следует обратить особенное внимание при геотермических наблюдениях в районах развития многолетней мерзлоты. Температура подземных вод и пород измеряется с помощью ленивых гидрогеологических, электрических термометров и других приборов, подробное описание которых приводится в главе XII.

Температурные наблюдения, проводимые в ходе бурения скважин, дают возможность по температуре выходящей промывочной жидкости судить о глубине залегания вскрываемого водоносного горизонта. Момент вскрытия водоносного горизонта отмечается тем отчетливее, чем больше разность температур промывочной жидкости и подземной воды.

Данные режимных геотермических наблюдений используются для построения графиков зависимости температуры от времени и изменения температуры с глубиной.

В районе распространения многолетней мерзлоты эти графики позволяют судить о мощности мерзлых пород.

При бурении в карбонатных и гипсоносных породах (известняк, мрамор, доломит, гипс) следует обращать особенное внимание на провалы бурового инструмента. Они обусловлены наличием в указанных породах карстовых пустот, имеющих большое значение для водоносности пород. Каждый случай провала инструмента следует фиксировать в сменном рапорте и в буровом журнале, где должен быть указан интервал, в котором обнаружена карстовая полость.

Карстовые пустоты обычно содержат воду; часто они выполнены глинистыми или песчаными продуктами разрушения горных пород. Такие «пустоты» также должны быть зафиксированы и замерены. При пересечении карстовых полостей скважиной обычно наблюдаются изменения в поглощении промывочных вод — потеря воды и резкое изменение уровня воды в скважине. Результаты наблюдений за поведением уровня воды в скважине и потерей промывочной жидкости отмечаются в буровых журналах.

Провалы инструмента иногда наблюдаются и в крепких некарстующихся породах при наличии крупных зияющих трещин в них. Часто такие трещины бывают заполнены песчано-глинистым материалом.

Подобные трещины оказывают большое влияние на водопроницаемость пород; их также тщательно следует документировать, отмечая интервал, в котором встречена трещина, и характер ее заполнения.

Наблюдения за выходом керна позволяют косвенно оценивать водоносность и водопроницаемость проходимых пород. Трещиноватые породы, дающие меньший процент выхода керна, обычно более водопроницаемы и более водообильны.

Сопоставление процентов выхода керна по каждому интервалу бурения с результатами наблюдений за уровнем воды и потерями промывочных вод в скважине дает возможность оценить водоносность того или иного слоя (интервала). Весь керн из каждой скважины следует тщательно отбирать и укладывать в ящики. По данным наблюдений составляются графики выхода керна в процентах по интервалам по всему разрезу скважины.

Отбор проб воды из скважин производится для качественной характеристики подземных вод.

При вскрытии водоносного горизонта, одновременно с изменением температуры выходящей промывочной жидкости, изменяется и ее состав, что может также косвенно свидетельствовать о глубине залегания водоносного горизонта. Изменения в химическом составе выходящего раствора

проявляются тем резче, чем более мощный и водообильный водоносный горизонт вскрывается скважиной и чем больше состав его вод отличается от химического состава промывочной жидкости.

Наблюдения за изменением химического состава выходящей промывочной жидкости ведутся обычно по какому-либо одному наиболее легко определяемому компоненту (например Cl^-, SO_4^{2-}) или по удельному весу.

Отбор проб воды для изучения истинного химического состава подземных вод производится после оттартывания или откачки воды из скважины до ее полного осветления. Обычно это делается в перерыве бурения в связи с выяснением положения статического уровня водоносного горизонта или в процессе проведения опытных откачек. Объем пробы определяется характером и назначением анализа.

Отбор проб воды с заданной глубины производится с помощью специальных приборов — водоносов и пробоотборников (см. главу XII).

В процессе бурения скважины необходимо наблюдать за возможными газопроявлениями. Все газопроявления (струи и пузырьки газа в промывочной жидкости) должны обязательно фиксироваться в буровом журнале. При спонтанном газовыделении проба газа отбирается из выходящей промывочной жидкости при помощи специальной воронки методом вытеснения; проба растворенного газа берется с помощью пробоотборников и дегазаторов различной конструкции (см. главу XII).

Измерение температуры и статического уровня подземных вод, а также отбор проб воды и газа на химические анализы производятся во время опытных и пробных откачек.

Наблюдения в подземных горных выработках

В подземных горных выработках фиксируются и описываются все водопроявления и проводятся наблюдения за уровнем воды, притоком, температурой и химическим составом воды, а также за устойчивостью пород в кровле, почве и стенках выработок.

Наблюдения за водопритоком проводятся во всех подготовительных и очистных выработках. При этом необходимо фиксировать, описывать и количественно оценивать (измерять) поступление воды, отмечая места ее выхода (забой, кровля, почва, стенки выработок, специальные водоприемные колодцы, забивные и сквозные фильтры, слепые шахты, печи и т. п.).

При описании водопроявлений следует отмечать характер и условия выхода воды в горные выработки — капеж (частый, редкий), сосредоточенные нисходящие струи, грифоны, повышенная влажность пород и т. д. Кроме того, указывается продолжительность их действия.

Особо отмечаются притоки воды из поверхностных водотоков и водоемов, прорывы ее из водоносных горизонтов и старых заброшенных выработок.

При поступлении воды из старых горных выработок следует отмечать, из какой выработки поступает вода и каким способом регулируется ее поступление в выработки. При выводе воды по трубам через предохранительный целик необходимо измерять дебит и давление воды при выходе в действующие выработки.

Особо следует вести наблюдения за прорывами плывунов, определяя причины их возникновения; давать количественную оценку этих явлений и рекомендации по ликвидации и предупреждению их. Необходимо вести тщательную документацию прорывов плывунов с нанесением очагов прорыва на погоризонтные карты.

При поступлении воды из очистного пространства устанавливаются величина водопритока, площадь выработанного пространства с указанием степени обрушения кровли.

При подработке горными выработками поверхностных водотоков и водоемов отмечаются глубина прохождения выработок под их дном, литологический состав пород, разделяющих выработки и поверхностные водотоки, характер оседания пород кровли и система обрушения, время поступления воды из поверхностных водотоков после подвалки лав, характер и динамика поступления поверхностных вод в горные выработки.

Замеры притоков воды в горные выработки производятся объемным способом (по времени заполнения мерного сосуда), водосливами, установленными в специальных лотках, водосливами, снабженными самописцами дебитографами, водоприемными зумпфами и колодцами с последующей откачкой воды насосами. Наблюдения за притоком воды в забоях выработок должны сопровождаться описанием степени трещиноватости водоносных пород.

При вскрытии забоями зон тектонических дизъюнктивных нарушений следует подробно задокументировать и описать их, выяснив при этом роль таких нарушений в обводнении выработок и устойчивости горных пород в них.

Общий приток воды в шахту должен балансироваться с суммой измеряемых притоков по отдельным забоям и участкам шахт.

Определение общего притока воды в шахту можно производить различными способами: 1) по производительности насосных установок; 2) по водомеру на нагнетательном трубопроводе; 3) откачкой воды из общего водосборника; 4) по восстановлению уровня в шахтном водосборнике; 5) при помощи водослива.

В подземных выработках, кроме наблюдений за водопроявлениями, исключительно большое значение имеют инженерно-геологические наблюдения. Целью их является изучение устойчивости пород, вскрываемых горными выработками для разработки мероприятий по предупреждению различных деформаций и выбора наиболее эффективного и экономичного вида крепления.

Для оценки устойчивости пород кровли и почвы необходимы данные:

1) о физико-механических свойствах пород кровли и почвы пласта полезного ископаемого, их петрографическом составе, литологических особенностях, устойчивости и поведении в выработке, мощности водоупорного пласта, гидростатическом давлении;

2) об изменении физических свойств горных пород и химического состава подземных вод в процессе эксплуатации выработки;

3) о методах посадки кровли и характере оседания;

4) о прорывах подземных вод.

Во всех горно-эксплуатационных выработках необходимо вести наблюдения за деформациями крепления, изучение кровли и почвы, вывалами пород и сдвижением горных пород при подвалке лав.

При документации всех этих явлений следует вести подробное описание характера и размеров деформаций, скорости их развития и, по возможности, устанавливать причины возникновения.

Давление в кровле выработок вызывает прогибы и пучение пород кровли, появление и развитие трещин, выпадение кусков пород. Такие явления следует подробно описывать, зарисовывать и наносить на планы. Следует при этом подробно охарактеризовать состояние пород кровли, их влажность, наличие различных водопроявлений (капеж, струйки и т. п.), размеры, форму и направление деформационных трещин.

При изучении почвы выработки детально характеризуются литологический состав и мощность слагающих ее пород; устанавливается гидростатическое давление на почву пласта полезного ископаемого; подробно описываются выходы воды в почве выработок; отмечается наличие маломощных прослоев линз с напорными подземными водами. Пучины, возникающие в почве выработок, картируются, отмечаются время их появления после проходки выработки, размеры, форма, степень влажности пород, наличие трещин и их размеры.

Для изучения физико-механических свойств пород почвы выработок проводится зондировочное бурение с отбором проб для лабораторных исследований. Количество скважин определяется сложностью литологического разреза. После опробования скважины должны надежно тампонироваться.

При ведении горных работ в районах многолетней мерзлоты необходимо вести наблюдение за температурным режимом деятельного слоя и мерзлых пород; изучать физико-механические свойства мерзлых пород (гранулометрический состав, объемный и удельный вес, льдистость, оттаивание, размокание).

Особенно тщательно следует изучать состав и структуру рыхлых отложений, содержащих много ископаемого льда. Оттаивание таких пород может привести к образованию плывунов.

Наблюдения за притоком, температурой и уровнем воды в горных выработках должны проводиться периодически (один раз в неделю или десять дней).

Химический состав подземных вод постоянно действующих водопроявлений и вод, поступающих из дренажных устройств, проверяется 2—3 раза в год. Наблюдения за устойчивостью пород в подземных выработках проводятся постоянно.

Полный комплекс наблюдений кроме того проводится в случаях:

1) пересечения горными выработками водоносных горизонтов;

2) при вскрытии закарстованных пород, тектонических трещин;

3) на участках характерных структурных форм (мульд, антиклиналей и т. п.);

4) при вскрытии контактов различных пород, изменении литологического состава пород кровли и почвы, структурных изменений самого полезного ископаемого;

5) при образовании прорывов воды (плывунов) из пород кровли или почвы;

6) при посадке кровли;

7) в зонах возможного влияния поверхностных водоемов и водотоков и вблизи старых выработок.

Наблюдения в шурфах и колодцах

Наблюдения в шурфах проводятся главным образом в процессе проходки их и некоторое время после окончания для определения установившегося уровня.

При рытье шурфов без крепления в плотных устойчивых породах (валунные суглинки) появление воды можно наблюдать непосредственно по высачиванию в стенках шурфа. При этом следует, фиксируя все водопроявления, показывать их на развертке шурфа, подробно описывая характер выхода воды, состав и мощность водоносных пород. При проходке шурфов в трещиноватых породах (сланцах, слабых песчаниках и т. п.) при описании водопроявлений необходимо тщательно документировать характер и степень трещиноватости пород.

Проходка шурфов с креплением осложняет наблюдения за появлением воды в стенках шурфа. Глубина появления воды при этом отмечается по резкому увеличению влажности пород в забое шурфа. При большой глубине шурфов, когда проходка их осуществляется в течение нескольких дней с перерывами, перед началом каждой смены до откачки воды из шурфа замеряется уровень воды в нем и записывается в журнале. По окончании проходки наблюдения за уровнем воды в шурфе продолжаются ежедневно до полной стабилизации уровня.

Шурфы с устойчивыми стенками и закрепленные иногда используются для ведения стационарных наблюдений за уровнем, температурой и химическим составом воды. Замеры уровней производятся от постоянной, неподвижной, занивелированной точки (репера) у устья шурфа.

Кроме наблюдений за водоносностью пород при рытье шурфов ведутся наблюдения за устойчивостью пород в стенках выработки, изучаются основные физико-механические свойства их (гранулометрический состав, плотность сложения, объемный и удельный вес, влажность, консистенция и т. п.).

При ведении гидрогеологической съемки наряду с прочими водопунктами, документируются все колодцы и по ним производятся замеры уровней и температуры воды.

При описании колодцев важно по общей геологической ситуации, опросным данным или сохранившимся отвалам установить, какой водоносный горизонт эксплуатируется данным колодцем, выяснить режим его в годовом разрезе. Из колодцев отбираются пробы воды на химический анализ после предварительной откачки. На каждый колодец, шурф заполняется учетная карточка. При ведении стационарных режимных наблюдений некоторые колодцы включаются в сеть наблюдательных точек; замеры уровней воды в них надо производить рано утром до начала водоразбора.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ

ГЛАВА III

А. ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

§ 1. Виды гидрогеологических опытных работ, их задачи, сравнительная оценка и применимость в различных условиях

Гидрогеологические исследования при строительстве промышленных, гражданских, гидротехнических сооружений, водоснабжении, осушении и орошении земель и т. п. предусматривают проведение опытных гидрогеологических работ в различных по глубине скважинах (не выше 500—1000 *м*) и шурфах с целью изучения условий залегания, режима и взаимосвязи водоносных горизонтов, количественной оценки проницаемости водовмещающих пород (определение гидрогеологических параметров) и качественной характеристики приуроченных к ним подземных вод.

Опытные работы в зависимости от схемы и режима движения подземных вод, условий проведения и назначения работ подразделяются на несколько видов, основные сведения о которых приведены в табл. III-А-1.

Общая продолжительность различных видов опытных работ, указанная в таблице, рассчитана исходя из того, что откачки и нагнетания, исключая длительные (пункты 3 и 4в), проводятся при трех различных режимах и соответствуют в основном данным, приведенным в СУСНе на гидрогеологические работы и других руководствах (Силин-Бекчурин, 1951). Откачки и нагнетания из безнапорных горизонтов должны быть более продолжительными, чем для напорных, так же как опыты, проводимые для рыхлых пород со значительной пористостью, более продолжительны, чем для трещиноватых, скважность которых значительно меньше пористости рыхлых пород.

Поскольку в настоящее время получен и проверен ряд зависимостей для неустановившегося движения подземных вод, значительное сокращение продолжительности опытов (пробных откачек и нагнетаний) может быть достигнуто за счет прекращения их при явно неустановившемся движении (Веригин, 1962; Гиринский, 1950; Чарный, 1956; Щелкачев, 1959).

Задачи опытных работ, сравнительная оценка и применимость их в различных условиях представляются в следующем виде.

1. *Откачки из одиночных скважин.* Наиболее распространенным видом опытных гидрогеологических работ при исследованиях, проводимых с целью выявления различных параметров, являются откачки из одиночных скважин или шурфов. Погрешности в определении расчетных параметров при этих работах зависят в первую очередь от более низкой (реже — более высокой) проницаемости пород, окружающих водоприемную часть скважины или шурфа, что повышает входные сопротивления и потери напора. Указанное может быть вызвано нерациональным выбором типа фильтра или его засорением (см. главу X), кольматацией пород при бурении (см. главу IX) и недостаточно продолжительной предварительной

Таблица III-А-1

Основные виды опытных гидрогеологических работ

№ п. п.	Виды опытных работ	Условия проведения работ	Схема и режим движения подземных вод	Примерная продолжительность опыта в сутках	Назначение работ
1	Откачки пробные	а) Из одиночных скважин или шурфов	Плоско-радиальное, сходящееся, режим неустановившийся	От 1 до 7	Установление зависимости Q от S и $q_{уд.}$, не очень точное определение $K_ф M$ и $K_ф$. Ориентировочно может быть определен R и весьма ориентировочно и не всегда коэффициенты пьезопроводности a и уровнепроводности a_y
		б) Кустовые	То же	От 2 до 10	Более точное определение $K_ф M$ и $K_ф$, а также R. Могут быть надежно определены a или a_y и входные потери напора Δh, а также коэф. действительной скорости $K_д$
2	Откачки опытные	а) Из одиночных скважин или шурфов	То же, но режим близок к установившемуся	От 6 до 24	То же, что при пробных откачках из одиночных скважин
		б) Кустовые	То же	От 9 до 30	То же, что у пробных откачек, но $K_ф M$, $K_ф$ и R рассчитываются по уравнениям установившегося движения подземных вод. Надежное определение a и a_y по изменению уровня в наблюдательных скважинах после пуска и остановки опытной скважины *
3	Откачки опытно-эксплуатационные	Обычно кустовые	То же, но режим в конце опыта практически установившийся	До нескольких месяцев	Выяснение условий длительной работы эксплуатационных, водопонизительных и других скважин. Могут быть определены те же параметры, что и при опытных откачках

4	Нагнетания и наливы	а) Суммарные для одиночных скважин или кустовые	Плоско-радиальное, расходящееся, режим неустановившийся	От 2 до 10	То же, что у пробных откачек, целесообразно применять только для слабокольматирующихся, закарстованных и крупнотрещиноватых пород, галечников и т. п., а также для разнообразных пород с целью предварительного суждения о приемистости поглощающих скважин
		б) Поинтервальные, для одиночных скважин	Пространственно-радиальное, расходящееся, режим, близкий к установившемуся	От 0,5 до 2	Установление изменения водопроницаемости трещиноватых и закарстованных пород с глубиной, а также глубины залегания зоны практически водоупорных пород
		в) Суммарные длительные, для одиночных скважин или кустовые	Плоско-радиальное, расходящееся, режим практически установившийся	До двух месяцев и более	Установление условий длительной работы поглощающих скважин, могут быть определены те же параметры, что и по данным кратковременных нагнетаний, но более точно
5	Откачки — нагнетания	Две скважины, одна опытная для откачки, вторая нагнетательная (поглощающая), в которую подается вся откачиваемая вода. Могут быть также наблюдательные скважины	Сложная (суперпозиция сходящегося и расходящегося радиального потока). Режим, близкий к установившемуся	От 1 до 5	Определение коэффициента водопроницаемости и других параметров линзообразных пластов, таликов (естественных и искусственных) в толще «вечной» мерзлоты и др. Метод применим и в обычных условиях
6	Инфильтрация в шурфах	Опыты производятся в шурфах, заданных с поверхности или из горно-разведочных выработок	Вертикальное, установившееся	От 1 до 2	Определение коэффициента фильтрации горных пород в зоне аэрации

* При откачке (или нагнетании) из сильно водообильного водоносного горизонта и наблюдательных скважин в смежных горизонтах может быть определен коэффициент связи со смежными водоносными горизонтами.

прокачкой скважины. Уменьшение входных сопротивлений может иметь место за счет интенсивной суффозии, выноса заполнителя трещин и карстовых каналов, а также вследствие искусственных мероприятий, проводимых для увеличения притока воды к скважине (торпедирование, кислотная обработка, гидроразрыв пласта и т. п.).

Вторым, менее существенным источником погрешностей, является неточность радиуса депрессии, входящего в большинство формул для расчета притока воды к одиночным скважинам (см. главу XIII, том 1).

2. *Нагнетания и наливы в одиночные скважины* следует применять только для пород с высокой проницаемостью и значительным поперечным сечением водопроводящих каналов. Для пород с мелкими порами, особенно при наличии глинистых и пылеватых частиц в рассеянной форме или в виде прослоев и включений в зоне, окружающей водоприемную часть скважин или шурфов, быстро происходит кольматация, что ведет к значительному понижению поглощающей способности (приемистости) скважины и вследствие этого к получению сильно заниженных коэффициентов водопроницаемости.

Поинтервальные нагнетания широко применяются при исследованиях для гидротехнического строительства. Эти опыты, как правило, не дают точных значений коэффициента водопроницаемости, но позволяют решить важную для этих исследований, а также гидрогеологических исследований для водоснабжения и месторождений полезных ископаемых задачу определения изменения проницаемости трещиноватых или закарстованных пород с глубиной.

3. *Кустовые откачки и нагнетания*, или наливы, при наличии не менее двух наблюдательных скважин имеют то преимущество по сравнению с исследованием одиночных скважин, что позволяют исключить ошибки за счет входных потерь напора при определении водопроводимости и коэффициента водопроницаемости и установить более точно радиус депрессионной воронки. Кроме того при этих опытах может быть непосредственно установлена величина входных потерь напора Δh. Наконец, эти опыты при соответствующем положении рабочей части наблюдательных скважин позволяют, как указано в табл. III-А-1, определить величину коэффициента связи со смежными водоносными горизонтами (Гиринский, 1947; Мятиев, 1947; 1950). При значительном количестве наблюдательных скважин опыты на кустах дают также возможность установить форму депрессионной воронки и приблизительно оконтурить зону отклонений от закона Дарси (см. главу XII, том 1).

Однако сравнительно высокая стоимость и значительные затраты времени на кустовые опыты вынуждают проводить их в ограниченном количестве.

Проведение опытов на кустах целесообразно только для горизонтов со значительной водообильностью, с которыми могут быть связаны большие водопритоки. Очень существенно, чтобы гидрогеологические кусты располагались в наиболее характерных пунктах.

Гидрогеологические кусты в большинстве случаев следует создавать по сравнительно простой схеме — одна опытная (центральная) скважина и два взаимно перпендикулярных луча с одной или двумя наблюдательными скважинами на каждом луче.

4. *Опытно-эксплуатационные откачки и нагнетания* организуются только в последней стадии исследований или в начале эксплуатационного периода при сложных и очень сложных гидрогеологических условиях. Эти опыты дают возможность, кроме надежного определения расчетных параметров, установить условия длительной работы эксплуатационных на воду и водопонизительных скважин, а также позволяют оценить ка-

чество применяемого оборудования и измерительной аппаратуры (фильтры, насосы, приборы для измерения уровня и дебита и т. д.).

5. *Откачки — нагнетания.* Этот вид опытных работ, предложенный Е. Е. Керкисом, является сравнительно новым и имеет простое, но достаточно строгое теоретическое обоснование (Керкис, 1956).

Метод этот имеет то преимущество перед другими, что границы пласта очень слабо влияют на результаты опыта, а вдоль линии, соединяющей опытную и поглощающую скважины, движение подземных вод близко к плоскому. Поэтому метод откачки — нагнетания применим для весьма неоднородных горизонтов, а также для линзообразных пластов, таликов в толще мерзлых пород, естественных или создаваемых искусственно, причем в последнем случае опытная и нагнетательная скважины служат для оттаивания мерзлоты паром или электронагревателями. Кроме того в данном случае очень просто решается вопрос отвода откачиваемой воды, что может иметь значение для неглубоко залегающих подземных вод.

6. *Инфильтрация в шурфах.* Метод инфильтрации в шурфах служит для определения водопроницаемости пород в зоне аэрации. Из числа различных модификаций этого метода рекомендуется пользоваться схемой Н. К. Гиринского (1953), как наиболее обоснованной теоретически и почти не требующей усложнения опытов.

§ 2. Методика производства и обработка данных опытных гидрогеологических работ

Оборудование опытных скважин и шурфов

Оборудование скважин для производства пробных и опытных откачек. Опытная скважина должна удовлетворять перечисленным ниже требованиям, от выполнения которых в значительной степени зависит качество получаемых данных.

1) Бурение производится методами, позволяющими легко создать при откачке свободную гидравлическую связь между подземными водами исследуемого водоносного горизонта и столбом воды в скважине, получить необходимые начальный и конечный диаметры, а при слабо изученном разрезе обеспечить удовлетворительную геологическую и гидрогеологическую документацию (см. главу IX).

2) Смежные водоносные горизонты надежно изолируются от исследуемого, а также устраняется возможность проникновения в скважину во время откачки посторонней воды, например, при возникновении временных потоков, при обильных осадках и т. д.

3) Диаметр рабочей (водоприемной) части скважины должен быть достаточным для установки фильтра рациональной в данных условиях конструкции, а диаметр верхней части ее должен обеспечить возможность спуска в скважину насосных труб или глубинных насосов, габарит которых соответствует максимальному ожидаемому расходу во время откачки (см. главы X и XI). Диаметр рабочей части скважины должен также соответствовать максимальному дебиту при откачке во избежание возникновения чрезмерно высоких входных скоростей фильтрации, превышающих предельные допустимые величины.

4) Скважина по возможности оборудуется как гидродинамически совершенная, так как определение расчетных параметров по данным откачек из несовершенных скважин нередко менее надежно. Но при большой мощности водоносного горизонта в неустойчивых породах можно идти на создание несовершенных скважин, поскольку установка фильтров большой длины сложна.

5) Оголовок опытной скважины монтируется так, чтобы можно было просто регулировать ход откачки (или самоизлива), надежно измерять уровень воды, устьевое давление (при самоизливе) и дебит, отбирать пробы воды, а также спускать в скважину глубинную аппаратуру (см. главы XI и XII).

Оборудование скважин для производства нагнетаний и наливов. При оборудовании скважин для суммарных нагнетаний, т. е. проводимых на всем протяжении открытой части ствола, требуется оголовок, рассчитанный на максимальное давление с ниппелем или отверстием с резьбой для манометра и краник для выпуска воздуха.

При проведении длительных нагнетаний в скважине устанавливается дополнительная колонна труб небольшого диаметра (обычно 2,0—2,5″), опускаемая примерно до низа открытой части ствола. Эта колонна служит

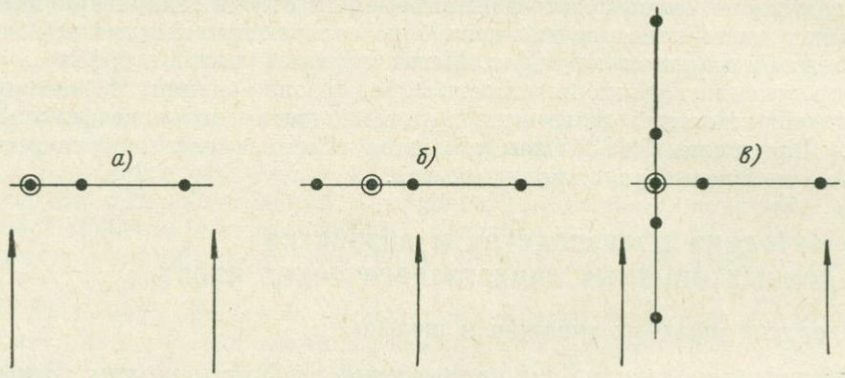


Рис. III-1. Наиболее распространенные схемы опытных гидрогеологических кустов: *а* — однолучевая схема; *б* — двухлучевая схема; *в* — трехлучевая схема.

для промывки скважины при обнаружении признаков кольматации, причем промывка может быть прямой или обратной. При нагнетании воды в кольцевое пространство между указанной колонной и обсадными трубами колонна используется как пьезометр.

При наливах в скважину опускается такая же колонна, в которой замеряется уровень воды, налив же производится в кольцевое пространство за этой колонной.

Оборудование скважин тампонирующими устройствами для поинтервальных нагнетаний зависит от способа их проведения и устойчивости стенок скважин и подразделяются на две основные группы: тампоны из резиновых колец и гидравлические баллоны.

Оборудование опытных гидрогеологических кустов. Наиболее распространенная схема расположения скважин опытного куста — двухлучевая, т. е. наблюдательные скважины располагаются по двум взаимно перпендикулярным лучам, на пересечении которых расположена опытная скважина.

Другие схемы с большим числом скважин, применяемые в практике гидрогеологических исследований, изображены на рис. III-1. Увеличение числа лучей и наблюдательных скважин по сравнению с двухлучевой схемой целесообразно при неоднородных породах и при неглубоком залегании водоносного горизонта, когда бурение и оборудование наблюдательных скважин не требует продолжительного времени и значительных затрат.

Рекомендуемые расстояния между опытной и наблюдательными скважинами указаны в табл. III-А-2.

Таблица III-А-2

Расстояния между опытной и наблюдательной скважинами

Номер наблюдательной скважины на луче	Породы с небольшой проницаемостью (мелкозернистые пески)	Породы со средней проницаемостью (среднезернистые пески)	Породы с высокой проницаемостью (галечник)
	Расстояния, *м*		
1	1—3	3—5	5—10
2	3—10	10—15	15—30
3	10—30	30—50	50—100
4	—	100—150	150—300

Рекомендуемые расстояния ориентировочны, составляют примерно геометрическую прогрессию, что соответствует логарифмической форме депрессионной кривой (С. А. Коль, 1941).

При установлении расстояния наблюдательных скважин от центральной следует также учитывать тип горных пород, гидравлическую характеристику водоносного горизонта, продолжительность откачки. Бóльшие расстояния берутся для пород трещиноватых или закарстованных, при напорных водах и длительных откачках. Меньшие расстояния соответствуют пористым породам, безнапорным водам и более кратковременным откачкам. Указанное связано со скоростью роста депрессионной воронки, очевидно, большей в первом случае.

При длительных опытно-эксплуатационных откачках из неглубоко залегающих водоносных горизонтов необходимо дополнительно предусмотреть не менее одной так называемой режимной скважины. Эта скважина задается за пределами зоны заметного влияния откачки и отражает лишь влияние естественных и искусственных факторов, не зависящих от режима откачки.

Конструкция опытной (центральной) скважины опытного куста такая же, как при откачке из одиночных скважин. Наблюдательные скважины опытного куста должны удовлетворять следующим требованиям: исследуемый пласт тщательно изолируется от вышележащих горизонтов и от проникновения воды с поверхности; скважины оборудуются фильтром, положение которого и длина должны соответствовать следующим условиям:

а) при откачке из гидродинамически совершенных скважин в напорном горизонте, однородном по вертикали, положение и длина фильтра не имеют значения. Однако наиболее целесообразно устанавливать короткий фильтр (длина 2—4 *м*), лучше всего в средней части пласта;

б) если водоносный горизонт представлен чередованием слоев различной водопроницаемости, то фильтр следует ставить против наиболее проницаемых слоев.

в) при откачке из безнапорных горизонтов, даже при гидродинамически совершенной опытной скважине и однородности пласта, положение и длина фильтра имеют значение (для ближайших наблюдательных скважин и особенно при больших понижениях уровня). Это связано с искривлением линий тока и равного напора, наиболее сильно проявляющихся в ближайшей к центральной скважине зоне. В этой зоне, радиус которой можно приближенно считать равным полуторной или двойной мощности безнапорного горизонта, следует ставить в наблюдательных скважинах короткие фильтры (теоретически точечные фильтры) на уровне, где линии

тока можно считать практически горизонтальными, т. е. близ водоупорного ложа. Приближенно можно считать, что длина точечного фильтра должна составлять 1/5—1/10 мощности горизонта.

За пределами зоны сильного искривления линий тока длина и положение фильтра не имеют существенного значения. Здесь целесообразна установка фильтров длиной 2—3 *м*, верхний конец которых находится на уровне зеркала грунтовых вод или немного ниже, учитывая ожидаемое понижение уровня. Правильная установка фильтров при кустовой откачке из бензнапорного горизонта показана на рис. III-2.

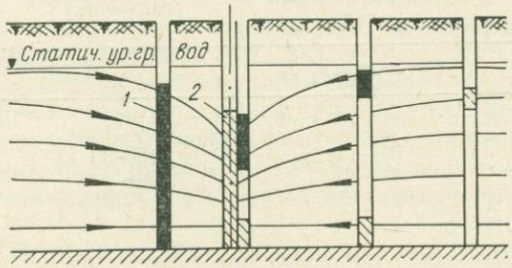


Рис. III-2. Схема установки фильтров в наблюдательных скважинах опытного куста в безнапорном водоносном горизонте.

1 — неправильное положение фильтра; *2* — правильное положение фильтра.

Принцип расположения фильтров в напорных горизонтах в кустах с несовершенной центральной скважиной должен быть таким же, как и для случая совершенных скважин в безнапорном горизонте, т. е. короткие фильтры необходимо располагать на уровне, где линии тока горизонтальны (рис. III-3).

Оборудование шурфов (шахтных колодцев). Производство пробных и опытных откачек из шурфов имеет смысл для весьма водообильных и мощных неглубоко залегающих водоносных горизонтов, когда для установки насосов большой производительности требуется бурение скважин

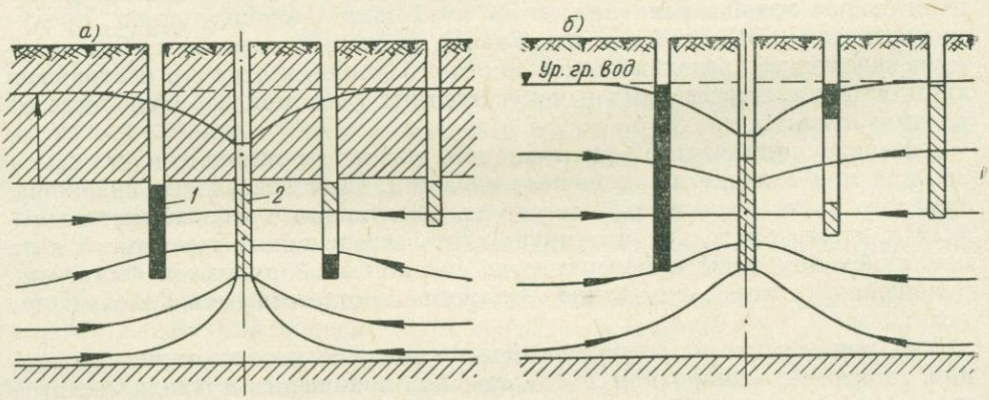


Рис. III-3. Схема установки фильтров в наблюдательных скважинах опытного куста при несовершенной центральной скважине. *а* — напорный горизонт, фильтр центральной скважины примыкает к кровле; *б* — безнапорный горизонт, фильтр центральной скважины затопленный.

1 — неправильное положение фильтра; *2* — правильное положение фильтра.

весьма большого диаметра. Приток воды в шурф из такого горизонта происходит преимущественно через дно, которое должно быть в рыхлых породах покрыто слоем фильтрующей обсыпки (в мелкозернистых песках желательно из двух-трех слоев). Стенки шурфа на глубине, где возможен приток воды, также закрепляются водопроницаемой крепью.

Откачки из шурфов могут представить также интерес для непосредственных наблюдений над условиями притока воды из неоднородных пород (рыхло-слоистых, трещиноватых и закарстованных).

Откачки производятся и из более сложных типов водозаборов, например, колодцев-скважин, шахтных колодцев с лучевыми фильтрами (звездчатых водозаборов) и т. п. с целью выяснения условий их работы как водозаборов или дренажных выработок. Описание оборудования шурфов с целью определения водопроницаемости пород в зоне аэрации методом инфильтрации дано в работе Н. К. Гиринского (1953).

Подготовка буровых скважин к опытам

Для получения удовлетворительных результатов опытных гидрогеологических работ большое значение имеет подготовка скважины, или, придерживаясь терминологии, принятой у нефтяников, ее освоение с помощью предварительной прокачки.

В период освоения скважины в породах, непосредственно примыкающих к водоприемной ее части, происходит интенсивная суффозия и из них выносятся мелкие частицы, поступавшие из бурового шлама, глинистого «раствора», а также нередко входящие в скелет породы или представляющие заполнение трещин и пустот. В рыхлых породах в период освоения скважины вокруг фильтра создается «естественный фильтр», а в сцементированных, пористых, трещиноватых, кавернозных породах выносится мелкий материал, заполняющий поры или трещины и пустоты. При удовлетворительном освоении скважин проницаемость пород в зоне, примыкающей к водоприемной части (призабойная или приствоповая зона) должна быть той же или несколько более высокой, чем для ненарушенных пород.

Для того, чтобы достигнуть быстрого и качественного освоения скважин, необходимо создавать в приствоповой зоне высокие градиенты и скорости фильтрации, что достигается откачкой при наибольшем возможном понижении уровня. Откачку следует вести неравномерно с перерывами — до осветления воды. Освоение скважин в мелкозернистых и тонкозернистых рыхлых, а также в сцементированных пористых или тонкотрещиноватых породах может быть сопряжено с затруднениями, особенно если бурение велось с глинистой промывкой, т. е. необходима деглинизация скважины. В подобных условиях рекомендуется чередовать интенсивную откачку с промывкой скважины, если это не дает положительных результатов с кратковременными нагнетаниями.

Освоение поглощающих скважин должно производиться особенно тщательно. В конце периода освоения содержание взвешенных частиц в откачиваемой воде должно быть для мелкопористых или тонкотрещиноватых пород очень малым, порядка от 1—2 до 5—10 *мг/л*. Допустимое содержание механических примесей при освоении поглощающих скважин устанавливается опытным путем в результате освоения ряда скважин в данных условиях.

При сильной закольматированности пород в приствоповой зоне рассмотренные выше методы освоения скважин могут оказаться малоэффективными. В подобных случаях прибегают к специальным методам увеличения проницаемости пород вокруг скважины: кислотной обработке, торпедированию и гидроразрыву пласта.

Производство опытных работ и их документация

Пробные и опытные откачки. Откачки из одиночных скважин проводятся обычно при двух-трех различных режимах (понижениях уровня). Только при специальных задачах откачек, например, необходимости

изучить отклонения от закона Дарси, задаются большим числом ступеней (до 5—6).

Наибольшее понижение устанавливается соответственно максимальной производительности насоса, который служит для откачки. Но его величина должна быть достаточной для возможности надежного определения меньших понижений, что зависит от точности применяемых измерительных приборов и равномерности работы насоса. При бесперебойно действующих центробежных и других насосах и измерении динамического уровня электроуровнемером максимальное понижение не должно быть меньше 0,5—1,0 *м*, а при однодействующих штанговых насосах не менее 9—12 *м*, соответственно минимальному понижению 3—4 *м*, необходимому для последних.

Для безнапорных вод максимальное понижение согласно указаниям, имеющимся в различных руководствах и инструкциях, не должно превышать 40—50% мощности горизонта. Однако это положение не имеет теоретического обоснования, что вытекает из выводов И. А. Чарного (1951).

Для напорных водоносных горизонтов желательно, чтобы максимальное понижение уровня было не больше высоты напора, отсчитанной от кровли горизонта. Но при небольшом напоре это требование может быть невыполнимым и возникает необходимость понижать уровень во время откачки ниже кровли горизонта и вследствие этого производить расчет параметров по формулам напорно-безнапорного движения.

При кустовых откачках понижение уровня в опытной скважине должно быть достаточным для того, чтобы создать в наблюдательных скважинах (исключая отдаленные, расположенные у границ депрессионной воронки) понижения, которые можно измерить с достаточной точностью, несмотря на возможные колебания уровня в 10—15 *см*. При проектировании кустовой откачки ожидаемые понижения уровня в наблюдательных скважинах следует определять путем расчета.

Если освоение скважины произведено хорошо, то последовательность режимов откачки не имеет значения. В случае же сомнений в достаточной продолжительности и интенсивности предварительной прокачки, лучше откачку начинать с максимального понижения.

Проектная продолжительность различных видов откачек указана в табл. III-А-1. Фактически откачка при тщательной регулировке может быть закончена раньше. Так, в случае применения для расчетов гидрогеологических параметров формул неустановившегося движения подземных вод откачку можно прекращать, когда дебит и уровень в опытной скважине плавно изменяются в течение нескольких часов при пробных откачках и в течение примерно $^1/_3$—1 суток при опытных откачках.

Регулировку откачки рекомендуется производить, стремясь к достижению постоянного дебита *. При этом динамический уровень плавно и медленно понижается. Если дебит все же обнаруживает колебания и рывки, вызванные неравномерной работой двигателя и т. п., то для определения момента прекращения откачки следует следить за «мгновенным» удельным дебитом, который повторяет колебания дебита и динамического уровня в сильно сглаженном виде.

Измерения дебита при пробной откачке производятся обычно через интервалы от 5 до 15, иногда 30 *мин*, в зависимости от равномерности работы скважины.

---

* Расчетные формулы неустановившегося движения при постоянном дебите значительно проще, чем при постоянном уровне или давлении.

Динамический уровень или давление на устье при самоизливе рекомендуется измерять через каждые 2—10 *мин*, причем в начале опыта, когда режим откачки явно неустановившийся, измерения ведутся чаще.

Переход с одного режима на другой лучше производить без остановки скважины. Если же остановка необходима по техническим причинам, то рекомендуется во время нее вести измерения восстанавливающего уровня или давления на устье (при самоизливе), производя замеры в начале через 1—2 *мин*, затем через 5, 10, 15 *мин* и т. д. После прекращения откачки наблюдения за восстановлением уровня или давления производятся обязательно в том же порядке, причем следует дождаться полного восстановления и определить статический уровень.

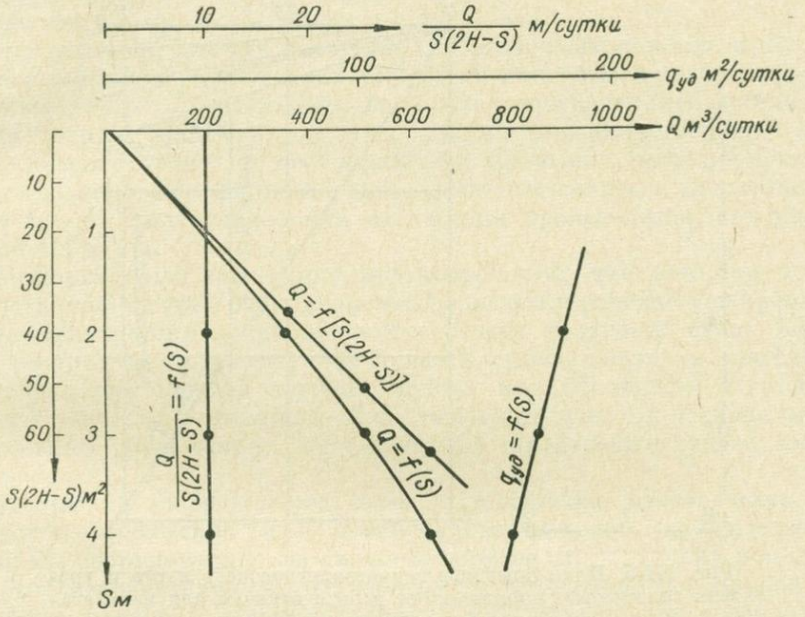


Рис. III-4. Графики зависимостей дебита, удельного дебита и понижения уровня.

В процессе проведения откачки составляются хронологические графики дебита, удельного дебита и понижения. После окончания откачки при каждом режиме следует наносить дебит, удельный дебит и понижение (средние для времени относительной стабилизации откачки) на график зависимости этих величин друг от друга (индикаторную линию). Для безнапорных вод следует также составлять график зависимости между дебитом и величиной S_0 $(2H - S_0)$, где S_0 — понижение уровня в опытной скважине; H — мощность безнапорного водоносного горизонта. Такой график должен быть весьма близким к прямой линии (рис. III-4).

При нормальном ходе откачки, отсутствии искажающих факторов и ошибок измерений указанные графики должны иметь плавный характер. Если же обнаруживаются значительные отклонения отдельных точек их от плавной линии, то следует по возможности выяснить их причины и повторить откачку при соответствующем режиме. Причинами указанных отклонений могут быть (кроме ошибок измерений) засорение фильтра (дебит падает), промыв трещин и водопроводящих каналов (дебит повышается), прорыв воды из других горизонтов (дебит резко повышается и могут измениться химический состав и температура воды, а также появиться взвешенные частицы); заполнение частично или полностью

водоприемной части скважины рыхлым материалом, вынесенным из пород или образовавшимся за счет обвалов стенок скважины (дебит резко падает). Если есть признаки последнего, то следует проверить положение «забоя» и при непроходимости нижней части скважины или наличии «пробок» промыть ее или прочистить.

Кустовые откачки. Наблюдения и измерения при проведении кустовых откачек для центральной скважины такие же, как и при откачках из одиночных скважин, но дополнительно производятся систематические замеры уровня в наблюдательных скважинах, частота которых может быть меньшей, чем для опытной скважины в 2—3, а для отдаленных наблюдательных скважин в 5—6 раз, поскольку в них изменения уровня происхо-

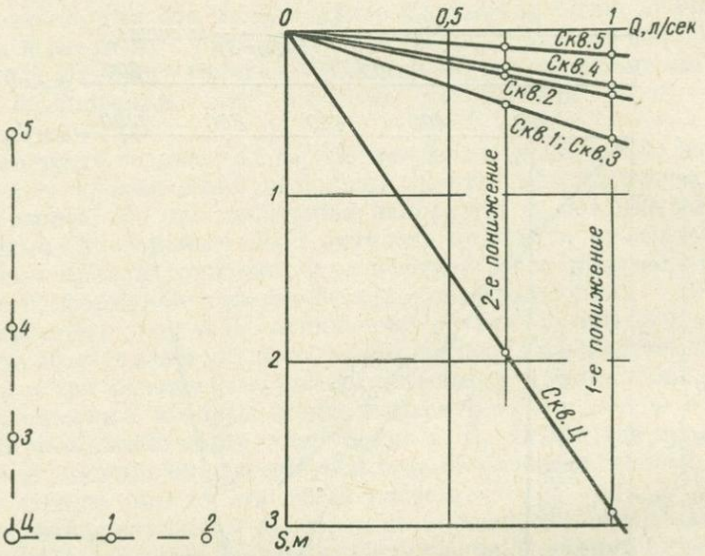


Рис. III-5. План опытного гидрогеологического куста и график зависимости понижений от дебита откачки для центральной и наблюдательных скважин.

дят значительно медленней, чем в опытной скважине. Понижения уровня в наблюдательных скважинах и уровень воды в режимной скважине наносятся на хронологический график. График зависимости между дебитом и понижением уровня или величиной S ($2H - S$) для безнапорных вод при кустовых откачках строится не только для опытной, но также и для наблюдательных скважин (рис. III-5).

Вопрос об установлении момента окончания кустовой откачки довольно сложен. По прежним представлениям, когда все гидрогеологические расчеты производились по зависимостям установившегося движения подземных вод, откачку следует заканчивать при стабилизации, как расхода воды, так и уровней в опытной и всех наблюдательных скважинах (если пренебречь режимными колебаниями уровня). Эта точка зрения принята в большинстве руководств и инструкций [Биндеман, 1951; Силин-Бекчурин, 1951] и может считаться приемлемой для открытых водоносных горизонтов с близкой областью питания или имеющих свободную гидравлическую связь с поверхностными водоемами или другими сильно водообильными горизонтами.

В настоящее время, в связи с применением зависимостей неустановившегося движения подземных вод, откачку можно прекращать до стабилизации уровня в опытной и наблюдательных скважинах, если только

дебит достаточно постоянен, а изменение уровней происходит плавно. Таким образом продолжительность откачки может быть сокращена по сравнению с указанной в табл. VI-А-1.

Опытно-эксплуатационные откачки и длительные закачки. Эти опыты проводятся обычно при одном режиме, но желательно, чтобы им предшествовала пробная откачка при двух-трех различных режимах. Продолжительность рассматриваемых работ разнообразна и может определяться не только стабилизацией дебита и динамического уровня, но также установлением постоянного химического состава воды, содержания в ней взвешенных частиц и т. п., а также состоянием фильтра, насоса и другого оборудования. Прекращение длительной откачки или закачки производится после того, как вполне устойчивая работа скважины наблюдается в течение 10—20 суток, а иногда месяца и более.

Суммарные нагнетания и наливы для одиночных скважин и кустовые производятся так же, как откачки. Но режим этих опытов может быть менее устойчивым, а продолжительность большей, чем откачек, вследствие кольматации пород в приствоповой зоне опытной скважины, ведущей к резкому снижению дебита и необходимости промывки или прокачки ее.

Определение коэффициента действительной скорости движения подземных вод $K_д$ при откачке или нагнетании производится, как указано в главах III и VII.

Поинтервальные нагнетания кратковременны, так как при исправности всей аппаратуры, равномерном ходе насоса и надежном закреплении тампона практически установившийся режим наступает очень быстро. Учитывая ориентировочность получаемых расчетных величин, опыт можно заканчивать для каждой ступени напора при примерном постоянстве расхода и давления в течение 1—2 *ч*. Отсчеты давления и расхода при поинтервальных нагнетаниях рекомендуется производить через каждые 5—10 *мин*.

Определение коэффициента связи со смежными горизонтами. При этих опытах необходимо точно измерять уровни воды в наблюдательных скважинах, оборудованных на смежные горизонты, поскольку понижения могут быть незначительными. Наблюдательные скважины, оборудованные на смежные горизонты, должны, очевидно, иметь совершенно свободную гидравлическую связь с наблюдаемым горизонтом, что тщательно проверяется.

Откачки — нагнетания. Этот метод характеризуется быстрой стабилизацией дебита и динамического уровня, что позволяет при бесперебойном ходе опыта и исправности всей аппаратуры сократить продолжительность его примерно до одной смены на каждую ступень. Увеличение продолжительности опыта может потребоваться, однако, в случае кольматации пород исследуемого горизонта, так как давление, при котором можно закачать всю воду, поступающую из опытной скважины, может настолько возрасти, что окажется необходимой промывка поглощающей скважины или, что более эффективно, перемена ее местами с опытной. При признаках кольматации пород в поглощающей скважине величина давления, под которым производится закачка в нее воды, не используется для расчетов. Измерения при откачках — нагнетаниях производятся так же, как при других видах опытных гидрогеологических работ.

Обработка данных опытных работ

Обработка данных опытных гидрогеологических работ заключается в проверке и оформлении всего материала, полученного при проведении опытов, а также в составлении ряда графиков для расчета гидрогеологических параметров.

При откачках из одиночных скважин и нагнетаниях составляются хронологический график откачки, график зависимости между дебитом и понижением, а для безнапорных вод также график зависимости дебита от величины $S(2H - S)$. Кроме того, составляются графики восстановления уровня (или давления на устье) с обычным и логарифмическим масштабом времени, а при кратковременности откачки — график восстановления уровня в координатах S_0' и $-\lg\frac{t}{t-t_0}$, где S_0' — понижение уровня в период его восстановления; t_0 — продолжительность откачки; t — текущее время. Эти графики служат для расчета гидрогеологических параметров по формулам неустановившегося движения подземных вод.

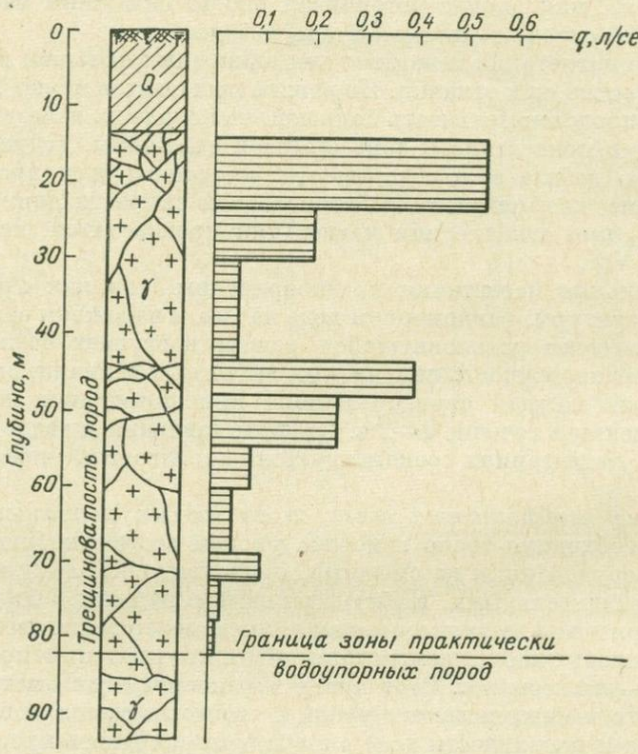


Рис. III-6. Эпюра удельного водопоглощения, совмещенная с геолого-литологическим разрезом опытной скважины.

По данным кустовых откачек строятся также разрезы по лучам с показанием депрессионных линий и планы депрессионной воронки в гидроизогипсах или пьезоизогипсах для каждой ступени. Разрезы по лучам опытного куста рекомендуется строить не только с обычным масштабом расстояний от опытной скважины, но также с логарифмическим масштабом, а для безнапорных вод в масштабе $S(2H - S)$ или h^2 и $\lg r$, где S — понижение уровня в наблюдательной скважине на расстоянии r от оси центральной скважины; h — глубина безнапорного потока на том же расстоянии. Этот метод, предложенный С. А. Колем (1941), преобразует депрессионную кривую, подчиняющуюся формуле Дюпюи, в прямую, что позволяет легко вычислить ряд параметров. При разбросе точек рекомендуется для построения этой прямой пользоваться методом наименьших квадратов [Керкис, 1958].

Для поинтервальных нагнетаний дополнительно строятся так называемые эпюры удельного водопоглощения или другой величины, характеризующей водопроницаемости пород, обычно совмещаемые с геолого-литологическим разрезом скважин (рис. III-6), что характеризует изменение проницаемости горных пород в зависимости от глубины и других факторов и позволяет определить положение зоны практически непроницаемых пород.

Расчеты гидрогеологических параметров по данным опытных работ производятся, как указано в главах XI и XII, том 1.

Б. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Бурение глубоких скважин проводится в целях изучения глубинного геологического строения и направления нефтепоисковых работ в малоисследованных районах; разведки полезных ископаемых (нефти, газа, воды и др.); эксплуатации полезных ископаемых; интенсификации добычи полезных ископаемых и наблюдения за разработкой месторождений. В соответствии с этим по своему назначению глубокие скважины подразделяются на опорные, структурно-поисковые, разведочные, эксплуатационные, нагнетательные и наблюдательные.

Особенности гидрогеологических наблюдений и исследований в глубоких скважинах и их объем обусловлены как назначением скважин, так и способом бурения с применением глинистого раствора, характером крепления скважин, их конструкцией и глубиной залегания опробуемых горизонтов.

§ 1. Гидрогеологические наблюдения в процессе бурения скважин

Выбор объектов для опробования

В процессе бурения глубоких скважин, осуществляемого роторным и турбинным способами, ствол скважины заполнен циркулирующим глинистым раствором, который отжимает от забоя и стенок скважины подземные воды пересеченных ею водоносных горизонтов. Поэтому во время бурения часто не получают прямых признаков водоносности пройденных пород и гидрогеологические предпосылки основывают только на косвенных показателях. В редких случаях, лишь при вскрытии высоконапорных горизонтов, наблюдается излив промывочной жидкости и пластовых вод на поверхность. В этом случае до ликвидации фонтана необходимо определить дебит скважины, температуру воды, ее газонасыщенность и отобрать пробы воды и газа.

Косвенные показатели водоносности пород можно получить при наблюдениях за изменением баланса циркулирующего глинистого раствора и его физико-химических свойств. Важное значение для характеристики проницаемости и водообильности вскрытых скважиной пород имеют данные о поглощении глинистого раствора или увеличении его объема при подтоке воды из водоносных горизонтов.

В некоторых случаях по данным измерения уровня глинистого раствора в скважине может быть установлен напор подземных вод.

Для решения вопроса о наличии водоносных горизонтов по данным исследования физико-химических свойств глинистого раствора в последнем необходимо определять содержание компонентов, которые обычно связаны с разведываемыми подземными водами. Однако нужно иметь в виду,

что пройденные водоносные горизонты часто глинизируются и не всегда оказывают влияние на физико-химические свойства глинистого раствора.

Выделение водоносных горизонтов и комплексов в разрезе скважин и выбор объектов для опробования производится по сумме показателей электрического, радиоактивного, газового и механического каротажа, термических работ, а также по материалам изучения керна и шлама и данным, полученным в результате гидрогеологических наблюдений в процессе бурения.

Электрокаротаж и термокаротаж позволяют уточнить литологический разрез пород, определить положение нефтеносных, газоносных и водоносных пластов, а также водоупорных слоев, и выявить горизонты с пресной и минерализованной водой (см. главу VII).

§ 2. Опробование скважин

Очередность опробования и методы вскрытия горизонтов

Исследование намеченных к опробованию объектов производится в большинстве случаев после окончания бурения скважины. Однако опробование может быть проведено и в процессе проходки, если оно не угрожает техническому состоянию ствола скважины. Последнее возможно в устойчивых скальных породах или после спуска и цементажа промежуточных обсадных колонн в интервалах ниже их башмака.

Опробование после окончания бурения возможно как в незакрепленной скважине (в устойчивых породах), так и после крепления стенок скважины обсадной колонной и ее цементации (в неустойчивых породах).

В необсаженных скважинах испытание производится с помощью испытателей пластов различной конструкции (см. главу XII). Современные конструкции испытателей позволяют получить главным образом качественную характеристику пласта, т. е. дают возможность выяснить, чем насыщен пласт. Получение точной и полной количественной характеристики сопряжено с рядом трудностей и возможно лишь при вскрытии высокопроизводительных горизонтов. Обычно наиболее точно удается замерить пластовое давление и температуру опробуемого горизонта.

В закрепленной скважине допустимо испытание лишь тех горизонтов, которые были перекрыты цементом при затрубном цементаже обсадной колонны. Опробование горизонтов, расположенных выше кровли цементного кольца, производится лишь после дополнительного затрубного цементажа в интервале намеченного горизонта, причем высота пояса цементации должна в несколько раз превышать мощность горизонта.

Перед спуском обсадной колонны ствол скважины прорабатывается долотом для удаления со стенок глинистой корки. После цементажа производится испытание на герметичность колонны и цементного стакана. Испытание осуществляется нагнетанием в скважину жидкости под давлением или снижением уровня. Нагнетание производится под давлением от 50 до 100 *ат*, а величина понижения уровня должна быть возможно большей, но безопасной с точки зрения смятия колонны. Колонна признается герметичной, если уровень за 8 *ч* наблюдения поднимется не более чем на 3 *м*, а давление в течение 30 *мин* снизится не более чем на 5 *ат*.

Если намеченный к опробованию горизонт расположен в интервале цементного стакана, последний разбуривается до необходимой глубины. После испытания горизонта устанавливается цементный мост и проверяется его герметичность. Кровля моста должна располагаться не менее чем в 3 *м* от подошвы вышележащего интервала, намеченного к опробованию.

Перед вскрытием горизонта на скважине проводятся следующие операции:

1) проработка колонны долотом диаметром на $^1/_4$ меньше ее диаметра для удаления с внутренних стенок цементной корки;

2) промывка ствола до забоя и заполнение чистой водой;

3) шаблонирование колонны;

4) оборудование устья задвижкой высокого давления со штурвалом ее управления, выведенным за пределы буровой, фонтанной арматурой или тройником с двумя трубами.

Для вскрытия опробуемого объекта обсадную колонну и цементное кольцо за ней простреливают при помощи перфораторов, спускаемых в скважину на каротажном кабеле.

По принципу действия перфораторы делятся на пулевые (серии СП, ППХ и др.), кумулятивные (серии ПК) и торпедные (серии ТПК). В последнее время широкое распространение получили кумулятивные перфораторы, обладающие наибольшей пробивной способностью. В стадии освоения находится гидропескоструйная перфорация.

При перфорации обычно простреливается 10—20 отверстий на 1 *м*, диаметром 0,8—1,5 *см*. При использовании торпедных перфораторов количество отверстий сокращается до 2—4 на 1 *м*. В плотных породах с целью повышения дебита скважины иногда применяется торпедирование с помощью специальных торпед. Более подробно конструкции и технические характеристики перфораторов рассмотрены в XIII главе.

Гидрогеологические исследования в скважинах

Возбуждение пласта и определение постоянства состава воды. После перфорации для очистки ствола скважины и отверстий перфорации от глинистого раствора проводят их промывку чистой водой через колонну бурильных или компрессорных труб. При этом башмак колонны должен быть обязательно расположен на глубине интервала прострела или несколько ниже его. Для улучшения очистки призабойной зоны в интервале перфорации можно рекомендовать спуск на трубах долота, дающего при промывке сильную струю, перпендикулярную к стенкам скважины.

Для того, чтобы вызвать приток жидкости (газа) из пласта в скважину («возбудить» пласт), между ними необходимо создать разность давлений. Последняя может возникнуть уже при очистке ствола скважины от глинистого раствора в процессе промывки чистой водой.

Если пласт при таком снижении давления не проявляет себя или проявляет слабо, производится снижение уровня воды с помощью желонки, сваба или эрлифта (компрессора). Величина снижения может быть различной и составлять от нескольких десятков до нескольких сотен метров. В значительной степени она зависит от производительности вскрытого горизонта и технических возможностей оборудования, с помощью которого понижается уровень. Для предотвращения выноса из пласта песка и образования пробок снижение уровня производят постепенно, начиная с нескольких десятков метров. В устойчивых породах уровень можно снижать в большей степени. Максимальное понижение уровня не должно превышать глубины, технически допустимой для данной обсадной колонны.

Если при максимальной депрессии на пласт приток получить не удается, следует повторить перфорацию, увеличив интервал ее вплоть до охвата всей мощности испытываемого горизонта. В трещиноватых и сцементированных породах применяется торпедирование. Опробуемый интервал следует считать практически «сухим», если приток жидкости не превышает 3 $м^3$ в сутки. Дальнейшие гидрогеологические работы на

подобных объектах не проводятся, а вышележащий интервал испытывается без установки изолирующего цементного моста.

При опробовании следует избегать больших понижений уровня, особенно в малодебитных горизонтах, поскольку при значительном снижении давления может произойти дегазация жидкости в призабойной части пласта, и замер истинного содержания газа в воде станет невозможным.

Откачку воды из скважины при возбуждении водоносного горизонта производят до установления постоянства состава извлекаемой воды по содержанию хлора, величине удельного веса и pH. В промежутках между отбором проб должно откачиваться не менее одной трети объема ствола скважины. Постоянство считается достигнутым, если совпадает состав трех последовательно отобранных проб. Для контроля отбирается проба воды с забоя скважины.

Определение производительности водоносных горизонтов. Ориентировочное определение величины притока производится еще в период возбуждения пласта по скорости понижения уровня при откачке или путем наблюдений за его восстановлением во время вынужденных остановок.

С целью определения установившегося притока производится откачка воды при постоянном динамическом уровне в течение трех суток. Определение притока следует начинать после достижения постоянства состава воды. Однако при ее незначительной минерализации (до 10—15 *г/л*) замер притока при постоянном динамическом уровне можно начинать, не дожидаясь полной смены технической воды на пластовую.

Замер объема извлеченной воды производится мерной емкостью или во время свабирования путем прослеживания поведения уровня жидкости в открытом затрубном пространстве при помощи ртутного или водяного манометра. Устройство последних и специфика замера уровня с их помощью подробно рассмотрены в ряде руководств (Яковлев, 1959; Лебедев и др., 1956).

Глубина уровня определяется по формуле

$$l = \frac{c}{p_{\text{анер}} + p_{\text{ман}}}, \qquad \text{(III-Б-1)}$$

где l — глубина уровня в затрубном пространстве;

$p_{\text{анер}}$ — атмосферное давление по показанию анероида;

$p_{\text{ман}}$ — давление в затрубном пространстве по показанию ртутного или водяного манометра;

c — постоянная величина.

Значение c определяется при известном положении уровня l_1 и известном затрубном давлении $p_{\text{затр}}$.

$$c = l_1 p_{\text{затр}}.$$

При откачке производятся наблюдения за колебаниями уровня при каждом цикле свабирования. По известному объему 1 *м* затрубного пространства и понижению уровня определяется объем отобранной жидкости за один цикл. Общее количество извлеченной жидкости рассчитывается по числу циклов.

Рассмотренный метод обеспечивает точность, достаточную для практических целей, но он применим лишь при небольшом содержании в воде растворенного газа. При значительном газосодержании выделяющийся в скважине газ будет скапливаться в затрубном пространстве и искажать показания манометра.

Если откачка производится свабом при закрытом затрубном пространстве или компрессором, для замера дебита необходима мерная ем-

кость. Объем емкости должен обеспечивать необходимую точность замеров (±1%).

Когда замер притока мерной емкостью невозможен, ориентировочная величина его определяется по скорости подъема уровня в первый момент после прекращения откачки. Следует иметь в виду, что при этом получаются заниженные результаты.

При естественном самоизливе или при фонтанировании объем жидкости замеряется объемным методом или с помощью различного рода расходомеров (см. главу XII). Для регулирования режима истечения и выяснения зависимости дебита от депрессии пластового давления применяются штуцера или шайбы различного диаметра. Сохраняющееся при их использовании избыточное давление на устье замеряется ртутными, пружинными, техническими или образцовыми манометрами с максимально возможной точностью.

Если в скважине испытывается одновременно несколько горизонтов и требуется определить приток из каждого горизонта, при переливе применяются глубинные дебитомеры. Дебитомер опускается в работающую скважину с помощью обычной лебедки на тросе через сальник, установленный на устьевой арматуре.

Все данные по откачке и результатам наблюдений при самоизливе заносятся в журнал. В конце откачки отбираются пробы воды на химический, бактериологический и радиоактивный анализы и пробы растворенного, спонтанного, а на газовых скважинах — свободного газа.

Отбор проб воды и газа. При самоизливе пробы отбираются с устья скважины. При выделении спонтанного газа пробы его отбираются из газоотводной трубки газоотделителя или трапа, а при небольшом дебите для отбора пробы может быть использована воронка. Растворенный газ извлекается из воды бутылью Савченко, причем вода в нее засасывается с помощью шланга из водоотводного патрубка газоотделителя. Может быть применен и термодегазатор.

Отбор проб спонтанного и растворенного газа сопровождается обязательным замером температуры воды, из которой выделяется газ, и температуры воздуха.

Если статический уровень располагается ниже устья скважины, отбор проб воды и газа производится из желонки, глубинного пробоотборника или методом обратной промывки.

При использовании пробоотборника весь газ переводится в одну бутыль, и уже из нее отбираются отдельные пробы для транспортировки.

Если газ из пробоотборника из-за большого его количества переводился в различные бутыли, необходимо его смешать. В противном случае потребуется анализировать газ в каждой бутыли, что нельзя признать целесообразным.

Обратную промывку производят в том случае, если отсутствуют иные возможности для отбора проб воды и газа. Наилучшие результаты она может дать, когда большая часть затрубного пространства ствола скважины заполнена пластовой водой, т. е. при значительном понижении уровня во время откачки.

Для проведения обратной промывки рекомендуется использовать не грязевые насосы, создающие циркуляцию глинистого раствора при бурении, а цементировочные агрегаты или иные насосы, способные обеспечить равномерную закачку воды с дебитом 0,5—2,0 *л/сек*. При промывке башмак компрессорных труб должен находиться на глубине интервала перфорации. Перед промывкой рассчитывается внутренний объем компрессорных труб, а во время промывки замеряется объем излившейся жидкости.

Пробы воды и газа отбираются из объема воды, находившегося перед промывкой в призабойной части ствола скважины.

При очень низком положении статического уровня и высокой проницаемости и приемистости опробуемого горизонта отбор проб с помощью промывки может оказаться невозможным, так как значительная часть закачиваемой воды будет поглощаться пластом. Наличие поглощения и его величина устанавливается по отношению объемов закачиваемой и изливающейся воды.

Определение статического уровня и пластового давления воды может быть произведено после установления постоянства состава воды как до откачки при постоянном динамическом уровне, так и после нее. При небольшом притоке замер уровня рациональнее провести до откачки. В этом случае депрессия пластовых давлений не успеет захватить значительную область вокруг скважины и на восстановление уровня потребуется меньше времени.

Наблюдения за восстановлением уровня начинаются сразу же после прекращения откачки и производятся с максимальной тщательностью, поскольку точность, с которой будет снята кривая восстановления уровня, всецело обусловливает и точность определения ряда физических параметров пласта (см. ниже). Наблюдения за уровнем ведутся с помощью аппарата Яковлева, агрегата глубинной лебедки, смонтированного на автомашине, эхолотов, пьезографа или уровнемера (см. главу XII).

С целью контроля желательно снятие кривой восстановления производить несколько раз, для чего используется любая благоприятная возможность (вынужденные перерывы в откачке, подъем компрессорных труб и т. д.). Ведутся наблюдения и за понижением уровня, если динамический уровень окажется выше статического.

При медленном притоке для экономии времени восстановление уровня можно ускорить подливом воды в скважину. Если весь ствол скважины заменен пластовой водой, рекомендуется подливать воду той же минерализации. Количество подливаемой воды определяется с учетом того, что в подавляющем числе случаев абсолютные отметки приведенных статических уровней являются положительными. Отклонения от этого правила могут наблюдаться лишь в районах интенсивной разработки нефтяных и газовых залежей или подземных промышленных вод.

Если не весь ствол скважины заполнен пластовой водой, замеренный статический уровень будет характеризовать напор не пластовой воды, а воды, находящейся в скважине. Для установления истинного напора в полученный уровень необходимо внести поправки. Методика расчета поправок будет рассмотрена ниже. Внесение подобных поправок необходимо для вычисления отметки приведенного статического уровня.

Замер статического уровня в длительно простаивающих скважинах должен обязательно сопровождаться проверкой сообщаемости ствола скважины с пластом. Проверка производится по разработанному В. П. Яковлевым (1959) методу микроподлива воды. При хорошей сообщаемости после подлива уровень должен понизиться до статического или в зависимости от минерализации установиться на несколько сантиметров выше его.

Определение статического уровня в переливающих скважинах производится путем измерения избыточного давления манометром или замером уровня в нарощенных выше устья трубах.

Если на устье скважины при переливе выделяется спонтанный газ, то при замере избыточного давления газ, накапливающийся в верхней части ствола, периодически удаляется из-под манометра вплоть до его

практически полного исчезновения. С этой целью должен быть предусмотрен выпускной вентиль.

Иногда устье скважины не может быть полностью герметизировано по техническим причинам. В этом случае статический уровень (избыточное давление) определяется графически. Для этого необходимо замерить дебит при различном противодавлении на устье. Зависимость дебита от противодавления устанавливается не менее чем при трех режимах истечения. При каждом режиме добиваются полной стабилизации дебита и давления. Выделение спонтанного газа при переливе резко искажает давление на устье, и поэтому определение статического уровня этим методом становится или вовсе невозможным, или точность его резко снижается.

Пластовое давление на глубине опробуемого горизонта может быть замерено или рассчитано лишь при точно замеренном положении статического уровня. Замер давления производится глубинными манометрами различной конструкции и точности (см. главу XII). Применение манометров целесообразно лишь в том случае, когда неизвестен характер изменения удельного веса жидкости по стволу скважины, и при испытании нефтяных и газовых скважин. Если же весь ствол заполнен пластовой водой или известен характер изменения по стволу удельного веса жидкости, пластовое давление может быть определено простым расчетом с еще большей точностью.

Спуск глубинного манометра в переливающие или фонтанирующие скважины осуществляется при герметически закрытом устье через лубрикатор или сальник.

Определение содержания газа. Количество газа, содержащееся в единице объема воды в пластовых условиях, определяется на переливающих скважинах на устье с помощью газоотделителей и трапов различной конструкции при дебите более 0,1 *л/сек* и с помощью резинового шланга и мерной бутыли при дебите менее 0,1 *л/сек*.

Объем и конструкция газоотделителей определяются дебитом воды и содержанием в ней газа. При дебите воды до 2 *л/сек* хорошие результаты дает газоотделитель конструкции ВСЕГЕИ объемом 150—200 *м* [Гуревич, 1956]. При большом дебите и значительном содержании газа (газовый фактор 1 : 1 и более) устанавливаются газоотделители типа трапов, конструкция которых рассмотрена в ряде руководств [Чернов, Жуков и др., 1960].

Способы замера дебита свободного газа, отделенного от воды с помощью газоотделителя, указаны в главе XII. Следует подчеркнуть, что все замеры, связанные с определением газового фактора, производятся лишь при стационарном режиме истечения воды и газа. Особое внимание этому вопросу необходимо уделять при небольшом дебите (менее 0,1 *л/сек*), поскольку в этом случае режим истечения может устанавливаться в течение суток и более.

Одновременно с замером дебитов воды и газа определяется температура изливающейся воды, воздуха и барометрическое давление.

При отсутствии самоизлива отбор проб для определения содержания газа производится с помощью глубинных пробоотборников, спускаемых в скважину на глубину опробуемого горизонта. Наиболее широкое распространение получил пробоотборник ПД-3, однако не лишенный ряда недостатков. Сконструирован и хорошо зарекомендовал себя при проверке ряд других моделей (ПРИЗ-II, газопьезометр ВСЕГЕИ, ГПВ-4 и др.). Конструкция пробоотборников и методика работы с ними рассмотрена в главе XII настоящего справочника и в ряде руководств [Гуревич, 1956; Корценштейн, 1960, 1963; Зерчанинов, 1962 и др.].

Если в воде содержится мало газа и на поверхности земли он не выделяется в свободную фазу, производится замер количества растворенного

газа. Последний может быть извлечен с помощью вакуумных, термических или термовакуумных дегазаторов. Предпочтение следует отдавать вакуумной дегазации (по методу В. П. Савченко), так как при нагревании содержащиеся в воде гидрокарбонаты разлагаются, обогащая газ посторонней углекислотой.

При выделении спонтанного газа извлекать растворенный необязательно, так как его состав и количество всегда можно рассчитать по составу свободного газа, имея сведения о температуре воды (газа) в момент выделения газа и ее минерализации. Однако если в состав спонтанного газа входят хорошо растворимые в воде компоненты (CO_2; H_2S), целесообразно определить и количество растворенного газа и его состав. Общее количество газа, содержащегося в единице объема воды, определяется суммой объемов спонтанного газа и растворенного.

Определение пластовой температуры. Температура на глубине испытываемого горизонта может быть установлена или непосредственным точечным замером с помощью максимальных, электрических, электронных, биметаллических и жидкостных термометров, или определена по результатам геотермического изучения разреза при установившемся тепловом режиме с помощью термометров, регистрирующих непрерывное изменение температуры по стволу скважины.

Замер температуры максимальными термометрами производится при одновременном спуске 2—3 термометров, помещенных в герметичную гильзу. Для самоконтроля один из термометров в гильзе устанавливается вверх ртутным шариком. Различие в показаниях термометров при подобном их расположении будет фиксировать стряхивание ртути из капилляра при толчках о стыки колонны во время подъема.

Термометры в гильзе должны быть полностью изолированы от воздействия давления в скважине. С этой целью должна соблюдаться абсолютная герметичность гильз. Для возможности проверки герметичности гильзы не следует ничем заполнять ее внутреннюю полость. Наличие в гильзе после подъема жидкости будет свидетельствовать о ее негерметичности. В этом случае температура может оказаться завышенной на 10—20° С и более.

На глубине опробуемого интервала термометры выдерживают в течение 20—30 *мин*.

При использовании термометров иных конструкций предпочтение следует отдавать биметаллическим (ТГБ) и манометрическим (ТГГ-1), учитывая относительную простоту их конструкции и хорошую чувствительность. Эти термометры выпускаются нашей промышленностью серийно.

Во всех случаях замера температуры нужно учитывать возможную нарушенность естественного теплового режима по стволу скважины. Если из пласта был получен большой приток воды и, соответственно, из скважины было извлечено много воды (более 100 $м^3$) можно считать, что замеренная температура полностью отражает истинную пластовую температуру. При небольшом притоке и сильном снижении уровня температура может оказаться заниженной в той или иной степени в зависимости от того, сколько времени до замера скважина находилась в покое.

Особенности опробования глубоких скважин в различных гидрогеологических условиях

Разнообразие природных гидрогеологических условий вызывает в ряде случаев необходимость проводить в глубоких скважинах при опробовании дополнительные операции или вносит определенные черты специфики

в эти операции. Опробование водоносных горизонтов отличается некоторыми особенностями в районах развития многолетней мерзлоты; при вскрытии высокотермальных вод; при вскрытии водоносных горизонтов с большим содержанием растворенного газа; при вскрытии насыщенных рассолов; при опробовании трещиноватых и кавернозных водоносных пород; при опробовании водоносных горизонтов в необсаженной скважине с помощью испытателей пластов различной конструкции; при опробовании длительно простаивающих скважин.

Рассмотрим каждый из этих случаев в отдельности.

1. В скважинах, вскрывших многолетнюю мерзлоту, опробование возможно лишь при непрерывной откачке воды или фонтанировании или при достаточно высокой минерализации пластовой воды, когда температура мерзлых пород недостаточна для ее замерзания в стволе. Оценка последнего фактора может быть сделана на основании данных о температуре замерзания растворов хлористого натрия различной концентрации. Например, раствор, содержащий в 1 *л* 110 *г* NaCl замерзает лишь при температуре —7,8° С.

При вскрытии водоносных горизонтов, дающих небольшой приток пресных или слабоминерализованных вод, непосредственные длительные наблюдения за восстановлением уровня и замер его статического положения могут оказаться невозможными. В этом случае можно рекомендовать после отбора проб воды и газа закачивать в скважину жидкость с низкой температурой замерзания (нефть, дизельное топливо, рассол соответствующей минерализации).

В подобных условиях все операции, связанные с отбором проб, замером газосодержания и температуры, должны проводиться в минимальные сроки.

2. При опробовании высокотермальных вод необходимо предусмотреть, чтобы все приборы и оборудование были рассчитаны на работу при соответствующей температуре.

На замер статического уровня или избыточного давления в скважинах, давших большой приток воды, следует отводить больше времени. Необходимость этого вызывается сильным нарушением теплового режима по стволу скважины потоком воды при откачке или фонтанировании. В результате повышения температуры удельный вес жидкости в верхней части ствола скважины оказывается заниженным, что, в свою очередь, может привести к завышению статического уровня. При наблюдении за уровнем в подобных условиях может оказаться, что после временной стабилизации уровень из-за охлаждения воды начнет вновь снижаться.

Большая производительность водоносного горизонта и неглубокое расположение статического уровня могут обусловить при интенсивной откачке и высокой температуре воды на устье естественный самоизлив воды, который, однако, после временной герметизации скважины уже не возобновится, если скважина за время герметизации успеет в достаточной степени остыть. В данном случае будет наблюдаться явление, которое по аналогии с эрлифтом можно назвать термолифтным эффектом.

3. Особенности опробования водоносных горизонтов с большим содержанием растворенного газа частично рассмотрены во втором разделе настоящего параграфа.

Газ, выделяющийся из воды при снижении давления, оказывает существенное влияние на положение динамического уровня при откачке. В некоторых случаях из-за образования в верхней части столба воды газо-водяной эмульсии он может располагаться даже выше статического уровня. Поэтому при необходимости знать точную величину депрессии на пласт при откачке или фонтанировании с противодавлением на устье

в скважину нужно спускать глубинный манометр через лубрикатор или специальные трубки для наблюдения за уровнем. Нижний конец трубок должен располагаться глубже того интервала, в котором происходит движение газо-водяной эмульсии. Когда в скважину спущены компрессорные трубы, наблюдения за уровнем при самоизливе следует вести в этих трубах, а режим истечения регулировать по затрубному пространству.

Замер избыточного давления при полной герметизации устья необходимо сопровождать 3—5-кратным выпуском газа, скапливающегося в верхней части скважины.

В водоносных горизонтах с низкой производительностью замер истинного содержания в воде газа с помощью пробоотборника или обратной промывки возможен лишь в том случае, если величина депрессии пластового давления при откачке не превышала дефицита упругости растворенного в пласте газа. Когда вода до предела насыщена газом, т. е. упругость газа равна пластовому давлению, точное определение содержания газа при низкой производительности горизонта невозможно. Замеренное содержание газа в этом случае будет ниже действительного.

4. Исследование водоносных горизонтов, содержащих насыщенные рассолы, следует вести с учетом возможности выпадения солей как в порах и трещинах породы, так и по стволу скважины. Кристаллизация солей ($NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$ и др.) может быть вызвана снижением температуры в призабойной зоне пласта или нарушением газового режима пластовых вод. Из-за выпадения солей дебит при испытании скважин будет значительно занижен.

Для предотвращения выделения солей в самом пласте следует как можно меньше нарушать его естественный тепловой режим, а при неизбежности нарушения прокачка скважины пластовой водой должна быть максимально возможной по интенсивности и продолжительности. Удаление солей с поверхности труб производится периодической промывкой скважины пресной водой или механическим способом.

5. Опробование трещиноватых и кавернозных пород лучше вести открытым забоем или при их достаточной устойчивости в необсаженной скважине.

При опробовании скважины открытым забоем интервал, намечаемый для изучения, следует разбуривать после спуска и цементажа обсадной колонны по возможности без применения глинистого раствора. В обсаженных скважинах при заливке цемента за колонну под давлением трещины цементируются, и их вскрытие пулевыми и кумулятивными перфораторами сильно затрудняется. В этих условиях следует максимально увеличить количество отверстий перфорации и применять перфораторы повышенной пробивной силы (типа Колодяжного) или торпеды.

При испытании кавернозных пород, проходка которых сопровождалась поглощением промывочной жидкости, прокачка скважины должна быть более продолжительной.

6. Опробование необсаженных скважин испытателями пластов не позволяет иметь полностью те гидрогеологические данные, получение которых возможно при обычном исследовании водоносных горизонтов. Это относится к данным о дебите, газосодержании, пластовом давлении. При использовании испытателей пластов качество отбираемых проб, как правило, невысокое. Статический уровень и пластовое давление удается получить лишь для высокодебитных горизонтов, сложенных устойчивыми породами.

Полный комплекс данных можно получить лишь в случае самоизлива воды. Однако и при этом сроки проведения всех операций обычно очень

ограничены, поскольку испытатель не может длительное время находиться в скважине.

Применение испытателей современных конструкций рационально лишь во время проведения нефтепоисковых работ, когда во многих случаях требуется только определить, чем насыщен пласт, нефтью, газом или водой.

Конструкции испытателей и все операции, связанные с их использованием, рассмотрены в главе XII.

7. Комплекс гидрогеологических исследований на длительно простаивавших скважинах (пьезометрических и наблюдательных) тот же, что и при опробовании скважин в обычных условиях.

Наиболее тщательно проверяется связь между пластом и скважиной. Путем отбора проб с различной глубины выясняют, насколько полно очищен ствол от технической воды. Если позволяют технические возможности, производится смена воды на пластовую по всему стволу скважины, а затем откачка при одном динамическом уровне и снятие кривой восстановления уровня. Если прокачка скважины невозможна, кривую восстановления уровня снимают способом подлива. Для этого в скважину подливают воду в объеме, обеспечивающем подъем уровня на 20—15 *м*.

Отбор проб для определения удельного веса по стволу производят сверху вниз. На участках резкого изменения удельного веса пробы отбираются более часто.

§ 3. Обработка результатов опробования

Предварительная обработка результатов опробования производится непосредственно на скважине. Она необходима для контроля и выбора рационального режима исследований. На этом этапе обработки необходимо:

1) рассчитать внутренний объем обсадных труб в стволе скважины, объем компрессорных труб (внешний и внутренний и объем их одного погонного метра);

2) по результатам прокачки и откачки рассчитать величину притока воды;

3) после достижения постоянства состава по содержанию хлора рассчитать ориентировочную величину минерализации воды, допуская, что в воде растворен лишь хлористый натрий;

4) по первым результатам замера содержания газа определить его ориентировочную упругость; путем сравнения ее с величиной максимальной депрессии на пласт при возбуждении определить целесообразность дальнейших замеров;

5) при медленном восстановлении уровня с учетом альтитуды скважины определяется глубина, выше которой должен располагаться статический уровень; затем рассчитывается объем воды, который нужно подлить в скважину, чтобы ускорить замер статического уровня. При ненарушенном гидродинамическом режиме пласта отметка приведенного к пресной воде уровня после долива должна превышать уровень абсолютного нуля.

Окончательная обработка материалов осуществляется в камеральный период. При этом производится определение параметров пласта; обработка анализов воды и газа; расчет упругости растворенного газа; расчет приведенных пьезометрических уровней.

1. Для определения параметров пласта производится обработка кривых восстановления уровня. Методика обработки наиболее полно освещена в Инструкции по гидродинамическим исследованиям нефтяных

и газовых скважин (1961) и в ряде других руководств [Зерчанинов, 1962 и др.].

По данным наблюдений за восстановлением уровня строят в полулогарифмических координатах (ΔH и $\lg t$) кривую зависимости приращения уровня от времени (рис. III-1). Определив по этой кривой тангенс угла наклона i касательной прямой *2* и отрезок A, отсекаемый этой прямой на оси ординат, можно рассчитать;

а) коэффициент гидропроводности пласта в районе исследуемой скважины по формуле

$$\varepsilon = \frac{0{,}212\,Q}{\gamma i}, \qquad \text{(III-Б-2)}$$

где Q — дебит скважины при постоянном динамическом уровне, *м³/сутки*;
γ — удельный вес воды, *Г/см³*;
i — безразмерная величина, определяемая по результатам обработки кривой восстановления уровня;
ε — коэффициент гидропроводности пласта, *дарси/спз · м*;

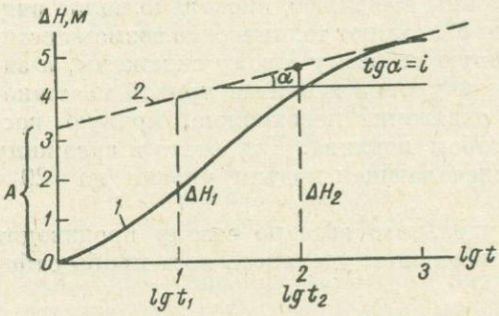


Рис. III-7. Кривая восстановления уровня воды в скважине в полулогарифмической сетке координат.

б) проницаемость пласта по формуле

$$k = \frac{\varepsilon \mu}{h}, \qquad \text{(III-Б-3)}$$

где μ — вязкость воды, *спз*;
h — мощность пласта, *м*;
k — коэффициент проницаемости, *дарси*;

в) коэффициент пьезопроводности по формуле

$$a = \frac{\varepsilon}{h\,(n\beta_{ж} + \beta_{п})}, \qquad \text{(III-Б-4)}$$

где a — коэффициент пьезопроводности, *см²/сек* при t, *сек*.
n — пористость;
$\beta_{ж}$ и $\beta_{п}$ — коэффициенты сжимаемости, соответственно, жидкости и породы, *1/ат* определяются в лабораторных условиях.

г) приведенный радиус скважины, учитывающий ее несовершенство, по формуле

$$r_{с} = \sqrt{\frac{2{,}25}{10\,\frac{A}{i}}}, \qquad \text{(III-Б-5)}$$

где A — некоторая величина, определяемая по результатам обработки кривой восстановления уровня (см. выше);
$r_{с}$ — приведенный радиус скважины, *см*;

д) так называемый «стометровый» коэффициент продуктивности скважины по формуле

$$K_{100} = \frac{23{,}6}{(2 - \lg r_{с})}, \qquad \text{(III-Б-6)}$$

где K_{100} — стометровый коэффициент продуктивности скважины, *м³/сутки*.

Расчет параметров пласта по рассмотренным выше формулам производится на основе данных, полученных при неустановившемся режиме

притока жидкости к скважине. Поэтому получаемые параметры могут быть использованы лишь для ориентировочных расчетов и сравнения между собой различных скважин. Получение абсолютных значений этих параметров, необходимых при гидродинамических расчетах, возможно лишь при установившемся режиме работы.

При опробовании одиночных поисковых, разведочных или опорных скважин обычно приходится иметь дело с неустановившимся режимом, так как проведение на них длительных откачек практически невозможно.

Если по какой-либо причине наблюдения за восстановлением уровня в скважине не проводились, коэффициент проницаемости может быть рассчитан по формуле

$$k = \frac{K_{\text{пр}}\mu\left(\ln\frac{R}{r} + c_1 + c_2\right)}{2\pi h}, \qquad \text{(III-Б-7)}$$

где

$K_{\text{пр}}$ — коэффициент продуктивности скважины, *см³/сек · ат*;

$K_{\text{пр}} = \frac{Q}{\Delta p}$ (Q — дебит скважины в *см³/сек* при депрессии на пласт Δp, *ат*);

μ — вязкость воды в пластовых условиях, *спз*;

R и r — соответственно радиус действия скважины и радиус ствола скважины в *см*; в промысловых условиях за R обычно принимается половина среднего расстояния до соседних работающих скважин, а за r — радиус скважины, соответствующий размеру долота, которым пробурен ствол скважины в исследуемом интервале;

c_1 и c_2 — коэффициенты, учитывающие дополнительное сопротивление движению жидкости в скважине по характеру вскрытия (c_1) и по несовершенству скважины (c_2); определяются по кривым В. И. Щурова (см. приложение XI);

h — эффективная мощность пласта, *см*.

Расчет коэффициента проницаемости по формуле (III-Б-7) дает более близкие к действительным значениям проницаемости, чем при расчете по данным о восстановлении уровня.

Определение несовершенства скважин по графикам В. И. Щурова по ряду причин является малодостоверным. Поэтому определение коэффициента дополнительного сопротивления c, учитывающего одновременно несовершенство скважины и по степени и по характеру вскрытия пласта, следует производить по формуле

$$c = \frac{2\pi kh}{\mu K_{\text{пр}}} - \ln\frac{R}{r}, \qquad \text{(III-Б-8)}$$

которая получена из формулы (III-Б-7) путем простой перестановки.

В этой формуле величина коэффициента гидропроводности пласта $\frac{kh}{\mu}$ определяется по рассмотренной выше формуле (III-Б-2) нестационарного притока, исходные данные для которой Q и i находятся по результатам откачки при постоянном динамическом уровне и по результатам обработки наблюдений за восстановлением уровня.

2. При обработке результатов химического анализа воды в первую очередь устанавливается степень чистоты отобранной пробы. Это делается путем сравнения состава воды с водой, полученной из того же горизонта в соседних скважинах. Резкие различия в минерализации и содержании отдельных компонентов, а также присутствие CO_3^{2-} при высоком pH

свидетельствуют о примеси промывочной жидкости. На это же может указывать резко пониженное содержание магния, который в щелочной среде легко гидролизуется, выпадая в осадок в виде $Mg(OH)_2$, а также повышенное содержание иона SO_4^{2-}, который попадает в воду из тампонажного цемента.

После отбраковки производится пересчет анализа в эквивалентную и процент-эквивалентную формы, как это указано в главе IV. Одновременно подсчитываются минерализация (в весовой и эквивалентной формах) и коэффициенты: $\frac{rNa}{rCl}$, $\frac{rCl-rNa}{rMg}$, $\frac{rNa-rCl}{rSO_4}$, $\frac{rCa}{rMg}$, $\frac{rSO_4}{rCl}$, $\frac{Cl}{Br}$, $\frac{J}{Br}$. Приводится формула Курлова. При использовании классификации В. А. Сулина указывается тип воды, класс, группа и подгруппа. В ряде случаев, например, при анализе рассолов и минеральных вод результаты анализа выражаются в форме гипотетических солей. Все результаты обработки анализа заносятся в карточку.

Качество анализов газа определяется количеством воздуха, загрязнившего пробу при ее отборе и транспортировке. При содержании кислорода более 3% анализ использовать при дальнейших обобщениях не следует. При меньшем его содержании производится пересчет состава газа на безвоздушный на основе методических указаний, изложенных в работе Н. Н. Ростовцева и В. Г. Пановой (1956). После пересчета вычисляется величина отношений $\frac{He+Ne}{Ar+Kr+Xe}$ и $\frac{Ar+Kr+Xe}{N_2} \cdot 100$. По величине последнего может быть найдено содержание в рассматриваемом газе азота неатмосферного (биогенного, глубинного) происхождения.

В том случае, когда известен состав лишь спонтанного газа, а соотношение газ : вода не превышает 0,5 : 1, необходимо рассчитать состав и содержание растворенного газа, находившегося в равновесии со спонтанным при его выделении. Расчет состава растворенного газа особенно необходим, когда в спонтанном газе присутствуют такие легко растворимые в воде компоненты, как CO_2 и H_2S. Для расчета, помимо состава спонтанного газа, необходимо использовать коэффициенты растворимости его отдельных компонентов в условиях выделения газа в свободную фазу, т. е. нужно знать температуру и минерализацию воды.

По составу и количеству спонтанного газа и газа, растворенного в воде при атмосферном давлении, путем суммирования определяется количество газа, растворенного в единице объема воды в пластовых условиях, и его состав.

Данные о газосодержании, составе газа, растворенного в пластовых условиях, минерализации воды и ее температуре позволяют рассчитать упругость растворенного газа в термодинамической обстановке исследуемого водоносного горизонта. Методика расчета упругости изложена в специальной литературе [Корценштейн, 1963; Справочник гидрогеолога. Под ред. Альтовского, 1962].

3. Расчет приведенных пьезометрических уровней производится по формуле, впервые предложенной А. И. Силиным-Бекчуриным (1951)

$$p = h_1\gamma_1 + z\frac{\gamma_1+\gamma_2}{2}, \qquad \text{(III-Б-9)}$$

где p — приведенный уровень (давление) в рассматриваемой точке гидравлической системы;

h_1 — пьезометрическая высота, *м*;

γ_1 — удельный вес воды в рассматриваемой точке (принимается, что удельный вес в этой точке равен удельному весу воды по стволу скважины);

z — расстояние от рассматриваемой точки по вертикали до выбранной плоскости сравнения, *м*;

γ_2 — удельный вес воды на выбранной плоскости сравнения;

$\frac{\gamma_1+\gamma_2}{2}$ — среднее значение удельного веса воды в пределах столба, ограниченного сверху плоскостью, проходящей через данную точку гидравлической системы, а внизу — выбранной плоскостью сравнения.

Формула (III-Б-9) справедлива в случае прямолинейного закона изменения удельного веса пластовых вод с глубиной. Поскольку в природных условиях такое соотношение наблюдается редко, то рассмотренную выше формулу рекомендуется применять для расчета уровней в близко расположенных скважинах и при незначительном различии в глубинах залегания горизонта.

При широких региональных обобщениях, когда приходится сравнивать уровни в скважинах, расположенных на расстоянии в десятки и сотни километров, в основу расчета приведенных уровней кладется эта же формула, но сам расчет ведется по методу И. К. Зерчанинова [1958, 1962].

Недостатком этого метода является то, что ошибка, допущенная в замере уровня какой-либо скважины, автоматически передается на уровни во всех остальных скважинах, используемых при расчете. Этот недостаток устраняется в методе расчета, предложенном С. С. Бондаренко (1961). *

Расчет производится по формуле

$$P_{\text{пр. п}} = p_{\text{пл. п}} + \frac{z}{10}\cdot\frac{(\gamma_0-\gamma_1)}{2} + \frac{(z_2-z_1)}{10}\cdot\frac{(\gamma_1+\gamma_2)}{2} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{(z_n-z_{n-1})}{10}\cdot\frac{(\gamma_n-\gamma_{n-1})}{2},$$

где $p_{\text{пр. п}}$ — приведенное пластовое давление в любой точке водоносного горизонта, *кГ/см²*;

$p_{\text{пл. п}}$ — пластовое давление в указанной точке, *кГ/см²*;

γ_0 — объемный вес воды у плоскости сравнения (в точке с вертикальной координатой $z = 0$);

$\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_{n-1}, \gamma_n$ — объемный вес воды в сечениях (скважинах 1, 2,...., $n-1$, n)

$z_1, z_2, \ldots, z_{n-1}, z_n$ — расстояние по вертикали от точки (интервала) исследования до плоскости сравнения, *м*.

В формуле (III-Б-9) произведение $h_1\gamma_1$ по существу выражает высоту столба воды в скважине, приведенную к пресной воде. Поэтому γ_1 должен быть равен среднему удельному весу воды по стволу скважины, который при большой глубине скважины при высокой забойной температуре, а также при наличии в стволе технической воды, не будет равен удельному весу на глубине горизонта. Для расчета среднего удельного веса воды в стволе скважины необходимо знать характер изменения минерализации по ее стволу.

При температуре воды выше 35—40° С, помимо минерализации, следует учитывать влияние на удельный вес и температуры. Определение удельного веса слабоминерализованной воды с учетом влияния температуры, давления и газонасыщенности, может быть произведено по номограмме (рис. III-8), составленной Н. М. Кругликовым [1960]. На номограмме по оси абсцисс отложена величина давления, по оси ординат — величина удельного веса. Сплошные наклонные линии показывают

* Аналогичный метод расчета был предложен О. В. Равдоникас в 1958 г. (фонды ВСЕГЕИ).

изменение удельного веса пресной воды, не содержащей газа, в зависимости от давления при различных температурах, пунктирные наклонные линии — изменение удельного веса воды, насыщенной газом на 50 и 100%. Вниз от оси давлений отложены значения удельного веса, соответствующие определенной минерализации. При определении удельного веса сначала находят его величину в зависимости от давления, температуры и газонасыщенности (верхняя половина номограммы), а затем графически вычитают из нее избыток удельного веса, обусловленный минерализацией

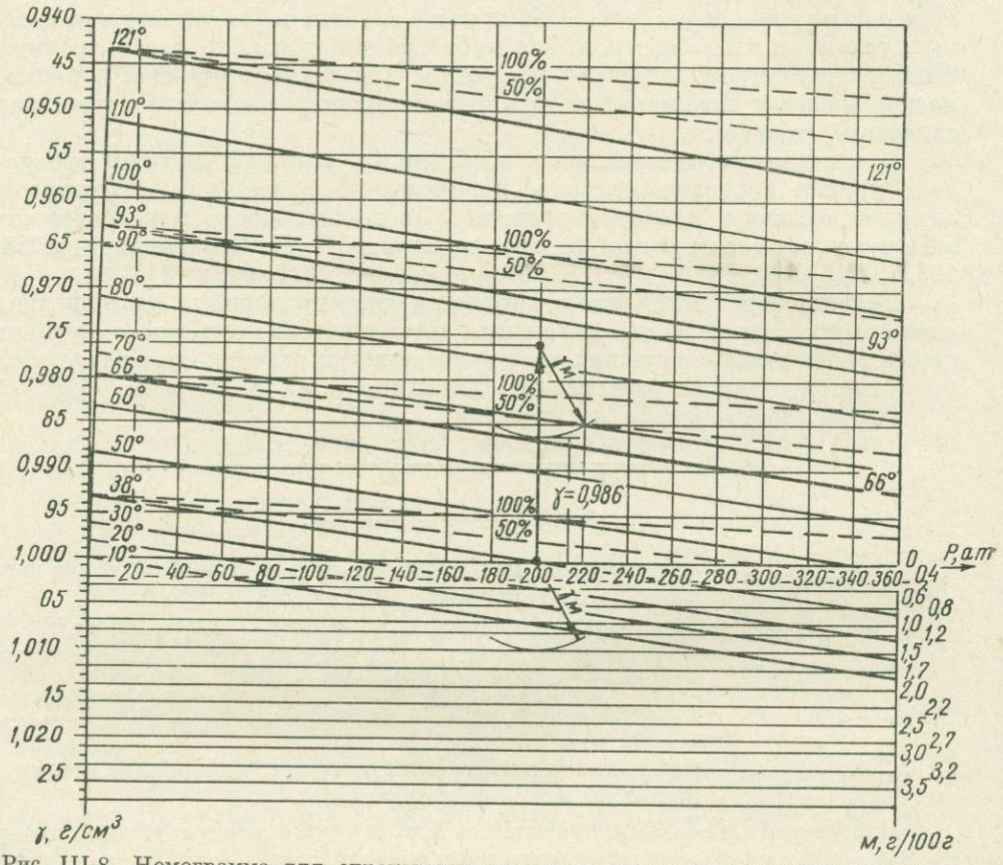


Рис. III-8. Номограмма для определения удельного веса воды в зависимости от температуры, давления, газонасыщенности и минерализации.

(нижняя половина номограммы). При построении номограммы принято, что растворенные в воде соли представлены в основном хлоридом натрия, а степень теплового расширения воды и ее упругие свойства не зависят от количества растворенных солей.

Влияние температуры и давления необходимо учитывать и на глубине плоскости сравнения, т. е. при определении γ_2 в формуле (III-Б-9).

При расчете среднего удельного веса воды по стволу скважины с учетом влияния температуры следует иметь в виду, что удельный вес находится не в линейной зависимости от температуры. Поэтому определение среднего удельного веса как среднеарифметической величины допустимо лишь в интервале температур не более 30—40° С. При температуре на забое в 100° С и более расчет среднего удельного веса необходимо вести как средневзвешенную по глубине величину.

В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В главе X, том 1, указывалось, что действительная (истинная) скорость движения подземных вод v' и скорость фильтрации v связаны между собой зависимостью

$$v' = \frac{v}{n}, \qquad \text{(III-B-1)}$$

где v' — действительная (истинная) средняя скорость движения подземных вод в порах рыхлых или трещинах трещиноватых пород;
v — скорость фильтрации;
n — пористость.

Численное значение величины v' определяется из тех соображений, что поперечное сечение струек, составляющих подземный поток, непрерывно меняется вдоль движения; поэтому можно говорить о действительной средней скорости движения, представляющей отношение расстояния L между двумя точками на время прохождения жидкой частицы t, т. е.

$$v' = \frac{L}{t}. \qquad \text{(III-B-2)}$$

В зависимости от размеров пор и трещин, физической характеристики их, шероховатости, а также напора, под действием которого происходит движение подземных вод, оно, как указывалось выше, может быть ламинарным или турбулентным.

Определение действительной средней скорости движения подземных вод сводится к запуску тех или иных индикаторов в пусковую скважину или шурф и их обнаружению в наблюдательной выработке. Время прохождения индикатора между двумя точками и расстояние между ними дают возможность определить действительную среднюю скорость движения подземных вод.

Поскольку при этом применяют различные индикаторы и способы обнаружения их в воде неодинаковы, то существуют различные методы определения скоростей: химический, электролитический, колориметрический, а также геофизические.

Для определения скорости движения подземных вод могут быть использованы также некоторые радиоактивные изотопы многих элементов.

Химический и электролитический методы с разной степенью точности дают возможность установить концентрацию соли в наблюдательной выработке, фиксируя постепенное нарастание концентрации индикатора. Колориметрический метод позволяет лишь приближенно судить о концентрации индикатора и отмечает преимущественно только появление индикатора — красящего вещества в наблюдательной выработке.

Индикаторными способами можно определять не только естественные скорости движения подземных вод, но и скорости, получающиеся в период откачки из скважин. В этом последнем случае определение действительных скоростей характеризуется некоторыми преимуществами. Так как в период откачки скорости движения подземных вод увеличиваются, тем самым сокращается продолжительность наблюдений; кроме того, упрощается установление направления движения, так как индикатор в силу радиальности движения всегда направляется от точки запуска к скважине, из которой ведется откачка.

§ 1. Состав и содержание работ по определению скорости движения подземных вод

Для правильного размещения скважин, с помощью которых может быть определена скорость движения подземных вод, необходимо прежде всего должным образом определить элементы залегания и движения подземных вод.

Если карта гидроизогипс для рассматриваемого участка отсутствует, то направление движения подземных вод определяется по уровням воды в трех скважинах, заложенных в вершинах треугольника так, как показано на рис. III-9.

Расстояние между вершинами треугольника следует задавать равным 50—100 *м* в зависимости от рельефа местности и общих размеров участка, на котором проводится опыт.

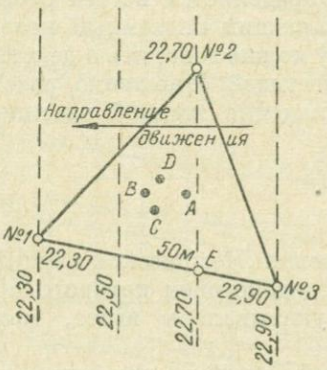


Рис. III-9. Определение направления движения подземных вод по трем скважинам — 1, 2 и 3.

Внутри треугольника, образованного скв. 1, 2, 3, располагаются

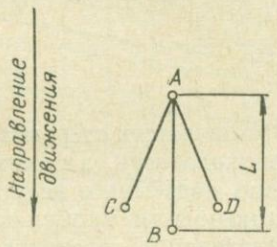


Рис. III-10. Схема размещения пусковой скважины *A* и наблюдательных *B*, *C*, *D* при определении скорости движения подземных вод.

четыре скважины *A*, *B*, *C*, *D*, по которым надлежит производить наблюдение за скоростью движения подземных вод. При этом скважины *A* и *B*, как показано на рис. III-10, располагаются по направлению движения подземных вод, а вспомогательные — *C* и *D* — в перпендикулярном направлении с учетом, чтобы линии *AC* и *AD* составляли угол 15—20° с линией *AB*. Скважина *A* является пусковой, *B*, *C* и *D* — наблюдательными.

Можно рекомендовать следующие расстояния *L* между пусковой и наблюдательными скважинами:

а) в породах, слабо проводящих воду: супесях, суглинках и других глинистых разностях ввиду малых размеров пор определение действительных скоростей практически невозможно;

б) в более проницаемых для воды мелко- и среднезернистых песках — 1—2 *м*;

в) в породах, легко водопроницаемых — крупнозернистых песках, гравии, галечниках — 2—5 *м*;

г) в хорошопроницаемых трещиноватых породах — 5—10 *м*;

д) в закарстованных породах — не менее 10 *м*.

Окончательный выбор расстояния между скважинами *L* связан с продолжительностью опыта следующей зависимостью:

$$t = \frac{L}{v'}, \qquad \text{(III-B-3)}$$

где v' — ориентировочное значение действительной средней скорости при уклонах 0,001—0,01 (*м/сутки*):

Среднезернистые пески	0,5—1,0
Крупнозернистые пески и галечники	1,5—3,0
Трещиноватые породы	3,0—20,0
Закарстованные породы	10,0—50,0

Начальный диаметр наблюдательных скважин принимается в соответствии с их глубиной; в рыхлых породах должен быть установлен фильтр диаметром не менее 60—50 *мм*. Конечный диаметр пусковой скважины должен быть более 100 *мм* и должен обеспечить опускание в скважину специального цилиндра для введения раствора.

Перед установкой фильтра скважина, закрепленная обсадными трубами, очищается от шлама, а после обнажения фильтра должна быть произведена прокачка.

Последовательность и содержание работ по производству наблюдений заключаются в измерении уровней и температуры воды, запуске индикатора в пусковую скважину, взятии проб из наблюдательных скважин для определения концентрации и анализа проб. Указанные работы сопровождаются соответствующей документацией.

Взятие проб воды предусматривается в способах химическом и колориметрическом. Наблюдение за уровнем производится каждые 0,5 *ч* в течение всего опыта (начиная с момента окончания оборудования скважины). Температура воды измеряется ленивым термометром два раза — до и после опыта.

§ 2. Методы определения действительной скорости движения подземных вод

Химический метод заключается в определении наличия раствора соли в наблюдательной скважине с помощью химического анализа; этот метод можно рекомендовать при неглубоком залегании водоносного горизонта с пресными водами. Наиболее часто употребляемым индикатором является хлористый натрий — поваренная соль; кроме того, применяют хлористый кальций и хлористый аммоний. Рекомендуемая дозировка этих веществ приведена в табл. III-В-1.

Таблица III-В-1

Рекомендуемая дозировка индикаторов

Индикатор	Количество, *кг*	Расстояние между пусковой и наблюдательными скважинами, *м*
Хлористый натрий	10—15	Больше 5
Хлористый кальций	5—10	3—5
Хлористый аммоний	3—5	До 3

Запуск раствора в пусковую скважину может производиться двумя методами.

Первый метод заключается в опускании в скважину цилиндра, днище которого закрыто конусообразным клапаном. Как показано на рис. III-11, трос от конуса, на котором опускается цилиндр, пропущен через верх цилиндра, к которому прикреплен второй трос. На заданной глубине второй трос (а следовательно, и цилиндр) закрепляют, а первый трос

опускают, в результате чего конус погружается и раствор выливается в скважину.

Второй метод заключается в опускании на тросе цилиндра, в котором имеются два отверстия: нижнее, через которое раствор поступает из цилиндра в скважину, и верхнее, — с присоединенной резиновой трубкой, верхний конец которой выведен на поверхность земли. Присоединяя к трубке воронку, можно заливать в последнюю раствор и таким образом подавать его в скважину. Перемещая по вертикали при помощи троса цилиндр, можно вводить раствор в скважину на заранее заданные отметки. Раствор в скважине должен быть тщательно перемешан.

Взятие пробы из наблюдательной скважины производится пробоотборником в размере не свыше 50 $см^3$. Определение количества хлора



Рис. III-11. Цилиндр для запуска раствора в скважину.

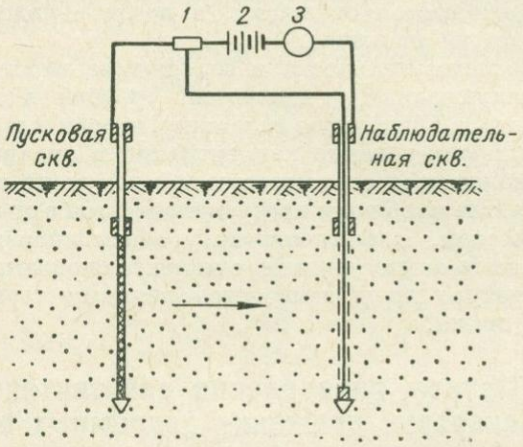


Рис. III-12. Схема электрических соединений при определении действительной скорости движения подземных вод. *1* — реостат; *2* — источник тока; *3* — амперметр.

устанавливается титрованием воды раствором азотнокислого серебра в присутствии индикатора — хромовокислого калия. После выпадения хлора в виде осадка излишек раствора $AgNO_3$ реагирует с хромовокислым калием. При этом проба окрашивается в коричнево-красный цвет; если при этом окраска не исчезает при взбалтывании — определение можно заканчивать.

Раствор приготовляется путем растворения 4 *г* $AgNO_3$ в 1 *л* дистиллированной воды; индикатором является 10-процентный раствор K_2CrO_4.

Для характеристики концентрации хлора в пробе воды нет необходимости знать абсолютные значения количества хлора; достаточно знать количество кубических сантиметров израсходованного на анализ раствора.

Первое определение необходимо выполнить до запуска раствора соли в пусковую скважину; прекращаются наблюдения после достижения максимального значения концентрации соли.

Электролитический метод отличается от химического лишь способом определения наличия и концентрации соли в наблюдательной скважине. Метод загрузки индикатора в пусковую скважину при этом полностью сохраняется таким же, как и при химическом способе. В качестве соли рекомендуется хлористый аммоний NH_4Cl, который в виде насыщенного раствора вводится в пусковую скважину.

Фиксация движения электролита между скважинами и появление его в наблюдательной скважине производится с помощью специального

электроизмерительного оборудования, принципиальная схема которого представлена на рис. III-12. Наблюдательные скважины снабжаются специальными электродами, опущенными в трубу фильтра; эти электроды изолируются от трубы. От электрода цепь идет через батарею, амперметр и регулирующий реостат и далее на трубу наблюдательной скважины.

Посредством переключений можно отключать электрод наблюдательной скважины и включать обсадную трубу пусковой скважины.

Измеряя в различные моменты времени силу тока в цепи, можно определить электропроводность воды в наблюдательной скважине и тем самым установить момент появления в ней соли. Для указанных электрических измерений можно рекомендовать коммутаторный амперметр конструкции С. А. Коля (1953).

Поскольку первоначальная электропроводность подземной воды зависит от количества растворенных в ней солей, первоначальный ток в цепи надлежит устанавливать небольшим — 0,1—0,2 *а*; при этом следует иметь 3—5 сухих элементов напряжением 4,5 *в*.

Колориметрический метод заключается в определении времени прохождения раствора краски между пусковой и наблюдательной скважинами.

Можно рекомендовать следующие красящие вещества и количество их в зависимости от длины пути движения подземных вод между пусковой и наблюдательной скважинами (табл. III-В-2).

Таблица III-В-2

Красящие вещества и их количества в зависимости от длины пути

Красящее вещество	Количество в граммах сухой навески на каждые 5 *м* пути для горных пород	
	рыхлых	трещиноватых и закарстованных
Флюоресцеин Флюорантрон Эозин	1—5	1—10
Эритрозин	5—15	5—20
Красная конго Метиленовая синька Анилиновая голубая	10—30	10—40
Понсо красная 2К	5—15	5—20

Указанные красящие вещества в виде раствора в щелочи или в слабой кислоте (2—4 $см^3$ на 1 *г* вещества) запускаются в пусковую скважину так же, как и при химическом методе. Взятие пробы воды из наблюдательной скважины производится так же, как и при химическом методе. Перед взятием пробы вода должна быть перемешана. Первая проба берется до запуска красящего вещества.

Наличие красящего вещества в пробе воды и степень концентрации его устанавливается при помощи специального прибора — флюороскопа, в котором находится 10 стеклянных трубок, наполненных стандартными растворами, концентрация которых колеблется от 0 до 5%. Принимается за 100% окраска, полученная в результате растворения 0,1 *кг* красящего вещества в 1 *л* воды. При этом производится сравнение окраски пробы воды со стандартами флюороскопа. Если вода пробы содержит взвешенные частицы, пробу необходимо профильтровать.

§ 3. Документация и обработка материалов

Все наблюдаемые во время опыта величины следует фиксировать в специальном журнале определения скоростей; рекомендуется форма записи, приведенная в «Инструкции по определению направления и скорости течения подземных вод И-27-53» Министерства электростанций СССР. *

В журнале должны быть приведены следующие сведения:

1) абсолютные отметки кровли и подошвы водоносного горизонта и поверхности земли;

2) абсолютные отметки верха трубы, забоя, уровня воды, глубины скважины;

3) разрез по главному створу с показанием состава пород, зеркала воды и конструкции скважины;

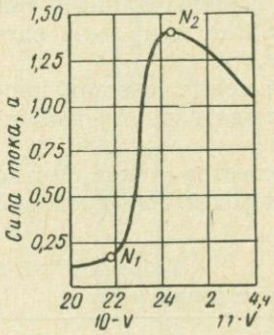


Рис. III-13. Кривая изменения силы тока в наблюдательной скважине в зависимости от времени (N_1 — момент появления индикатора, N_2 — момент максимальной концентрации).

4) план расположения скважин с показанием расстояния между ними;

5) данные непосредственных отсчетов концентрации раствора (если применяется химический метод) или силы тока (если применяется электролитический метод) и время, соответствующее этим отсчетам.

Обработка материалов опыта заключается в построении кривой концентрации, показанной на рис. III-13. На вертикальной оси откладывается в зависимости от применяемого метода либо концентрация раствора в миллиграммах на литр (или израсходованного $AgNO_3$), либо значения силы тока в амперах (или сопротивления в омах), либо данные, характеризующие степень окраски воды, выраженные в процентах.

На горизонтальной оси откладывается время в часах. Скорость рассчитывается по формуле III-В-2, в которой величина t определяется из графика рис. III-13.

Поскольку появление раствора в наблюдательной скважине происходит постепенно и нарастание концентрации занимает некоторый период времени, иногда представляется затруднительным выбор той точки на кривой в пределах от N_1 до N_2, до которой надлежит отсчитывать значения времени t. При этом N_1 соответствует моменту появления индикатора в скважине, а N_2 — моменту максимальной концентрации.

Можно рекомендовать при этом руководствоваться следующими соображениями. Если скорость движения подземных вод определяется для целей составления проекта водоснабжения, следует брать время t, соответствующее точке N_2; это определит наименьшее значение скорости. Если скорость движения подземных вод определяется для установления водопритока в горные выработки или под гидросооружениями, следует брать время t, соответствующее точке N_1, это определит наибольшее значение скорости. В ряде случаев вместо индикаторов употребляются радиоактивные изотопы некоторых элементов, так называемые меченые атомы.

---

* Инструкция составлена С. А. Колем.

ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

ГЛАВА IV

§ 1. Лабораторные методы определения коэффициента фильтрации

Определение коэффициента фильтрации при переменном напоре

Трубка Каменского. Этот прибор предназначен для определения приближенных значений коэффициента фильтрации песчаных пород нарушенного сложения.

Трубка Каменского (рис. IV-1) состоит из стеклянной трубки *1* длиной 24—25 *см* и диаметром 2—4 *см*, штатива *2* для зажима стеклянной трубки и батарейного стакана *3*. Для проведения опыта необходимо иметь секундомер (или часы), термометр и трамбовку. На трубке сверху вниз нанесены деления через 1 *см* от 0 до 20 (деление 20 должно точно совпадать с нижним краем трубки), а нижний ее конец обвязывается марлей или тонкой сеткой.

Трубку помещают в батарейный стакан и загружают испытуемым песком на высоту 10 *см*. Наполнение ее песком производят слоями по 2—3 *см* и сопровождают легкой трамбовкой и насыщением водой, для чего в батарейный стакан приливают воду в таком количестве, чтобы уровень ее не превышал высоты слоя песка. По окончании загрузки трубки на поверхность песка насыпают буферный слой в 1—2 *см* гравия для предохранения песка от размыва, а затем в батарейный стакан добавляют воду в таком количестве, чтобы уровень ее был выше уровня песка в трубке на 1—2,5 *см*, и ожидают момента появления в ней слоя воды в 3—5 *мм*. Далее в трубку сверху наливают воду до уровня на 1—2 *см* выше черты 0, вынимают ее из стакна и закрепляют на штативе. С этого момента начинается фильтрация воды через породу, и уровень воды в трубке будет постепенно понижаться. Отмечают секундомером (часами) время понижения уровня воды в трубке от деления 0 до деления 5 *см* (для слабопроницаемых глинистых песков до деления 3 *см*). В конце опыта замеряют температуру воды. Опыт повторяют 2—3 раза с различной величиной понижения уровня.

Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле

$$K = \frac{l}{t} \varphi \left(\frac{S}{h} \right), \qquad \text{(IV-1)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *см/сек*;
l — длина фильтрации (толщина слоя песка без буферного слоя гравия), *см*;
t — время понижения уровня воды в трубке от деления 0 до деления 3 или 5, *сек*;
S — величина понижения уровня воды в трубке, в *см* за время t;
h — первоначальный напор, *см*.

Величину $\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$ определяют из табл. IV-1 или по графику (рис. IV-2).

Таблица IV-1

Значения функции $\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$

$\frac{S}{h}$	$\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$	$\frac{S}{h}$	$\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$	$\frac{S}{h}$	$\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$
		0,33	0,400	0,67	1,109
		0,34	0,416	0,68	1,140
0,01	0,010	0,35	0,431	0,69	1,172
0,02	0,020	0,36	0,446	0,70	1,204
0,03	0,030	0,37	0,462	0,71	1,238
0,04	0,040	0,38	0,478	0,72	1,273
0,05	0,051	0,39	0,494	0,73	1,309
0,06	0,062	0,40	0,510	0,74	1,347
0,07	0,073	0,41	0,527	0,75	1,386
0,08	0,083	0,42	0,545	0,76	1,427
0,09	0,094	0,43	0,562	0,77	1,470
0,10	0,105	0,44	0,580	0,78	1,514
0,11	0,117	0,45	0,598	0,79	1,561
0,12	0,128	0,46	0,616	0,80	1,609
0,13	0,139	0,47	0,635	0,81	1,661
0,14	0,151	0,48	0,654	0,82	1,715
0,15	0,163	0,49	0,673	0,83	1,771
0,16	0,174	0,50	0,693	0,84	1,833
0,17	0,186	0,51	0,713	0,85	1,897
0,18	0,198	0,52	0,734	0,86	1,966
0,19	0,210	0,53	0,755	0,87	2,040
0,20	0,223	0,54	0,777	0,88	2,120
0,21	0,236	0,55	0,799	0,89	2,207
0,22	0,248	0,56	0,821	0,90	2,303
0,23	0,261	0,57	0,844	0,91	2,408
0,24	0,274	0,58	0,868	0,92	2,526
0,25	0,288	0,59	0,892	0,93	2,659
0,26	0,301	0,60	0,916	0,94	2,813
0,27	0,315	0,61	0,941	0,95	2,996
0,28	0,329	0,62	0,967	0,96	3,219
0,29	0,343	0,63	0,994	0,97	3,507
0,30	0,357	0,64	1,022	0,98	3,912
0,31	0,371	0,65	1,050	0,99	4,605
0,32	0,385	0,66	1,079		

Для ускорения вычислений коэффициента фильтрации используют номограмму Н. Н. Биндемана (рис. IV-3). Способ определения по номограмме состоит в следующем: прикладывают линейку к шкале S и к шкале времени понижения уровня и на пересечении со шкалой коэффициента фильтрации получают искомую величину.

Для крупнозернистых песков опыт проводят с меньшим гидравлическим градиентом (см. рис. IV-1б). Первоначальный напор h будет измеряться расстоянием от поверхности воды в банке до нулевого деления трубки. В остальном ход опыта аналогичен описанному выше.

Для выражения результатов опыта при постоянной температуре в полученные значения коэффициента фильтрации необходимо ввести температурную поправку ТП, которая вычисляется по формуле Пуазейля

$$\text{ТП} = 1 + 0{,}337\,t + 0{,}000221\,t^2.$$

Для приведения результатов опыта к искомой температуре пользуются формулой

$$K_{\text{иск}} = \frac{K_{\text{факт}}\, \text{ТП}_{\text{иск}}}{\text{ТП}_{\text{факт}}},$$

где $K_{\text{иск}}$ — коэффициент фильтрации при искомой температуре;
$K_{\text{факт}}$ — коэффициент фильтрации, полученный опытным путем;
$\text{ТП}_{\text{иск}}$ — температурная поправка для искомой температуры;
$\text{ТП}_{\text{факт}}$ — температурная поправка для температуры, при которой определяется $K_{\text{факт}}$.

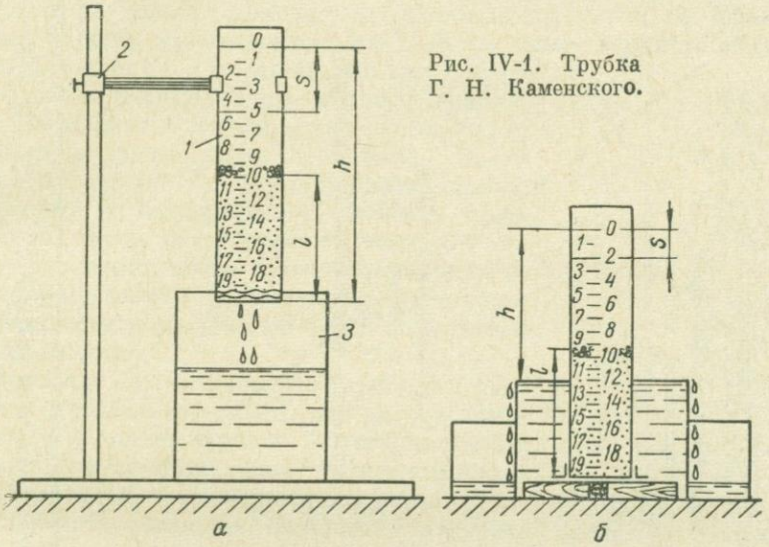


Рис. IV-1. Трубка Г. Н. Каменского.

Для сокращения вычислений по приведенной формуле обычно пользуются таблицами поправок для различных температур (табл. IV-2).

Определение коэффициента фильтрации при постоянном напоре

Прибор Тима применяется для определения коэффициента фильтрации пород нарушенного сложения (главным образом песков).

Прибор (рис. IV-4) состоит из цилиндра *1* высотой 40 *см* и диаметром 10 *см* с закрытым дном; металлической решетки *2*, разделяющей цилиндр на две неравные части; трех штуцеров *3*, которые резиновыми трубками соединены с тремя стеклянными пьезометрами *4а*, *4b* и *4с*, укрепленными на деревянной панели *12* с миллиметровой шкалой. В верхней части рабочего цилиндра *1* имеется штуцер *5* с резиновой трубкой, который служит для поддержания постоянного уровня воды в приборе, а в нижней части цилиндра — штуцер *6* с резиновой трубкой *7*, назначение которого — насыщение водой породы при загрузке прибора и регулирование напора и стока фильтрующейся воды во время опыта. При проведении опыта прибор устанавливается на столе; выше прибора на специальной подставке устанавливается бак (бутыль) со сливным отверстием *8*, от которого

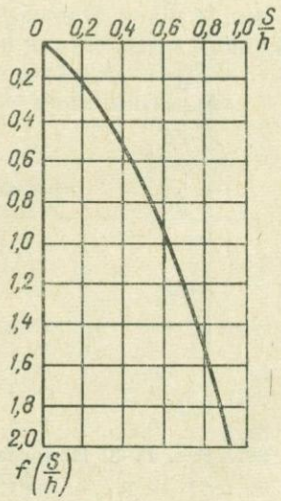


Рис. IV-2. График значений $\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$.

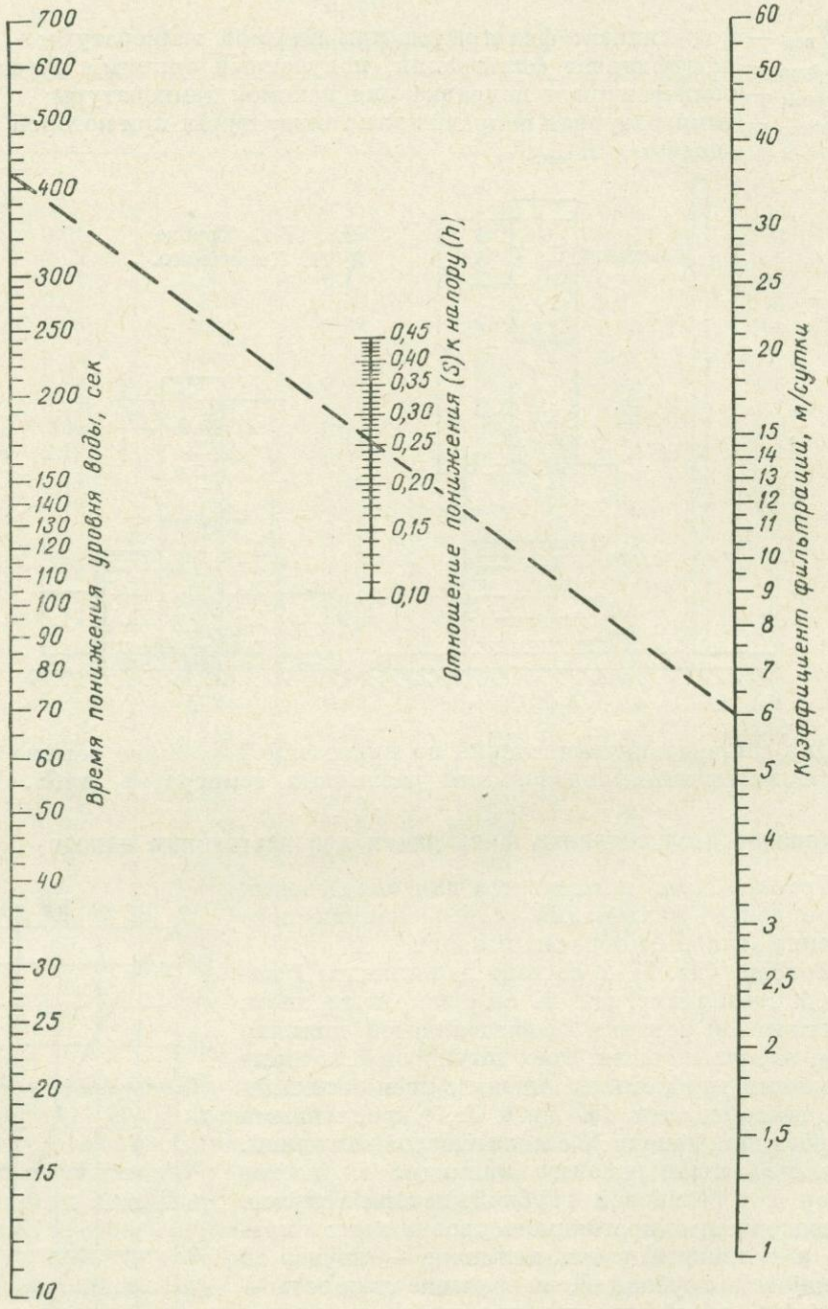


Рис. IV-3. Номограмма Н. Н. Биндемана для определения коэффициента фильтрации в трубке Г. Н. Каменского.

отходит резиновая трубка *9* со специальным зажимом *10*; резиновая регулирующая трубка *7* укрепляется на штативе *11*; для измерения объема профильтровавшейся воды имеется мерный сосуд *13*, а для измерения температуры воды — термометр *14*.

На решетку прибора кладут тонкую металлическую сетку или кусок марли, сложенной вдвое, а затем нижнюю часть прибора (до решетки) заливают водой через резиновую трубку *7*, которая для этой цели соединяется с подводящей трубкой *9*. В прибор насыпают породу слоями по 3—5 *см*, уплотняя каждый слой деревянной трамбовкой и насыщая его водой (вода не должна доходить до поверхности песка на 1,5—1,0 *см*); загрузка породы производится на 3—5 *см* выше верхнего пьезометра. Для предохранения породы от размыва поверх нее насыпают слой 1—2 *см* мелкого гравия. Породу насыщают водой до образования над ее поверхностью слоя воды 1—1,5 *см*. Затем разъединяют трубки *7* и *9* и наполняют прибор водой сверху из бутыли через трубку *9*, предварительно перед этим укрепив трубку *7* на штативе несколько выше сливного штуцера *5*. Если прибор собран и загружен правильно, то уровень воды в пьезометре будет находиться на одной высоте.

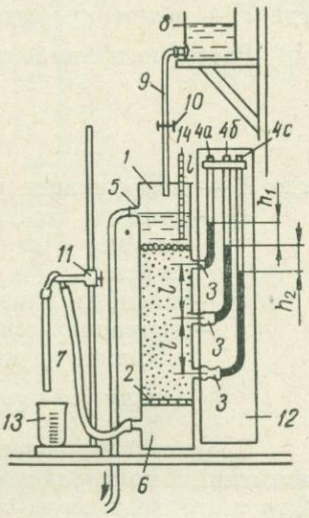


Рис. IV-4. Прибор Тима.

Убедившись в исправности прибора, приступают к проведению опыта, для чего резиновую регулирующую трубку *7* устанавливают на высоте, не превышающей $^2/_3$ исследуемого столбика породы, загруженного в прибор. В таком положении создается напорный градиент, под влиянием которого вода фильтруется через породу и через трубку *7* вытекает из прибора. Постоянство напора в приборе создается путем непрерывного поступления воды из бака *8*; в процессе опыта через штуцер *5* все время должна стекать вода из прибора.

После установления постоянного положения уровней воды в пьезометрах производят: а) отсчеты показания пьезометра и вычисляют напор h; б) замер расхода воды Q, вытекающей из регулирующей трубки *7* за время t *сек*; в) замер температуры воды в верхней части цилиндра.

Таблица IV-2

Температурные поправки ТП, по Пуазейлю

t, °С	ТП	t, °С	ТП	t, °С	ТП	t, °С	ТП
10,0	1,35	14,0	1,52	18,0	1,68	22,0	1,84
10,5	1,38	14,5	1,55	18,5	1,70	22,5	1,86
11,0	1,40	15,0	1,56	19,0	1,72	23,0	1,88
11,5	1,42	15,5	1,58	19,5	1,74	24,0	1,92
12,0	1,44	16,0	1,60	20,0	1,76	25,0	1,96
12,5	1,46	16,5	1,62	20,5	1,78	26,0	2,00
13,0	1,48	17,0	1,64	21,0	1,80	27,0	2,04
13,5	1,50	17,5	1,66	21,5	1,82	28,0	2,08

Напор h вычисляют по формуле

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}, \text{ см},$$

где h_1 — разность высот уровней воды в верхнем и среднем пьезометрах;
h_2 — разность высот уровней воды в среднем и нижнем пьезометрах.

Расход Q вычисляют по формуле

$$Q = \frac{V}{t}, \text{ см}^3/\text{сек},$$

где V — объем профильтровавшейся воды за t *сек*.

Расчет коэффициента фильтрации производят по формуле

$$K = \frac{Q}{FI}, \qquad \text{(IV-2)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *см/сек*;
Q — расход воды, фильтрующейся через площадь поперечного сечения F в единицу времени, замеренный в процессе опыта, *см*^{3}*/сек*;
F — площадь поперечного сечения прибора, *см*^{2};
I — гидравлический градиент, равный отношению среднего напора h к длине пути фильтрации l, соответствующей расстоянию между центрами штуцеров, *см*. $I = \frac{h}{l}$.

Произведя вычисления коэффициента фильтрации после первого опыта, испытания повторяют еще при двух различных напорных градиентах. Для этого резиновую трубку *7* сначала устанавливают на высоте половины, а затем (при третьем опыте) на высоте половины нижней трети исследуемого столба породы, загруженной в прибор.

Для приведения результатов опыта к заданной температуре вычисляют и учитывают температурную поправку (см. определения коэффициента фильтрации в трубке Каменского).

Трубка СПЕЦГЕО — Знаменского (*прибор КФ*). Трубка предназначена для определения коэффициента фильтрации песчаных пород. Конструкция трубки позволяет, во-первых, вести испытания пород как естественного, так и нарушенного сложения, и, во-вторых, вести испытания при постоянном градиенте: специальное приспособление позволяет регулировать гидравлический градиент I от 0,1 до 1,0, что особенно важно в практике лабораторных исследований.

Трубка СПЕЦГЕО — Знаменского (рис. IV-5) состоит из фильтрационной трубки и специального винтового телескопического приспособления, позволяющего насыщать породу и регулировать гидравлический градиент; одновременно это приспособление служит футляром прибора.

Фильтрационная трубка состоит из мерного стеклянного цилиндра *1* с градуированной шкалой (сосуд Мариотта), металлической трубки *2* с заостренным краем, донышка *3*, которое надевается на нижнюю часть трубки, и латунной сетки *4*, вставляемой в донышко; в верхней части металлической трубки находится крышка *5* с латунной сеткой *4*, куда и вставляется мерный стеклянный цилиндр.

Телескопическое приспособление состоит из наружного стакана *6*, имеющего внутреннюю резьбу, и внутреннего стакана *7*, имеющего в основании наружную резьбу. На корпусе внутреннего стакана *2* нанесены деле-

ния гидравлического градиента от 0 до 1 (цена деления 0,02 *мм*). В нерабочем положении прибор помещается в наружный стакан и закрывается специальной крышкой (на чертеже не показана).

При подготовке к опыту разбирают прибор и заполняют фильтрационную трубку породой. Если сложение породы ненарушенное, то трубку осторожно задавливают в породу или осторожно ножом вырезают столбик породы диаметром на 3—5 *мм* больше внутреннего диаметра трубки, а затем постепенно надевают трубку на этот столбик, срезая ножом излишнюю породу. Если опыт проводят с песчаными породами нарушенного сло-

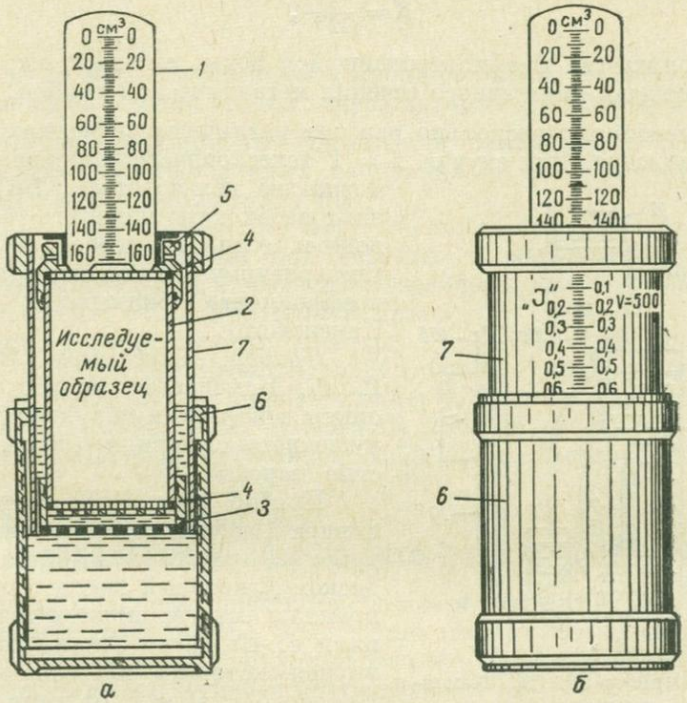


Рис. IV-5. Трубка СПЕЦГЕО — Знаменского (прибор «КВ»).
а — прибор в рабочем положении в разрезе; *б* — прибор в рабочем положении.

жения, то на фильтрационную трубку *2* надевают донышко *3* с латунной сеткой *4* и заполняют ее породой через верх *. После заполнения трубки в телескопическое приспособление заливается вода, а затем вращением стакана *6* поднимают стакан *7* до отметки гидравлического градиента $I = 1$. Далее на дно стакана *7* устанавливают фильтрационную трубку и погружают их в воду до отметки напорного градиента $I = 0{,}8$. После насыщения породы водой устанавливают латунную сетку *4*, надевают крышку *5* и вращением стакана *6* опускают фильтрационную трубку в крайнее нижнее положение.

Наполняют мерный стеклянный сосуд водой и вставляют его в крышку фильтрационной трубки так, чтобы его горлышко прилегало к латунной

* Для песчаных пород нарушенного сложения целесообразно коэффициент фильтрации определять при рыхлом и максимально плотном их сложении. В первом случае заполнение фильтрационной трубки производится до верха, а во втором случае ее заполняют послойно, проводя через 2—3 *см* уплотнение породы деревянной трамбовкой. В обоих случаях необходимо определять объемный вес породы.

сетке *4*. В таком положении мерный сосуд поддерживает над породой постоянный уровень воды в 1—2 *мм*.

Установив стакан *7* на градиент $I = 0{,}6$, доливают воду в стакан до появления ее у пазов стакана *6* и приступают к наблюдениям.

Записывают по шкале уровень воды в мерном цилиндре *1*, пускают секундомер и по истечении определенного времени t отмечают второй уровень воды в мерном цилиндре *1*, что позволяет определить расход воды Q, профильтровавшейся через породу за t *сек*.

Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле

$$K = \frac{Q}{tFI}, \qquad \text{(IV-3)}$$

где Q — количество профильтровавшейся воды, $см^3$ за t *сек*;

F — площадь поперечного сечения металлической трубки, $см^2$.

Опыт повторяют несколько раз при различных значениях гидравлического градиента. Для случая $I = 1$ телескопическим приспособлением можно не пользоваться. Во всех случаях необходимо изменять температуру воды и, если это необходимо, вводить температурную поправку (определение коэффициента фильтрации в трубке Каменского).

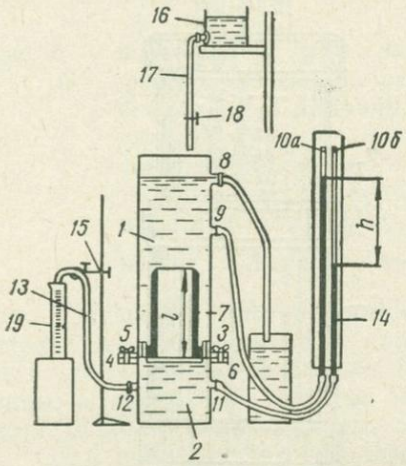


Рис. IV-6. Прибор Г. Н. Каменского.

Прибор Каменского. В приборе Г. Н. Каменского можно проводить опыты с породами нарушенного и ненарушенного сложения (пески и глинистые породы).

Прибор (рис. IV-6) состоит из цилиндра *1* и распределительного резервуара *2*, разделенных металлическим диском *3*, который вместе с резиновыми прокладками зажимается между фланцами *4*. На диске *3* напаяно кольцо *5*, внутри которого имеется решетка *6*. Кольцо *5* снабжено болтами с резьбой. При подготовке прибора к испытаниям в кольцо *5* на диске *3* на решетку *6* устанавливают режущий цилиндр *7* с породой, имеющей диаметр 10 *см* и высоту от 5 до 15 *см*. Вслед за установкой режущего цилиндра *7* на него надевают второе кольцо и болтами закрепляют цилиндр. В цилиндр *1* впаяны штуцеры *8* и *9*. Штуцер *9* резиновой трубкой соединяется с пьезометром *10а*, а штуцер *8* служит для поддержания постоянного уровня воды в приборе. В распределительный резервуар *2* также впаяны два штуцера *11* и *12*, один из них соединен резиновой трубкой с пьезометром *10б*, а другой соединен с резиновой трубкой *13*, которая служит для насыщения породы водой при загрузке прибора и для регулирования напора, а также для стока фильтрующейся воды во время опыта. Стеклянные пьезометры *10а* и *10б* укреплены на деревянной панели *14*, а трубка *13* закрепляется на штативе *15*. Подача воды в прибор производится из бутыли (бака) *16* через резиновую трубку *17*, снабженную специальным зажимом *18*. Сбор профильтровавшейся воды производится в мерный цилиндр *19*.

Ход работы по определению коэффициента фильтрации в приборе Каменского тот же, что и в приборе Тима. Загрузка породы нарушенного сложения производится в режущий цилиндр *7* послойно и сопровождается трамбовкой и насыщением водой. При проведении опытов на образцах

ненарушенного сложения прибор разбирают и с помощью цилиндра 7 вырезают образец породы. Если не удается вырезать режущим цилиндром хорошего монолита, то поступают следующим образом: ножом вырезают монолит породы цилиндрической формы диаметром на 5—10 *мм* меньше внутреннего диаметра режущего цилиндра. Установив монолит на решетку *6* внутри цилиндра 7, заливают зазор между стенками монолита и цилиндром расплавленным парафином; после насыщения породы водой приступают к проведению опыта.

Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле

$$K = \frac{Q}{FI}, \qquad \text{(IV-4)}$$

где Q — расход воды, замеренный в процессе опыта, *см*^{3}/*сек*;

F — площадь сечения грунта, через который фильтруется вода, *см*^{2}.

Определение коэффициента фильтрации глинистых пород производится по данным компрессионных испытаний на приборах конструкции Маслова, МГРИ, Гидропроекта и др.

Изучение газо-, водо- и нефтепроницаемости сцементированных и несцементированных пород при разведке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и создании подземных газохранилищ производится на приборах ГК-5, УИПК-Iм и др.

Описание компрессионных приборов и аппаратуры по изучению газо-, водо- и нефтепроницаемости пород можно найти в специальных работах и руководствах по грунтоведению и физике нефтяного пласта (В. Д. Ломтадзе, 1952; Е. Г. Чаповский, 1966, К. Г. Оркин, П. К. Кучинский, 1953, 1955; Ф. И. Котяхов, 1955, М. К. Калинко, 1963 и др.).

§ 2. Эмпирические формулы для определения коэффициента фильтрации

По данным гранулометрического состава и пористости можно приближенно рассчитать коэффициент фильтрации для рыхлых несвязных пород, пользуясь эмпирическими формулами Хазена, Слихтера, Крюгера, Замарина, Козени, Терцаги, Цункера и Зауербрея.

Следует отметить, что все расчетные формулы применимы в определенных пределах. Так, например, для мелкозернистых и среднезернистых песков более приемлема формула Цункера, а для крупнозернистых песков — формула Терцаги и отчасти Слихтера; формулы Хазена и Крюгера, как правило, дают завышенные результаты, а формула Слихтера — заниженные значения коэффициента фильтрации, особенно для мелкозернистых песков с коэффициентом фильтрации от 1 до 5 *м/сутки*.

Формула Хазена

$$K = Cd_{10}^2(0{,}7 + 0{,}03\,t), \qquad \text{(IV-5)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;

C — эмпирический коэффициент, изменяющийся от 400 (глинистый песок) до 1200 (чистый песок);

d_{10} — действующий (эффективный) диаметр зерен, *мм*;

t — температура воды, °С;

$(0{,}7+0{,}03t)$ — температурная поправка.

Действующий диаметр может быть определен графически по кривой однородности или с помощью формулы Н. В. Коломенского

$$d_{10} = \frac{d_2(10 - P_1) + d_1(P_2 - 10)}{P_2 - P_1}, \qquad \text{(IV-6)}$$

где d_1 и d_2 — нижний и верхний пределы диаметров, между которыми находится d_{10};

P_1 и P_2 — сумма процентов по совокупности фракций для d_1 и d_2.

Формула Хазена применима для песков, действующий диаметр зерен которых колеблется в пределах от 0,1 до 3,0, а коэффициент неоднородности — от 1 до 5.

Вычисление коэффициента фильтрации по формуле Хазена может быть ускорено, если пользоваться специально составленной Н. Н. Биндеманом номограммой (рис. IV-7).

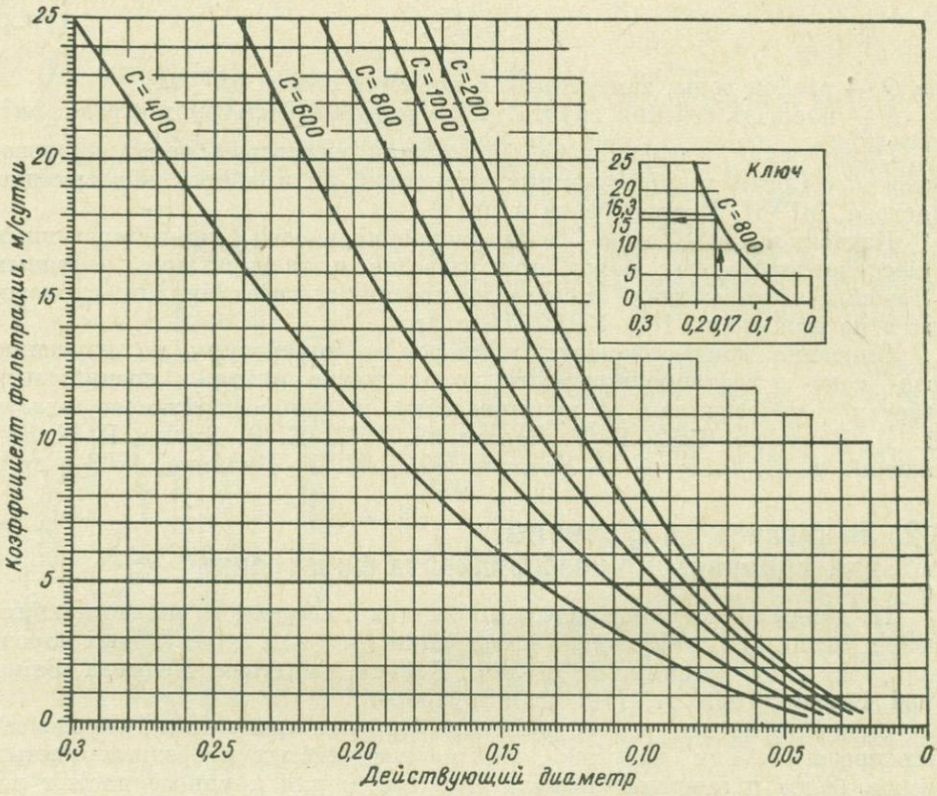


Рис. IV-7. Номограмма формулы Хазена.

Последовательность операций по определению коэффициента фильтрации по этой номограмме следующая. Определив величину действующего диаметра, отыскиваем его значение на оси абсцисс номограммы. Из найденной точки восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей выбранному значению эмпирического коэффициента C. Далее, из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось ординат, где и получаем искомое значение коэффициента фильтрации в *м/сутки*.

Необходимо отметить, что коэффициенты фильтрации, полученные по этой номограмме, как и по всем последующим номограммам Н. Н. Биндемана, приведены к температуре 0° С.

Для приведения коэффициента фильтрации, вычисленного по номограммам, к температуре фильтрующейся воды пользуются температурной поправкой τ:

$$\tau = 1 + 0{,}0337\,t + 0{,}000221\,t^2, \qquad \text{(IV-7)}$$

где t — температура фильтрующейся воды, °С.

Пересчет производится посредством умножения полученного по номограмме коэффициента фильтрации на поправку τ.

Для облегчения вычислительных операций по приведению коэффициента фильтрации к температуре 10° С и другим температурам можно использовать данные, приведенные в табл. IV-3, или способ, предложенный Нин Ю-и. Для приведения коэффициента фильтрации к температуре воды 10° С им рекомендуется формула

$$k_{10} = k_t \lambda_t, \tag{IV-8}$$

где k_{10} — коэффициент фильтрации при температуре фильтрующейся воды 10° С;

Таблица IV-3

Значения τ

t, °С	τ	t, °С	τ
−5	0,837	8	1,284
−4	0,869	9	1,321
−3	0,901	10	1,359
−2	0,933	11	1,393
−1	0,967	12	1,436
0	1,000	13	1,475
1	1,034	14	1,515
2	1,068	15	1,555
3	1,103	16	1,596
4	1,138	17	1,637
5	1,174	18	1,678
6	1,210	19	1,720
7	1,247	20	1,762

k_t — то же, при естественной температуре подземной воды, °С;

$\lambda_t = \frac{\tau_{10}}{\tau_t}$, т. е. отношение температурного коэффициента при 10° С к фактическому температурному коэффициенту.

Можно решить и обратную задачу, т. е. по данным коэффициента фильтрации k найти его значение при любой другой температуре k_t. Эта величина может быть найдена по формуле

$$k_t = k_{10} \lambda, \tag{IV-9}$$

где $\lambda = \frac{\tau_t}{\tau_{10}}$, т. е. отношение фактического температурного коэффициента к температурному коэффициенту при 10° С.

Зная коэффициент фильтрации k_{t_2}, определенный при температуре воды t_2 °С, можно легко найти его значение при любой другой температуре t_1 °С, используя формулу

$$k_{t_1} = k_{t_2} \lambda_{t_2} \lambda, \tag{IV-10}$$

где k_{t_1} — коэффициент фильтрации при заданной температуре воды t °С;

k_{t_2} — коэффициент фильтрации при известной температуре воды t_2 °С.

Для нахождения отношений λ_t и λ Нин Ю-и составлена табл. IV-4, по которой можно вычислять коэффициент фильтрации при температуре воды от 0,5 до 30° С.

Таблица IV-4

Данные о скоростях фильтрации

t, °C	$\lambda_t=\frac{\tau_{10}}{\tau_t}$	$\lambda=\frac{\tau_t}{\tau_{10}}$	t, °C	$\lambda_t=\frac{\tau_{10}}{\tau_t}$	$\lambda=\frac{\tau_t}{\tau_{10}}$	t, °C	$\lambda_t=\frac{\tau_{10}}{\tau_t}$	$\lambda=\frac{\tau_t}{\tau_{10}}$
0,5	1,33	0,75	10,5	0,99	1,01	20,5	0,76	1,31
1,0	1,32	0,76	11,0	0,97	1,03	21,0	0,75	1,33
1,5	1,30	0,77	11,5	0,96	1,04	21,5	0,74	1,35
2,0	1,27	0,79	12,0	0,94	1,06	22,0	0,74	1,36
2,5	1,25	0,80	12,5	0,93	1,07	22,5	0,73	1,38
3,0	1,24	0,81	13,0	0,92	1,09	23,0	0,72	1,39
3,5	1,21	0,82	13,5	0,91	1,10	23,5	0,71	1,40
4,0	1,19	0,84	14,0	0,89	1,12	24,0	0,70	1,42
4,5	1,17	0,85	14,5	0,88	1,13	24,5	0,69	1,44
5,0	1,15	0,86	15,0	0,87	1,15	25,0	0,69	1,46
5,5	1,14	0,88	15,5	0,86	1,16	25,5	0,68	1,47
6,0	1,12	0,89	16,0	0,85	1,18	26,0	0,67	1,49
6,5	1,11	0,90	16,5	0,84	1,19	26,5	0,66	1,51
7,0	1,09	0,92	17,0	0,83	1,21	27,0	0,66	1,52
7,5	1,07	0,93	17,5	0,82	1,22	27,5	0,65	1,54
8,0	1,06	0,94	18,0	0,81	1,24	28,0	0,64	1,56
8,5	1,05	0,96	18,5	0,80	1,25	28,5	0,64	1,57
9,0	1,03	0,97	19,0	0,79	1,26	29,0	0,63	1,59
9,5	1,01	0,99	19,5	0,78	1,28	29,5	0,62	1,61
10,0	1,00	1,00	20,0	0,77	1,29	30,0	0,62	1,63

Если коэффициент фильтрации выразить в *см/сек*, а температуру воды принять равной 10° С и эмпирический коэффициент C для среднезернистых песков принять равным 864, то формула Хазена примет вид

$$K_{10}=d_{10}^2,\ см/сек. \qquad \text{(IV-11)}$$

Если действующий диаметр больше 3,0 *мм*, то для ориентировочного представления о наблюдающихся в природе скоростях фильтрации с учетом уклона можно пользоваться данными, приведенными в табл. IV-5.

Таблица IV-5

Скорости фильтрации в *м/сутки* (по Хазену—Замарину)

Уклон i	Действующий диаметр, *мм*									
	3	5	8	10	15	20	25	30	35	40
0,0005	3,4	10	20	30	49	79	110	149	201	250
0,001	7	21	40	53	101	146	204	274	369	451
0,002	14	40	79	110	189	274	369	478	589	711
0,004	27	76	148	207	351	478	610	742	870	1000
0,006	40	113	207	274	451	619	781	930	1090	1240
0,008	55	143	253	339	531	720	900	1087	1270	1450
0,010	67	174	290	384	610	830	1030	1220	1412	—
0,015	98	238	378	479	760	1030	1260	1477	—	—
0,020	125	299	467	580	881	1180	1469	—	—	—
0,03	183	400	616	750	1109	1450	—	—	—	—
0,05	280	461	885	1060	1490	—	—	—	—	—
0,1	494	930	1310	1550	—	—	—	—	—	—

Формула Слихтера

$$K = Ad_{10}^2 m \frac{1}{\mu}, \qquad \text{(IV-12)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
A — числовой коэффициент, зависящий от размерности единиц и равный 88,3;
d_{10} — действующий диаметр зерна, *мм*;
m — коэффициент, зависящий от пористости (находится по табл. IV-6);

Таблица IV-6

Зависимость коэффициента m от пористости n

Пористость n, доли единицы	m	Пористость n, доли единицы	m
0,26	0,01187	0,37	0,03808
0,27	0,01305	0,38	0,04151
0,28	0,01517	0,39	0,04524
0,29	0,01694	0,40	0,04922
0,30	0,01905	0,41	0,05339
0,31	0,02122	0,42	0,05789
0,32	0,01356	0,43	0,06267
0,33	0,02601	0,44	0,06776
0,34	0,02878	0,45	0,07295
0,35	0,03163	0,46	0,07838
0,36	0,03373	0,47	0,08455

μ — коэффициент вязкости воды, зависящий от температуры, *пуазы* (находится по табл. IV-7).

Таблица IV-7

Зависимость коэффициента μ от температуры

Температура, °С	μ, *пуазы*	Температура, °С	μ, *пуазы*	Температура, °С	μ, *пуазы*	Температура, °С	μ, *пуазы*
0	0,0178	8	0,0139	16	0,0111	24	0,0093
1	0,0172	9	0,0135	17	0,0108	25	0,0091
2	0,0167	10	0,0131	18	0,0105	26	0,0089
3	0,0162	11	0,0127	19	0,0103	27	0,0087
4	0,0157	12	0,0124	20	0,0101	28	0,0085
5	0,0152	13	0,0120	21	0,0099	29	0,0083
6	0,0147	14	0,0117	22	0,0097	30	0,0081
7	0,0143	15	0,0114	23	0,0095		

Формула Слихтера применима для песков с действующим диаметром от 0,01 до 5 *мм*.

Формула Крюгера

$$K_{10} = 322 \frac{n}{(1-n)^2} d_q^2, \qquad \text{(IV-13)}$$

где K_{10} — коэффициент фильтрации при температуре воды 10° С, *м/сутки*;
n — пористость в долях единицы;
d_q — действующий диаметр зерен породы, определяемый по формуле Крюгера, *мм*

$$d_{10} = \frac{100}{\sum_1^N \frac{g_i}{d_i}},$$

где N — число фракций, полученных при гранулометрическом анализе;
g_i — доля участия фракций порядка i в составе породы, %;
d_i — средний диаметр фракций, равный $\frac{d_i + d_{i+1}}{2}$, *мм*.

Формула Крюгера наиболее применима при вычислении коэффициента фильтрации среднезернистых песков.

Формула Замарина

$$K = 4100 \frac{n^3 a^2}{(1-n)} d_z^2, \qquad \text{(IV-14)}$$

где K — коэффициент фильтрации при температуре воды 0° С, *м/сутки*;
n — пористость породы в долях единицы;
a — коэффициент, вычисляемый из выражения $a = 1{,}275 - 1{,}5\,n$;
d_z — действующий диаметр смеси зерен, *мм*.

Действующий диаметр определяется из выражения

$$\frac{1}{d_z} = A_1 \Delta g_1 + A_2 \Delta q_2 + \ldots + A_n \Delta g_n, \qquad \text{(IV-15)}$$

где A_1, A_2 и т. д. — находятся по табл. IV-8 в зависимости от диаметра фракций породы;
Δg_1, Δg_2 и т. д. — доли участия соответствующих фракций породы в гранулометрическом составе.

Таблица IV-8

Значения A

Фракции, *мм*	A	Фракции, *мм*	A
< 0,01	288,60	0,50—1,00	1,38
0,01—0,05	40,25	1,00—2,00	0,69
0,05—0,10	13,80	2,00—3,00	0,27
0,10—0,25	6,07	5,00—7,00	0,17
0,25—0,50	2,76	7,00—10,00	0,11

Формула Козени

$$K_{10} = 5400 \frac{n^3}{(1-n)} d_{10}^2, \qquad \text{(IV-16)}$$

где K_{10} — коэффициент фильтрации при температуре воды 10° С, *м/сутки*;

Формула Терцаги

$$K_0 = \frac{C}{\mu_t} \left[\frac{n - 0{,}13}{\sqrt[3]{(1-n)}} \right] d_{10}^2, \qquad \text{(IV-17)}$$

где K_0 — коэффициент фильтрации при температуре воды 0° С, *см/сек*;
C — эмпирический коэффициент, зависящий от характера поверхности зерен; для гладких зерен $C = 10{,}5$; для угловатых зерен $C = 6{,}0$;
μ_t — показатель, характеризующий вязкость воды; при $t = 0°$ С вязкость $\mu_0 = 0{,}0178$ (табл. IV-7);
d_{10} — действующий диаметр зерен, *см*.

Для пересчета коэффициента фильтрации на другую температуру фильтрующей воды необходимо учитывать температурную поправку.

Формула Терцаги применяется главным образом для крупнозернистых песков и во многих случаях дает результаты, сходные с экспериментальными данными.

При вычислении коэффициента фильтрации по формулам Слихтера, Крюгера, Козени и Терцаги можно пользоваться номограммами Н. Н. Биндемана [Биндеман, 1945; Справочник гидрогеолога, 1962].

Формула Цункера

$$K_0 = C\left(\frac{n}{1-n}\right)^2 \frac{1}{v^2}(1+0{,}034\,t), \qquad \text{(IV-18)}$$

где K_0 — коэффициент фильтрации при температуре 0° С, *м/сутки*;

C — числовой коэффициент, зависящий от формы и однородности зерен (находится по табл. IV-9);

t — температура воды, °С;

v — «удельная поверхность», т. е. отношение суммарной поверхности частиц данной породы к суммарной поверхности породы, сложенной частицами диаметром в 1 *мм*, которая определяется по формуле

$$v = \frac{3}{2}\cdot\frac{g}{d_1} + \sum_{2}^{N} g_i \frac{\frac{1}{d_{i-1}} - \frac{1}{d_i}}{\ln d_i - \ln d_{i-1}}. \qquad \text{(IV-19)}$$

Обозначения те же, что и для формул Замарина и Крюгера.

Таблица IV-9

Значения C

Тип песка	C
Равнозернистый с гладкими округлыми зернами	1160
Равнозернистый с шершавыми, малоокатанными зернами	680
Неравнозернистый	580
Неравнозернистый с угловатыми зернами неотсортированный	340

Формула Цункера применяется для расчета коэффициентов фильтрации мелкозернистых и среднезернистых песков. Коэффициент C в этой формуле позволяет учитывать форму зерен и степень однородности грунта, что не учитывается в других формулах.

Формула Зауербрея

$$K_{10} = \beta\frac{n^3}{(1-n)^2}d_{17}^2, \qquad \text{(IV-20)}$$

где K_{10} — коэффициент фильтрации при температуре воды 10° С, *м/сутки*;

β — эмпирический коэффициент, зависящий от крупности и однородности зерен песка и изменяющийся от 1150 до 3010, обычно равный 2880—3010;

d_{17} — диаметр зерна (*мм*), меньше которого содержится в данном грунте 17% зерен по весу; определяется по той же методике, что и d_{10}.

ГЛАВА V

СТАЦИОНАРНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В состав гидрогеологических работ стационарного характера входят исследования режима подземных вод, включая составление баланса подземных вод. В общем комплексе гидрогеологических исследований работы по изучению режима и составлению баланса подземных вод занимают одно из ведущих мест, так как позволяют дать количественную характеристику процесса формирования подземных вод и проследить за изменением во времени тех показателей гидрогеологических условий, которые были установлены в процессе съемки или других гидрогеологических исследований. Эти данные, устанавливая закономерности формирования подземных вод, разрешают обосновать мероприятия по использованию подземных вод или борьбе с их вредным влиянием.

Вопросам методики изучения режима подземных вод посвящены работы Г. Н. Каменского и др. (1938), Методическое руководство по изучению режима подземных вод [под редакцией Альтовского и Конопляицева, 1954], В. Н. Попова (1958) и др. В указанных работах подробно рассмотрены вопросы организации и методики производства наблюдений за режимом подземных вод для решения различных задач, обработки материалов наблюдений и пр.

§ 1. Режим подземных вод и значение его исследования

Под режимом подземных вод понимают изменения уровня, температуры, химического и газового состава подземных вод, дебита источников и скважин и другие факторы, отражающие процесс формирования подземных вод.

В зависимости от характера явлений, определяющих режим, можно различать: 1) природный, или естественный, режим подземных вод, 2) нарушенный инженерно-хозяйственной деятельностью человека, или искусственный и 3) смешанный, определяемый комплексным воздействием природных и искусственных факторов.

Изучение режима подземных вод позволяет определять:

1. Параметры, необходимые для прогноза режима, зависящие от природных или искусственных факторов, или тех и других одновременно.

2. Элементы баланса подземных вод, определяемые на основе гидродинамического анализа режима (метод конечных разностей).

3. Положительное или отрицательное влияние инженерно-хозяйственной деятельности человека на подземные воды. Изменяя соответствующим образом эту деятельность, можно регулировать режим подземных вод в нужном для народного хозяйства направлении, т. е. управлять им.

Исходя из научных и практических задач изучения режима, исследования его могут быть подразделены на региональные и специальные. Региональные исследования преследуют цель установить общие региональные закономерности режима, а отсюда и формирования основных водоносных горизонтов. При этих исследованиях устанавливаются параметры для прогноза естественных изменений уровня, температуры и других показателей режима подземных вод.

Прогноз режима, составленный для естественных условий, используется при анализе режима подземных вод, нарушенного деятельностью человека, и непосредственно может использоваться при строительстве — гражданском, промышленном, автодорог, железных дорог, в сельском водоснабжении, при обосновании судоходства на реках в межень, при подсчете гидроэнергетических ресурсов и др.

Специальные исследования режима проводятся с целью решения конкретных практических задач. Такими задачами являются следующие.

1. Изучение режима подземных вод в связи с их эксплуатацией для водоснабжения, орошения и обводнения пастбищ, с определением их запасов, разработкой мероприятий по их охране от нерационального использования и загрязнения и составлением прогноза режима под влиянием эксплуатации.

2. Изучение режима подземных вод и их баланса в орошаемых районах в целях обоснования мероприятий по предупреждению и ликвидации засоления и заболачивания орошаемых земель, использования подземных вод для орошения и водоснабжения и разработки методов прогноза режима.

3. Изучение режима подземных вод и их баланса в зоне избыточного увлажнения с целью обоснования мероприятий по осушению заболоченных земель и разработки методов прогноза естественного и нарушенного режима подземных вод.

4. Изучение режима шахтных (рудничных) вод для оценки и прогноза водопритока, поведения горных пород в целях осушения существующих и проектируемых горнодобывающих предприятий.

5. Изучение режима подземных вод в районах крупных городов в связи с проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных сооружений.

6. Изучение режима подземных минеральных и термальных вод (лечебного и промышленного значения) для оценки запасов, их охраны и прогноза изменения дебита, физических свойств, химического и газового состава.

7. Изучение режима подземных вод в зонах влияния водохранилищ и каналов в целях предупреждения нежелательных гидрогеологических и инженерно-геологических явлений (подпор, заболачивание, переработка берегов и др.), а также изменений условий водоснабжения и обводненности месторождений полезных ископаемых.

8. Изучение режима подземных вод в районах сброса промышленных и бытовых вод в поглощающие водоносные горизонты, на поля орошения и поля фильтрации в целях предупреждения загрязнения подземных вод и заболачивания земель.

9. Изучение режима подземных вод как индикатора геохимических процессов в связи с поисками и разведкой твердых и жидких полезных ископаемых.

10. Изучение режима подземных вод в районах лесонасаждений и создания лесных полос.

11. Изучение режима подземных вод и мерзлотных процессов в области развития многолетнемерзлых пород и прогноз их изменений в связи с водоснабжением, промышленным и гражданским строительством.

В связи с большим значением исследований режима подземных вод, изучением его на территории страны занимаются около 80 гидрогеологических станций. Ряд станций приступил к изучению баланса подземных вод. Кроме этого существует широкая ведомственная сеть для наблюдений за режимом подземных вод. Так, несколько десятков контрольно-наблюдательных станций создано на курортах, использующих минеральные воды. Много тысяч наблюдательных точек построено водохозяйственными организациями на орошаемых землях засушливых и полузасушливых районов. Имеется наблюдательная сеть скважин в организациях, эксплуатирующих подземные воды и месторождения других полезных ископаемых. Наблюдательная сеть создается на метеостанциях Управления гидрометслужбы.

Важно разграничивать режим грунтовых и напорных вод, хотя во многих районах они и находятся в тесной взаимосвязи. Основные режимообразующие факторы, определяющие режим грунтовых и напорных вод, а равно и особенности режима, специфичны.

§ 2. Изучение режима напорных вод

Режим напорных вод в районах, где он не нарушен инженерно-хозяйственной деятельностью человека, и на участках, удаленных от области питания, характеризуется сравнительным постоянством элементов — пьезометрического уровня, дебита источников, температуры (если не считать кажущихся колебаний уровня, связанных с резким изменением атмосферного давления). Исключение составляют напорные воды предгорных шлейфов и напорные воды приморских и океанических побережий.

В области предгорных шлейфов пьезометрический уровень напорных вод, залегающих обычно на глубине нескольких десятков метров, испытывает сезонные и многолетние колебания уровня, температуры и др. Последние связаны с климатическими факторами и режимом поверхностного стока в областях питания напорных вод, где происходит инфильтрация поверхностных вод. Колебания пьезометрического уровня отражают с опозданием на несколько месяцев режим соответствующих поверхностных водотоков.

В приморских районах пьезометрический уровень напорных вод испытывает суточные, месячные и другие колебания, связанные с приливно-отливными течениями.

§ 3. Изучение режима грунтовых вод

В отличие от напорных режим грунтовых вод отражает постоянную изменчивость количества и качества этих вод на всей площади их распространения. Эти изменения весьма многообразны, в связи с неоднородностью природных условий и разнообразием факторов, воздействующих на режим грунтовых вод.

Природный, или естественный, режим грунтовых вод в конкретной геологической и геоморфологической обстановке зависит от климатических, гидрогеологических факторов или того или иного сочетания их.

Геологическое строение района имеет огромное значение для формирования режима, так как определяет условия питания и движения

грунтовых вод, водоотдачу, капиллярные и другие свойства пород, влияет на химический состав грунтовых вод и т. д.

Рельеф и геоморфологическое строение определяют в сочетании с геологическим строением и климатом соотношение между поверхностным стоком и инфильтрацией, распределение грунтовых вод по глубинам залегания, расположение областей питания и разгрузки грунтовых вод, уклон зеркала и скорость движения их и т. д. Таким образом, геологическое строение и геоморфологические особенности района выступают здесь также как факторы режима грунтовых вод.

Из климатических факторов наибольшее значение имеют температура воздуха и недостаток насыщения его водяными парами, атмосферные осадки и испаряемость. Режим грунтовых вод подчиняется известной широтной климатической зональности, а в предгорных и горных районах — закону вертикальной поясности.

Климатические факторы определяют условия и интенсивность питания грунтовых вод, а также интенсивность расхода их на испарение и транспирацию. В этом аспекте на территории СССР целесообразно различать три основных типа условий атмосферного питания грунтовых вод, создающих определенные черты режима этих вод.

1. Тип кратковременного (преимущественно летнего) питания. Характеризуется наличием питания и подземного стока только в короткий летний период и изменением состояния воды от жидкого до твердого. Такой тип питания характерен для районов с развитием многолетнемерзлых пород.

2. Тип сезонного (преимущественно весеннего и осеннего) питания. Характеризуется перерывом в питании зимой, в то время как подземный сток не прекращается и за этот период происходит расходование запасов. Этот режим широко распространен в европейской, а также и в азиатской части СССР.

3. Тип круглогодичного (преимущественно зимнего) питания, для которого характерно отсутствие сезонно промерзающего слоя пород и наличие основного питания зимой в связи с уменьшением в это время года испарения. Последний тип режима встречается на самом юге СССР, охватывая Крым, Закавказье, южные районы Туркмении, Узбекистана и Таджикистана.

При дальнейшей детализации климатических условий возможно выделение районов по интенсивности атмосферного питания грунтовых вод, которое может быть обильным, умеренным и скудным, соответственно зонам избыточного, переменного и недостаточного увлажнения (А. А. Коноплянцев, 1959).

Грунтовые воды в деятельном слое — в районах с наличием почти сплошных многолетнемерзлых пород (тип кратковременного питания) большую часть года находятся в твердом состоянии. Только летом грунтовые воды приобретают подвижность. В этот короткий промежуток времени в водоносном горизонте происходят все количественные и качественные изменения. Вследствие короткого периода взаимодействия воды и породы, низких температур воды и других причин общая минерализация грунтовой воды здесь незначительная.

Южнее районов развития многолетнемерзлых пород имеет место обильное сезонное питание грунтовых вод, соответствующее зоне избыточного увлажнения на севере европейской части СССР и в некоторых областях Сибири. Как уже отмечалось, на период промерзания верхнего слоя пород здесь почти полностью прекращается питание, движение же грунтовых вод и их разгрузка существует круглый год. На графиках колебания уровня грунтовых вод отчетливо выявляется период

отсутствия питания, характеризующийся уменьшением запасов грунтовых вод и неуклонным падением их уровня. Весной после наступления периода с положительными температурами воздуха и оттаивания промерзших за зиму пород наблюдается обильное питание грунтовых вод, сопровождающееся интенсивным подъемом уровня. В течение теплого периода высокий уровень постепенно падает, так как не все летние осадки дают дополнительное питание грунтовым водам.

В районах умеренного, или неустойчивого, увлажнения режим грунтовых вод имеет своеобразные черты. Здесь также отчетливо выделяется период отсутствия питания. Однако этот период уже в ряде случаев оказывается более коротким. Так же как и в предыдущем типе, намечается весенний период максимального питания. В летний период здесь начинает сказываться испарение, затрудняющее питание в летние месяцы, в связи с чем в это время отчетливее сказываются отток из водоносного горизонта и падение уровня грунтовых вод. В осеннее время при уменьшении испарения выпадающие атмосферные осадки обычно пополняют грунтовые воды, что обеспечивает второй подъем уровня — второй максимум.

Химический состав грунтовых вод в течение года также претерпевает здесь некоторые колебания. Общая минерализация возрастает к концу периода отсутствия питания.

В районах с недостаточным и скудным увлажнением можно установить подтип скудного питания. Для него характерно наличие питания в короткий весенний период — после оттаивания верхнего горизонта пород. После кратковременного периода интенсивного питания здесь наступает очень длительный период отсутствия питания. Причем в первую часть этого периода питанию препятствует интенсивное испарение, характерное для этих районов. Во вторую часть этого периода, после наступления отрицательных температур воздуха, возможность питания прекращается вследствие промерзания верхних слоев пород.

В южных районах территории СССР встречаются условия, когда верхний слой пород совершенно не промерзает зимой или это промерзание наблюдается спорадически на отдельных участках и на короткий период.

Питание грунтовых вод здесь может осуществляться круглый год. Причем в связи с ослаблением испарения в зимние месяцы это питание осуществляется наиболее интенсивно. Летом же оно оказывается незначительным или совсем прекращается. Интересно отметить, что даже в таком районе как Рионская низменность в Закавказье, где летом выпадают весьма обильные атмосферные осадки, наблюдается снижение уровня грунтовых вод в связи с весьма большим испарением.

При круглогодичном питании грунтовых вод и скудной величине его, свойственной полупустынным и пустынным районам, формируются грунтовые воды повышенной минерализации. Во всех зонах многолетний режим грунтовых вод зависит от изменений атмосферных осадков и температуры воздуха.

Таковы в общих чертах региональные закономерности естественного режима грунтовых вод. Детали их определяются геоморфологическими условиями, рельефом, геологическим строением, мощностью зоны аэрации, влиянием в ряде районов напорных вод, с которыми грунтовые воды находятся во взаимосвязи, и другими факторами.

В отличие от регионально действующих климатических факторов, влияние гидрологического фактора локализовано в пределах речных долин. Влияние рек на сезонный режим грунтовых вод, как известно, может проявляться путем подпора, который формируется в речных доли-

нах, или путем изменения интенсивности питания (дельты и нижние террасы рек, предгорные шлейфы).

Изучая гидрологический режим грунтовых вод во время прохождения паводков, можно, помимо изучения закономерностей режима в этих условиях, получить параметры, нужные для прогноза режима в связи с подпором (Н. Н. Биндеман, 1955).

Изучение региональных закономерностей режима грунтовых вод должно охватывать водоносные горизонты и производиться во всех районах, где эти горизонты представляют интерес для народного хозяйства в настоящее время или в перспективе. В результате этих исследований должны быть изучены ход сезонных и многолетних колебаний уровня и других элементов режима, основные факторы режима, амплитуда сезонных и многолетних колебаний уровня и т. д.

Размещение наблюдательной сети целесообразно проектировать с учетом степени изученности режима грунтовых вод, на основе крупномасштабных гидрогеологических карт интересующего района. Наблюдательные точки должны осветить режим грунтовых вод различных геоморфологических районов, в отложениях разного возраста и литологического состава и находящихся на различной глубине, в водах разной минерализации и т. д. При изучении режима грунтовых вод необходимо изучать его в областях питания, движения и разгрузки. В этом случае и в ряде других целесообразно размещать наблюдательные точки по створам, вытянутым в направлении движения грунтовых вод. По створам, нормальным к реке, изучается режим грунтовых вод речных долин.

В районах, где грунтовые воды подпитываются напорными водами, целесообразно оборудование пьезометров, опущенных на различную глубину. В засушливых районах при наличии гидрохимической стратификации грунтовых вод по вертикали также целесообразны гидрохимические кусты скважин. Глубины установки фильтров избираются с учетом литологии и характера изменения минерализации грунтовых вод с глубиной, выясняемых в процессе предварительных разведочных работ.

Наблюдения должны быть комплексными, т. е. включать изучение изменений уровня, температуры и химического состава грунтовых вод, а в засушливых районах — и солевого состава почв и грунтов зоны аэрации. Частота наблюдений устанавливается в соответствии с методическими и инструктивными указаниями ВСЕГИНГЕО (Попов, 1955 и др.). Однако после 1—2 лет наблюдений, в зависимости от изменчивости элементов режима, сроки производства наблюдений могут быть пересмотрены в сторону сокращения, а затем сохраняться постоянными, чтобы получать сравнимые данные, необходимые для характеристики многолетнего режима.

Весьма желательно дополнять региональные исследования режима изучением основных элементов баланса грунтовых вод. Для этого может быть использован гидродинамический анализ режима уровня грунтовых вод с соответствующим размещением наблюдательных точек (по створу — в случае одномерного потока или по «конверту» при радиальном потоке) или применяться лизиметры-испарители, позволяющие определить величину инфильтрационного питания грунтовых вод и расход их на испарение и транспирацию.

Вопрос о минимальной площади, обслуживаемой одной наблюдательной точкой (или одним кустом скважин) решается в каждом отдельном случае с учетом назначения исследований, степени сложности гидрогеологических условий района, площади его и других показателей. Для первого периода исследований, продолжительностью 1—3 года, может быть рекомендована более широкая сеть наблюдательных точек, а затем на

основе тщательного анализа полученных данных по режиму эта сеть может быть сокращена. В пределах каждого гидрогеологического района или участка сохраняются те пункты, по которым полученные параметры режима близки к средним для данного района, установленным по широкой сети точек. Такими параметрами являются сроки наступления характерных уровней грунтовых вод, скорость сезонного подъема и спада уровня, амплитуда колебаний уровня и температуры, минерализация и химический состав воды и сезонные изменения их, ведущие факторы режима и т. д. Выбранные таким образом «опорные» точки сохраняются для длительных многолетних наблюдений, производимых по строго установленной и обоснованной программе.

Изучение режима грунтовых вод производится с полным учетом и анализом всех факторов режима. Изучение региональных закономерностей режима грунтовых вод производится и в районах, где природный режим на больших площадках нарушен искусственными факторами. Примером являются орошаемые оазисы, где общая протяженность оросительных каналов измеряется многими тысячами километров, а орошаемые площади — тысячами или сотнями квадратных километров. В таких условиях орошение приобретает роль регионального фактора режима грунтовых вод, учет которого не менее важен, чем учет климатических и других природных факторов.

§ 4. Особенности нарушенного режима подземных вод

Влияние искусственных факторов на природный режим подземных вод зависит от многих условий и, в первую очередь, от интенсивности и продолжительности воздействия этих факторов (например, величины водозабора, подачи воды на орошение и др.) и особенностей гидрогеологических условий района — величины динамических ресурсов подземных вод — для районов водозабора, степени естественной дренированности земель при орошении и др.

Изучение нарушенного режима грунтовых вод имеет исключительно важное значение. Особое значение имеет установление роли искусственных факторов, полный учет которых в процессе изучения режима необходим в такой же мере, как и природных факторов. Параллельно с нарушенным изучается и ненарушенный режим грунтовых вод в районах исследований. В процессах изучения нарушенного режима наблюдательная сеть — количество пунктов, размещение и программа наблюдений — может изменяться. В то время как перечень природных факторов режима подземных вод (климат, геолого-литологическое строение, рельеф и геоморфология, гидрологические и гидрогеологические условия, почвы и растительный покров и др.) сохраняется при любой направленности работ станций. Состав искусственных факторов режима специфичен в зависимости от того, какие практические вопросы должны быть решены. Рассмотрим это положение для основных направлений изучения режима.

Районы водозаборов. Наблюдения за режимом подземных вод в данном случае необходимы для прогноза изменений запасов, динамического уровня и качества воды эксплуатируемых водоносных горизонтов.

В результате наблюдений должны быть:

1) составлены прогнозы снижения уровня на участке водозабора и развития депрессионной воронки при неизменном дебите водозабора и при его увеличении;

2) изучена взаимосвязь эксплуатируемого водоносного горизонта со смежными горизонтами, возможность и оценка величины перетекания и упругих запасов;

3) составлен прогноз изменения питьевых качеств в случае эксплуатации водоносного горизонта, подстилаемого минерализованными водами;

4) уточнены эксплуатационные запасы, определенные ранее при разведочных работах, и определены параметры эксплуатируемых водоносных горизонтов: водоотдача, коэффициенты пьезопроводности или уровнепроводности, необходимые для оценки запасов [Язвин, 1961].

Наблюдения, произведенные станцией, должны служить основой для разработки мероприятий по охране подземных вод от истощения и ухудшения питьевых качеств.

Для решения указанных задач гидрогеологические станции должны иметь данные об изменении дебита по всем скважинам за время эксплуатации.

В наблюдательную сеть должны входить специальные наблюдательные точки, по которым можно было бы изучать изменение во времени уровня, температуры и химического состава эксплуатируемого водоносного горизонта. Располагаются наблюдательные точки по двум створам, пересекающим водозабор, по нормали и в направлении потока подземных вод. Крайние точки должны находиться за пределами депрессионной воронки. При изучении режима артезианских водоносных горизонтов, кроме эксплуатируемого, изучаются смежные, если можно допустить взаимосвязь между ними в процессе развития депрессионной воронки.

При эксплуатации пресных линз грунтовых вод в засушливых районах целесообразны послойные гидрохимические наблюдения, которые могут указывать на опасность подсоса минерализованных вод.

Желательно в районе водозаборов в наблюдательных скважинах устанавливать самописцы, особенно при определении параметров водоносных горизонтов путем откачки из эксплуатационных скважин.

В районах эксплуатации промышленных и минеральных вод, в дополнение к изложенному выше, особое внимание уделяется выяснению влияния эксплуатации на температуру, газовый состав и на состав микрокомпонентов в минеральных водах, с точки зрения сохранения лечебных свойств этих вод. Оценивается существующая система каптажа минеральных вод, изменение их химического и газового состава по мере развития депрессионной воронки. Намечаются мероприятия по охране минеральных вод от истощения и загрязнения. При эксплуатации напорных вод, заключенных в песчано-глинистых отложениях, возможно оседание поверхности земли, опасное для сооружений, находящихся в этих районах. Подобные случаи известны в ряде зарубежных районов [Кац, Коноплянцев, 1961]. Для предупреждения таких последствий усиленной эксплуатации подземных вод необходимы соответствующие наблюдения за отметками поверхности земли.

Орошаемые засушливые районы. Изучение режима грунтовых вод здесь имеет важное значение в связи с той большой ролью, которую играют грунтовые воды в процессах почвообразования и как дополнительный источник оросительных вод.

Основными режимообразующими факторами являются ирригационно-хозяйственные мероприятия: подача воды на орошаемые территории, состояние дренажных систем, снижающих уровень грунтовых вод и др. В связи с этим в орошаемых районах должны быть изучены и собраны материалы, характеризующие изменения суммарной водоподачи на орошение, оросительных норм, потерь воды на фильтрацию из каналов, связь изменений водоподачи с водоносностью рек — источников орошения

в аспекте существующих зависимостей режима грунтовых вод от этих факторов [Кац, 1960]. Должны быть установлены изменения площади поливных земель, коэффициент земельного использования, состава сельскохозяйственных культур и их урожайности, изменения величин стока коллекторно-дренажных систем (суммарного по системе и удельного — с 1 *га*) и выноса с этими водами солей.

Районы осушения избыточно увлажненных земель. Осушительные системы являются важным фактором режима грунтовых вод. Поэтому, изучая в таких условиях режим грунтовых вод, необходимо учитывать типы осушительных систем, конструкцию и глубину дрен, их суммарную и удельную протяженность, размещение на площади осушения, режима стока дренажных вод и химический их состав.

Районы действующих обводненных горных выработок месторождений полезных ископаемых. Основным режимообразующим фактором в районах действующих обводненных горных разработок является водоотлив (в целом из шахты, рудника или карьера и отдельных их частей). Специально созданная сеть наблюдательных точек за режимом подземных вод должна обеспечить определение эффекта водоотлива и влияния других природных и искусственных факторов. При этом выясняются следующие вопросы режима:

1. Влияние откачки рудничных (шахтных) вод на сезонный и многолетний режим уровня грунтовых вод или пьезометрического уровня напорных вод в зоне влияния откачки (в сопоставлении с естественным режимом дренируемого водоносного горизонта).

Обязательно выяснение роли климатических факторов, расхода рек и других факторов в условиях нарушенного режима подземных вод.

2. Характеристика депрессионной воронки и ее развитие в зависимости от различных факторов.

3. Выявление зависимости сезонных и многолетних изменений водопритока от естественного режима подземных вод, атмосферных осадков, поверхностного стока, колебаний расхода рек и других природных факторов.

4. Установление влияния расширения и углубления фронта горных работ, развития дренажных работ и других искусственных факторов на изменение водопритока.

5. Выявление сезонных и многолетних закономерностей изменения режима уровня, температуры и химического состава дренируемых горизонтов в зоне влияния откачки рудничных вод, зависимость режима от природных и искусственных факторов.

Территории планировки и застройки городов. Режим грунтовых вод является одним из важнейших факторов, влияющих на инженерно-геологические условия промышленных и гражданских сооружений, подземных коммуникаций и др. Поэтому изучение режима на территории застройки городов обязательно.

При организации и проведении исследований режима подземных вод, наряду с общими природными условиями, должны учитываться весьма разнообразные факторы, связанные с жизнью города.

К таким факторам относятся утечка воды из водопроводно-канализационных устройств, сбросы сточных вод, их химический состав и объемы, откачка подземных вод с целью осушения строительных котлованов, станций подземной железной дороги, подвальных помещений, откачка подземных вод с целью водоснабжения, асфальтирование территории, поливы зеленых насаждений и улиц, устройства прудов и водоемов на застроенной территории и т. п.

В процессе исследований режима подземных вод выявляются:

1. Особенности сезонного и многолетнего режима уровня, температуры и химического состава грунтовых вод на застроенных площадях. Влияние различных искусственных факторов на режим грунтовых вод.

2. Особенности влияния климатических, гидрологических и других природных факторов на режим грунтовых вод.

3. Оценка режима грунтовых вод застроенных территорий как инженерно-геологического фактора и оценка эффективности мероприятий по борьбе с вредным влиянием грунтовых вод.

4. Оценка опасности загрязнения водоносных горизонтов, эксплуатируемых в пределах застроенных территорий.

Полученные данные используются для районирования территории города по особенностям режима грунтовых вод, важным для промышленных и гражданских сооружений, с учетом величины сезонных и многолетних амплитуд колебания уровня, агрессивных свойств воды, влияния грунтовых вод на несущую способность грунтов, роль этих вод в подтоплении подвалов и т. д. Составляется прогноз режима грунтовых вод в связи с развитием строительства, с установлением многолетних значений минимальных и максимальных отметок уровня грунтовых вод, агрессивных свойств грунтовых вод и др. Все эти сведения чрезвычайно важны при инженерно-геологическом районировании застроенных территорий. На основе такого районирования разрабатываются мероприятия по регулированию режима грунтовых вод для обеспечения нормальных условий строительства и эксплуатации объектов.

§ 5. Некоторые замечания к изучению баланса подземных вод

Изучение баланса подземных вод производится в связи с обоснованием проектов мелиорации, водоснабжения и др., при исследованиях гидрологического характера и т. д. Важное значение имеет изучение баланса для прогноза режима. Баланс подземных вод может составляться только для существующих условий или для существующих и проектных. Ввиду сложности гидрогеологических исследований изучение баланса грунтовых вод должно производиться на основе тщательно составленного проекта, при хорошо известных общих гидрогеологических условиях района. Первостепенное значение имеет детальная разработка методики изучения баланса и подготовка необходимых приборов и аппаратуры для обеспечения заданной точности исследований.

Применяемые методы изучения баланса основаны на экспериментальных определениях элементов баланса или на гидродинамическом анализе режима грунтовых вод (метод конечных разностей).

Возможно сочетание того и другого метода.

Экспериментальный метод, при котором инфильтрационное питание грунтовых вод и испарение их определяются с помощью лизиметров-испарителей, применим в основном при неглубоком залегании грунтовых вод. Метод конечных разностей может применяться при любой глубине залегания грунтовых вод, но имеет другие ограничения. В частности, он малоприменим при разнородной и изменчивой по вертикали и в направлении движения грунтовых вод водопроницаемости отложений, неизвестной глубине водоупора и т. д.

§ 6. Прогноз режима подземных вод

Прогноз режима подземных вод во времени и в пространстве основывается на знании закономерностей режима подземных вод и на закономерностях изменения режимообразующих факторов. В отличие от метеорологии, где дается как краткосрочный (1—2 суток), так и долгосрочный прогноз, на основании изучения режима подземных вод обычно дается только долгосрочный прогноз. При этом прогноз режима подземных вод может выдаваться как по определенному пункту, так и по территории.

Любой вид прогноза режима подземных вод должен опираться на генетические особенности режима. В этом отношении прежде всего надо различать прогноз режима в естественных (природных) условиях и в условиях, нарушенных инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

При прогнозе режима в естественных условиях определяющим является ведущий естественный фактор режима. Так, например, уровень грунтовых вод прогнозируется в зависимости от ведущего естественного фактора режима — климатического, гидрологического подземного притока или сочетания этих и других факторов.

При прогнозе режима подземных вод в условиях, нарушенных инженерно-хозяйственной деятельностью человека, искусственное воздействие на водоносный горизонт накладывается на естественные изменения в режиме. Прогноз режима здесь оказывается весьма сложным, требующим учета ряда взаимодействующих естественных и искусственных факторов. Однако в ряде случаев искусственный фактор оказывает несоизмеримо большее воздействие, чем естественные факторы. Например, при водоотливе из карьеров часто снижение уровня подземных вод достигает десятков или сотен метров и естественные колебания уровня близ карьера оказываются несущественными.

Прогноз естественного режима подземных вод необходим для характеристики меженного стока рек, образующегося в основном за счет питания подземными водами, а отсюда для прогноза судоходства и гидроэнергетических ресурсов. Прогноз режима в естественных условиях также представляет интерес в случае использования родниковой воды и для малого, в основном сельскохозяйственного водопотребления.

Наконец, прогноз режима подземных вод в естественных условиях необходим для различного вида строительства: автодорожного, железнодорожного, промышленных и гражданских сооружений.

Наиболее распространенным является прогноз изменения запасов подземных вод или прогноз изменения уровня подземных вод. Однако в ряде случаев необходим прогноз изменения химического состава подземных вод, например, при решении вопросов мелиорации земель или при подземном строительстве.

Все возрастающее значение приобретает прогноз температуры подземной воды и, в частности, в связи с работами по сооружению установок для кондиционирования воздуха.

Весьма существенным является правильное распространение по территории результатов прогноза, полученного в одной точке или на ограниченном участке. В этом отношении необходимо производить районирование территории по особенностям режима подземных вод, используя вышеотмеченные принципы размещения наблюдательной сети (см. § 1).

Зная региональные закономерности режима, представляется возможным использовать установленную связь режима с соответствующими факторами для прогноза. Прогноз режима может выполняться следующими методами:

1. На основе знаний баланса грунтовых вод и количественной связи статей его со статьями общего водного баланса района.

2. Расчетом с применением формул неустановившегося движения подземных вод (метод конечных разностей Г. Н. Каменского).

3. Методом корреляции [Альтовский, 1954].

4. Простейшим приближенным методом, основанным на анализе графиков режима грунтовых вод [Коноплянцев, 1954].

5. Методом аналогий, заключающимся в том, что для района с неизученным или слабоизученным режимом прогноз ведется по материалам наблюдений, полученным в другом районе — аналогичном по гидрогеологическим и другим условиям [Коноплянцев, 1954].

Вопросы прогноза естественного режима источников рассматривались в VII главе 1 тома.

При нарушенном режиме грунтовых вод для прогноза его обязательно знание не только естественных, но и искусственных факторов режима. При этом прогноз режима здесь производится на основании расчета с применением формул динамики подземных вод. Расчетные параметры частично получаются из общих гидрогеологических исследований, частично же их берут на основании изучения режима подземных вод.

С помощью уравнений, учитывающих неустановившееся движение подземных вод, можно произвести расчет развития депрессии в результате работы водозабора или водоотлива при производстве горных работ (см. главы XIV, XV, XVI, том 1) и работы Ф. М. Бочевера (1960), Ф. М. Бочевера и Н. Н. Веригина (1961), Н. И. Плотникова (1959) и др. Расчетным путем дается также прогноз подпора в берегах водохранилища. Прогноз подпора путем решения дифференциального уравнения неустановившейся фильтрации в конечных разностях был предложен Г. Н. Каменским.

Значительная роль в развитии теории подпора грунтовых вод, ее усовершенствовании и внедрении в практику принадлежит Н. Н. Биндеману (см. главу XXI, том 1).

Ряд аналитических решений дифференциального уравнения неустановившейся фильтрации применительно к прогнозу подпора грунтовых вод был дан П. Я. Полубариновой-Кочиной (1952), Н. Н. Веригиным (1949), Н. Н. Веригиным и В. М. Шестаковым (1954).

Для тех же целей используется метод гидравлических аналогий, предложенный в 1937 г. В. С. Лукьяновым и примененный к прогнозу подпора грунтовых вод М. А. Вевиоровской (1957).

Прогноз на орошаемых территориях является, пожалуй, наиболее сложным, так как на режим грунтовых вод здесь одновременно воздействует большое число как естественных, так и искусственных факторов.

В связи с этим разрабатываются методы прогноза как частного характера, определяющие режим в зоне влияния дрен или оросительных каналов, так и методы прогноза режима массивов орошения в целом (Аверьянов, 1956; Крылов, 1959; Лебедев, 1957 и др.).

Достаточно сложным является прогноз режима грунтовых вод заболоченных земель в зоне избыточного увлажнения (Киселев, 1961).

Существующая методика прогнозов естественного и нарушенного режимов подземных вод нуждается в дальнейшем развитии и совершенствовании.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ГЛАВА VI

§ 1. Общие положения

В общем комплексе геологоразведочных работ гидрогеохимические методы применяются при поисках рудных и нерудных месторождений, минеральных и промышленных вод, нефтяных и газовых месторождений, отличаясь от других методов поисков своей потенциальной глубинностью.

Гидрогеохимический метод в рациональном комплексе с геологическими, геофизическими и геохимическими методами поисков полезных ископаемых может применяться в различных физико-географических условиях и геологоструктурных провинциях.

Некоторые трудности возникают в аридных областях и в областях развития многолетней мерзлоты.

В этих условиях одновременно с опробованием имеющихся поверхностных и подземных вод целесообразно применять водные и слабокислотные вытяжки из рыхлых отложений и мерзлых пород, а также отбирать пробы льда из наледей с последующим анализом аликвотной части и талой воды [Долуханова, 1958; Миллер и др., 1959; Боровицкий, Нечаев, 1962].

При гидрогеохимических поисках основным объектом исследований являются подземные и поверхностные воды, систематическое опробование которых позволяет оконтурить на поисковой площади аномальные участки (водные ореолы рассеяния), характеризующиеся обычно повышенным содержанием в них некоторых элементов или определенного комплекса их по сравнению с фоновым содержанием этих элементов*.

Сведения о необходимом количестве точек отбора водных проб для различных масштабов съемки, методике и ожидаемых результатах гидрогеохимических поисков приводятся в табл. VI-1.

Гидрогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых обычно подразделяются на следующие этапы: подготовительный, полевой, камеральный.

Подготовительный этап. На этом этапе необходимо собрать подробные сведения о геологии и гидрогеологии, металлогении и геохимии, геоморфологии, гидрологии и климате территории, на которой проектируются гидрогеохимические поиски.

При этом тщательно собираются данные о минералогическом и химическом составе рудных тел, разведываемых или находящихся в эксплуатации

* Водные аномалии обычно подразделяют на аномалии, возникавшие за счет природных явлений, в том числе под влиянием рудных месторождений, и аномалии, образованные за счет деятельности человека (сточные воды, дым заводов и фабрик и т. п.). Под фоном понимаются такие содержания элементов в природной воде, которые характеризуют большей частью региональное рассеяние.

Таблица VI-1

Общие сведения о методике гидрогеохимических поисков рудных месторождений (с учетом рекомендаций А. А. Бродского)

Масштаб геолого-поисковых работ	Рекомендуемое количество точек отбора водных проб на 1 $км^2$ (ориентировочно)	Общие данные о методике гидрогеохимических поисков	Рекомендуемые виды анализов	Ожидаемые результаты
1 : 1 000 000—1 : 500 000	0,02—0,05	Источники подземных вод и поверхностные водотоки и водоемы опробуются выборочно с учетом геологических образований, контактов и тектонических нарушений	Полный спектрохимический анализ и общий химический анализ воды. Определение электрического сопротивления и суммы металлов	Установление регионального рассеяния с гидрохимической характеристикой некоторых геологических образований и тектонических зон. Выделение ореолов рассеяния первого порядка, отражающих гидрогеохимические особенности рудоносных провинций
1 : 200 000—1 : 100 000	0,09—0,5	Опробуются источники подземных вод, ручьи и реки второго, третьего и более мелкого порядков	Сокращенный спектрохимический анализ воды на типоморфный комплекс элементов. Химический анализ воды на элементы-индикаторы. Выборочно-общий химический анализ воды	Выделение ореолов рассеяния второго порядка, отражающих гидрогеохимические особенности рудоносных площадей в пределах регионов или рудоносных провинций
1 : 50 000—1 : 25 000	0,7—3,6	Опробуется большинство водопунктов. Специальное опробование поисково-разведочных горных выработок. Производство водных и кислотных вытяжек твердых проб. Организация режимных наблюдений	Химический анализ воды на элементы-индикаторы. Выборочно-спектрохимический анализ воды	Выделение ореолов рассеяния месторождений. Возможно установление ореолов рассеяния рудных тел
1 : 10 000 и крупнее	Зависит от сети проходимых выработок, вскрывающих подземные воды	Сплошное опробование водопунктов и горных выработок. Режимные наблюдения	Химический анализ воды на элементы-индикаторы	Выявление ореолов рассеяния рудных тел

месторождений, расположенных в пределах поисков или сопредельной площади. Изучаются сведения о химическом составе первичных и вторичных ореолов рассеяния этих месторождений, а также о химическом составе подземных и поверхностных вод, в том числе и рудных вод. Этот материал необходим для предварительного установления возможных элементов-индикаторов и в дальнейшем служит основой для организации полевой химической лаборатории.

Особое внимание уделяется данным о зоне окисления рудных месторождений, химической активности геологических образований и, в частности, рудовмещающих пород. Устанавливаются области питания, циркуляции и разгрузки подземных вод, палеогидрогеологии поисковой территории и основные параметры водоносных горизонтов (минеральный и химический состав водовмещающих пород, петрологические и литологические особенности этих пород, глубина залегания, мощность, направление и скорость движения подземных вод).

На основе изучения литературного материала составляется схема (или карта) территории поисков с нанесением известных источников подземных вод, колодцев, скважин, шурфов, штолен и т. п., а также поверхностных водотоков и водоемов, болот и заболоченных мест.

Собранный материал используется при составлении проекта и сметы гидрохимических исследований.

Реактивы, материалы и химическая посуда обосновываются методикой анализов на выбранные проектом элементы-индикаторы.

Полевые исследования в зависимости от климатического пояса проводятся в различные сезоны года. Так, например, в районах, характеризующихся гумидным климатом, полевые гидрогеохимические исследования следует проводить в сухой период года, когда ручьи и реки питаются преимущественно за счет подземного стока, а источники подземных вод, в том числе и грунтовых вод, не прекращают своего существования.

В районах с аридным климатом опробование источников возможно в период высокого стояния грунтовых вод, который обычно наступает после осадков. В областях многолетней мерзлоты гидрогеохимические поиски возможны и в зимнее время, когда выходы подземных вод четко фиксируются наледями.

Для определения химических элементов в воде пользуются следующими приемами. Проба воды в необходимом объеме отбирается из водопункта и транспортируется в полевую или стационарную лабораторию; производится концентрация водных проб у водопунктов с последующей транспортировкой концентратов в спектральную лабораторию; анализ воды на элементы-индикаторы производится непосредственно у водопункта.

При гидрогеохимических поисках опробованию подвергаются следующие водопункты: 1) источники и мочажины; 2) колодцы и буровые скважины; 3) горные выработки (шурфы, канавы, штольни, штреки и т. п.); 4) ручьи и реки в основном второго, третьего и более мелкого порядков; 5) пруды и озера; 6) заболоченности и болота.

Источники и мочажины. Источники подземных вод опробуются в первую очередь. Вода отбирается непосредственно у выхода источника либо в сосуд (бутылка, полиэтиленовый мешочек, банка и т. п.), либо сосуд заполняется при помощи стеклянной, эмалированной или полиэтиленовой посуды. Если источник проявляется в виде мочажин, то в этом случае проходят закопушку (обычно глубиной 0,5—1,2 *м*) и пробу отбирают после установления уровня и прозрачности воды. При отборе водной пробы из источников, закопушек, колодцев или других водопунктов тщательно следят за тем, чтобы проба не загрязнялась. Опыт пока-

зывает, что безметальная вода, налитая в оцинкованный водоотборник системы Симонова, через 3—5 *мин* показывает сумму металлов 1000 *мкг/л* и более.

Колодцы и скважины. Перед опробованием из скважин и колодцев производят откачку до полного осветления воды. Откачка воды может быть произведена при помощи насоса или тартания (ведром, желонкой и т. п.).

Особые трудности возникают при отборе проб из скважин, которые промывают глинистым раствором. Имеющийся фактический материал показывает, что глинистые частицы сорбируют рудные элементы и закрывают трещины пород, искажая тем самым результаты исследований. В таких случаях отбор проб следует производить по окончании бурения скважин, после того как установится естественный режим воды в ней. Естественный режим воды в скважине устанавливается либо после длительной остановки бурения, либо после откачки воды из скважины. Опыт ВИТРа показывает, что отбор пробы воды следует производить на 7 и 15 день после окончания бурения, так как именно в это время в водах появляются стабильные максимумы содержания рудных элементов.

Отбор проб из поисковых и разведочных скважин осуществляется пробоотборниками. Однако они недостаточно пригодны для гидрогеохимических поисков, так как требуют, во-первых, остановки бурения, а во-вторых, их детали, изготовленные из цветного металла, изменяют химический состав отобранной пробы.

При описании водопунктов следует отметить способ эксплуатации колодца и скважины, по возможности составить гидрогеологический разрез, определить конструкцию скважины и колодца, выяснить технологию их проходки и режим водоносного горизонта.

Горные выработки. Поверхностные горные выработки — шурфы, канавы и т. п. опробуются с соблюдением основных условий по опробованию источников и колодцев. Прежде всего необходимо убедиться, что вода в горной выработке является подземной.

В подземных горных выработках (штольнях, квершлагах, штреках и т. п.) проба отбирается в первую очередь из капежа в кровле или стенках. Пункты отбора проб наносятся на погоризонтальные планы исследуемой шахты или рудника; погоризонтальные планы должны содержать сведения о рудных телах, их первичных ореолах рассеяния, возможных путях движения подземных вод и петрографических и литологических особенностях рудовмещающих пород.

Ручьи и реки. Опробованию подлежат небольшие ручьи и притоки рек второго, третьего и более мелкого порядков с расходом обычно не превышающим 1,5 $м^3/сек$.

Крупные реки опробуются по очень редкой сетке и их данные учитываются при опробовании регионального рассеяния или ореолов рассеяния первого порядка. На мелких реках расстояния между точками отбора водных проб лимитируются масштабом поисково-съемочных работ. Так, например, для поисков масштаба 1 : 1 000 000 — 1 : 500 000 это расстояние может достигать 8—12 *км*, для масштаба 1 : 200 000 — 1 : 100 000 расстояние между пунктами отбора в среднем равно 1,0—1,5 *км* и для масштаба 1 : 50 000 — 1 : 25 000 среднее расстояние между пунктами отбора проб уменьшается до 200 *м*.

При детализации расстояние между пунктами опробования может достигать 25—50 *м*. Вода в водотоке отбирается в 0,3—0,4 *м* от берега, при этом необходимо следить, чтобы вода в пробе была прозрачная.

Пруды, озера и другие водоемы. Водные пробы в первую очередь отбираются из небольших водоемов, питание которых происходит за счет подземных вод. Отбор производится близ выхода источника. Если содержание

рудных элементов с глубиной изменяется, то отбор проб производится по профилям с различных глубин. Для характеристики регионального рассеяния элементов производят отбор единичных водных проб из крупных озер.

Заболоченности и болота. Болота, как известно, подразделяются на низинные (плоские), верховые (возвышенные) и переходные (промежуточный этап). Для гидрогеохимических поисков большой интерес представляют низинные болота, особенно их разновидности — ключевые болота, которые развиваются на участках выхода подземных вод. Болота

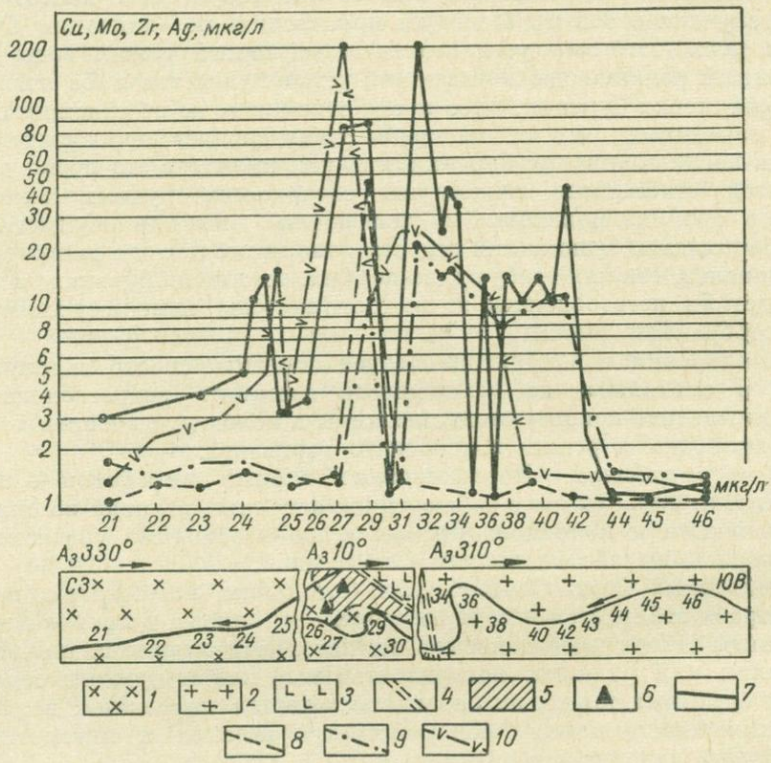


Рис. VI-1. Гидрогеохимический профиль через участок сульфидного рудопроявления, расположенного в аридном климате.

1 — гранодиорит-порфиры верхнего карбона; *2* — гранодиориты среднего карбона; *3* — аляскиты силура — нижнего девона; *4* — тектонические нарушения; *5* — окварцевание, серицитизация, лимонитизация пород; *6* — участок сульфидного рудопроявления; *7* — содержание меди в водах; *8* — то же молибдена; *9* — то же цинка; *10* — то же серебра; цифрами обозначены номера водной пробы.

и заболоченности, связанные с подземными водами, опробуются в первую очередь. В зависимости от результатов анализа одиночных проб количество точек может увеличиться в направлении предполагаемого выхода подземных вод. Из болот других типов отбираются единичные пробы.

При взятии проб одновременно рекомендуется производить отбор илисто-глинистых отложений или так называемых донных осадков. Сравнительная характеристика содержаний рудных элементов в водных пробах и донных осадках часто дает нам дополнительно важные сведения, облегчающие задачу интерпретации водных аномалий.

Камеральные работы необходимы для обработки, анализа и выявления закономерностей получаемых материалов полевых исследований. Обработка фактического материала начинается еще во время полевых

работ. Поэтому камеральные работы можно подразделить на предварительную обработку результатов полевых исследований и окончательную.

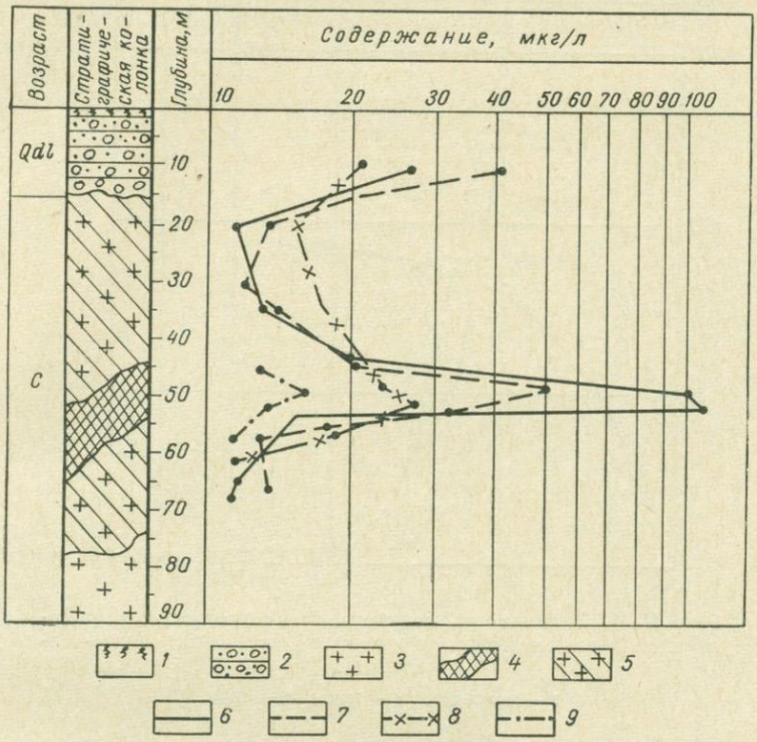


Рис. VI-2. График изменения содержания микроэлементов в подземной воде поисково-разведочной скважины, вскрывшей рудное тело.

1 — почвенный слой; *2* — делювиальные образования; *3* — гранодиорит-порфиры; *4* — сульфидная руда; *5* — зона распространения грунтово-трещинных вод; *6* — содержание меди; *7* — то же цинка; *8* — то же молибдена; *9* — то же серебра.

Камеральные работы в основном сводятся к интерпретации выявленных водных аномалий и написанию полевого и окончательного отчетов.

Отчет иллюстрируется различными графиками, гидрогеохимическими картами и планами, играющими важную роль при интерпретации водных аномалий. Ниже приводится их краткое описание.

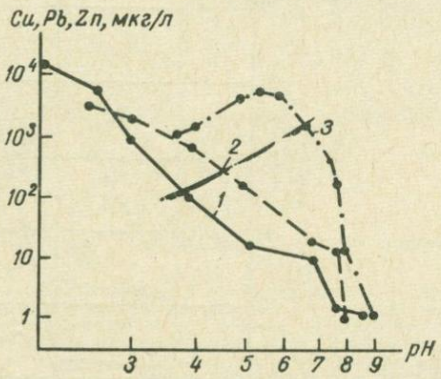


Рис. VI-3. Зависимость содержаний микроэлементов от pH воды.

1 — медь; *2* — свинец; *3* — цинк.

Графики. Для наглядного изображения различных зависимостей и закономерностей при миграции микроэлементов в поверхностных и подземных водах строят разнообразные графики: а) изменения содержания рудных элементов в водах в зависимости от глубины или от расстояния между пунктами отбора проб (рис. VI-1; 2); б) изменения концентрации микроэлементов в зависимости от pH, Ca, Mg, SO_4, Cl, HCO_3, Eh и общей минерализации или электрического сопротивления воды ρ (рис. VI-3; 4); в) вариационные кривые содержания микроэлементов в различных

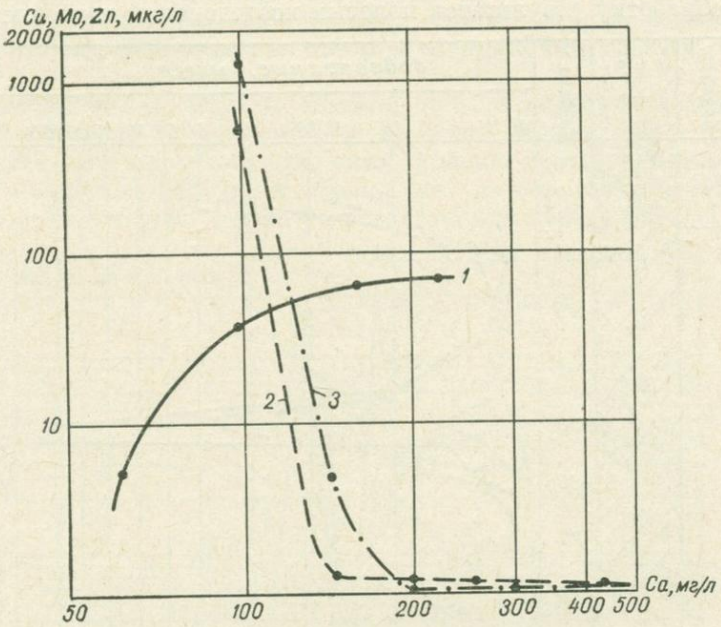


Рис. VI-4. Зависимость содержаний микроэлементов от содержаний кальций-иона в грунтово-трещинных водах Алмалыка.

1 — молибден; *2* — медь; *3* — цинк

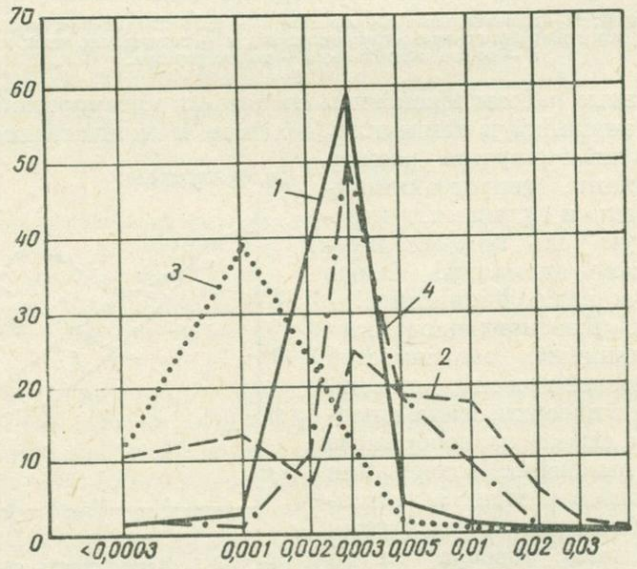


Рис. VI-5. Вариационные кривые содержания микроэлементов в илисто-глинистых отложениях гидросети в краевой зоне Русской платформы.

1 — свинец; *2* — цинк; *3* — медь; *4* — галлий.

водоносных горизонтах и илисто-глинистых отложениях гидросети (рис. VI-5); г) график-квадрат [Толстихин, 1937; Бродский, 1953], раскрывающий взаимосвязь макрокомпонентов и микрокомпонентов, а также позволяющий систематизировать большое количество химических анализов.

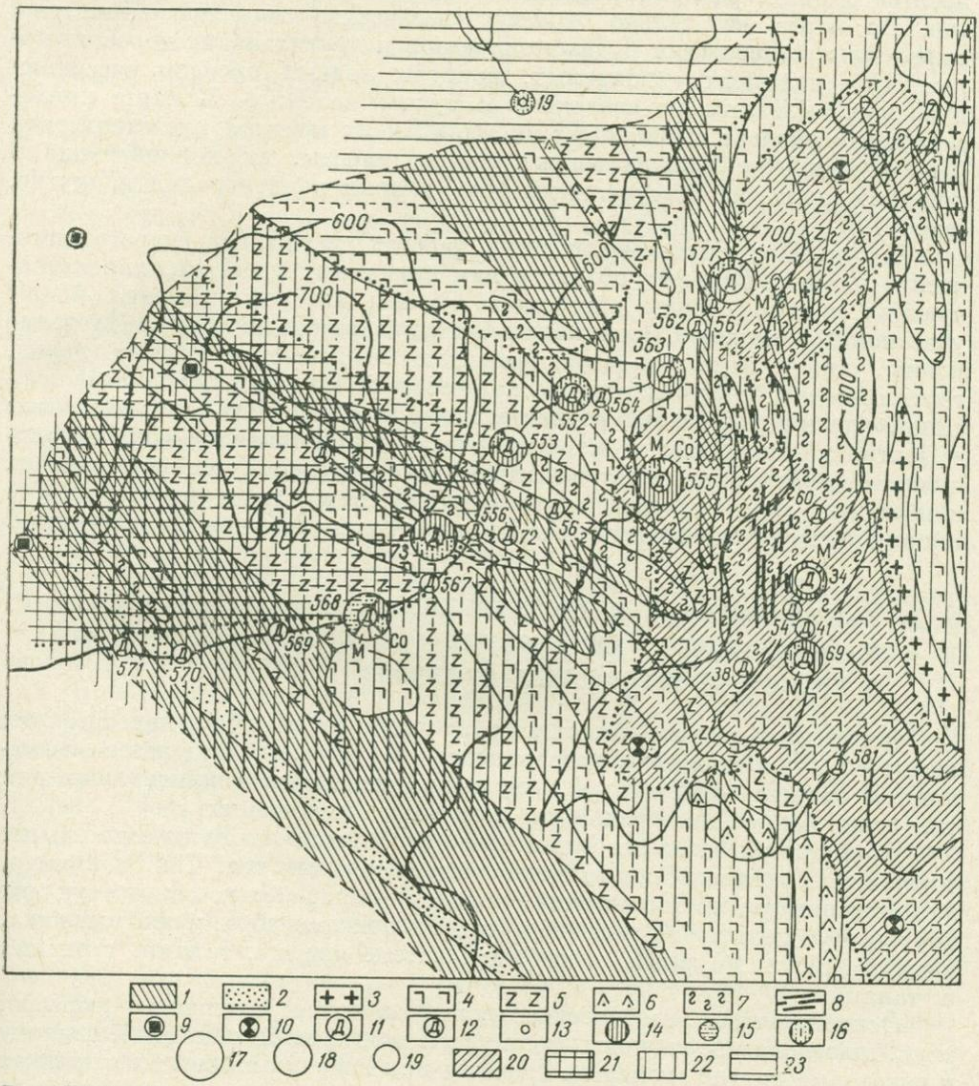


Рис. VI-6. Гидрогеохимическая карта Греховского участка Зыряновского района (Удодов и др., 1962).

1 — глинистые сланцы; *2* — песчаники; *3* — кварцевые альбитофиры; *4* — порфироиды; *5* — туфы и туфосланцы; *6* — порфириты; *7* — кварцево-серицитовые и хлоритовые сланцы; *8* — рудные тела; *9* — точки с медным оруденением; *10* — точки с полиметаллическим оруденением; *11—13* — содержание суммы тяжелых металлов в водах по дитизону: *11* — 0,1 *мг/л* и более, *12* — 0,1—0,01 *мг/л*, *13* — 0,01 *мг/л* и менее; *14—16* — наличие металлов в водах по данным спектрального анализа водных концентратов; *14* — медь, *15* — цинк, *16* — свинец; *17—19* — содержание металлов в водах по данным спектрального анализа водных концентратов: *17* — 0,1 *мг/л* и более, *18* — 0,1—0,01 *мг/л*, *19* — 0,01 *мг/л* и менее; *20—23* — типы природных вод по отношению к зонам минерализаций: *20* — воды полиметаллической зоны минерализации, *21* — воды медной зоны минерализации, *22* — воды потока рассеяния, *23* — воды вне потока рассеяния (воды фона района).

Карты. В настоящее время еще не разработана единая методика составления гидрогеохимических карт. Построение карты зависит от масштаба гидрохимической съемки. На гидрогеохимические карты

различных масштабов необходимо наносить стратиграфию и литолого-петрологические особенности горных пород, слагающих территорию изучаемого района, а также фактический материал, полученный в результате полевых исследований. В зависимости от полученных результатов наносятся данные, раскрывающие закономерности миграции микроэлементов. На карте желательно отразить химические типы подземных вод, выявленные содержания рудных элементов и других индикаторов месторождений полезных ископаемых, контуры водных ореолов рассеяния и водных аномалий, не связанных с рудной залежью. К карте прилагается список всех выявленных аномалий и их краткая характеристика (местонахождение, обнаруженные микроэлементы, их концентрация в пределах аномалий, натуральный фон, кларки концентрации и другие, рис. VI-6).

Планы. При крупномасштабных работах составляют гидрогеохимические планы отдельных объектов или локальных участков, характеризующих водные ореолы рассеяния. Особый интерес вызывают планы участков производства крупномасштабных разведочных работ. На такие планы, кроме литолого-петрологических особенностей горных пород, геохимической и металлогенической обстановки, наносятся гидроизогипсы или гидроизопьезы изученных водоносных горизонтов, величины эффективной мощности и скорости фильтрации подземных вод, коэффициенты диффузионно-фильтрационного распределения микроэлементов, наибольшие концентрации микроэлементов в пределах месторождений и аномальные концентрации рудных элементов в различных водопунктах.

§ 2. Выбор методик и требования к производству химических и химико-спектральных анализов

Отобранные водные пробы из различных водопунктов подвергаются химическому и химико-спектральному анализам. В результате выявляются элементы-индикаторы, служащие поисковыми критериями для того или иного месторождения полезных ископаемых.

Прямыми указателями рудного месторождения являются аномальные содержания металлов, являющихся частью рудных тел. Так, например, для большинства месторождений свинца и цинка, обычно сопутствующих друг другу, характерно наличие в рудных телах серебра, меди, мышьяка, висмута, золота, сурьмы, молибдена, олова, кадмия, галлия, германия и таллия.

Основные типы золотоносных руд кроме золота содержат — серебро, медь, цинк, свинец, мышьяк, сурьму, висмут, иридий, палладий, платину и некоторые другие элементы. Поэтому при гидрогеохимических поисках выбор методик анализов и их чувствительность должны основываться на известных ассоциациях рудных элементов, характеризующих определенные типы рудных месторождений. При этом необходимо учитывать изменения состава рудных элементов в зависимости от металлогенических особенностей различных регионов.

В табл. VI-2 приводится сравнительная характеристика изменения наиболее распространенных рудных элементов полиметаллических руд в зависимости от металлогении некоторых регионов.

Таким образом, в зависимости от металлогенических особенностей регионов месторождения и рудопроявления свинца и цинка могут характеризоваться определенным комплексом наиболее распространенных рудных элементов. Тем самым предопределяется состав металлов в водных ореолах

Таблица VI-2

Сравнительная характеристика состава рудных элементов полиметаллических руд в пределах различных регионов

Регион	Наиболее распространенные рудные элементы полиметаллических руд	Автор
Рудный Алтай	Pb, Sn, Ag, Cu, Bi, Mo, As, Sb, Ba	Г. И. Россман (1957)
Восточное Забайкалье	Pb, Zn, Ag, Sb, As, Sn, Cd	В. В. Поликарпочкин и др. [1958]; С. П. Албул и др. (1962)
Эстония	Pb, Zn, Ag, As, Cu	С. П. Албул и др., (1961)
Кара-Мазар	Pb, Zn, Mo, Bi, Sb, As, Ag, Au, Ni, Sn	Пищерова П. И. (1957); И. А. Клименко, В. К. Скрылев (1963)

рассеяния рудных месторождений, выявляемых при геологопоисковых работах.

Кроме определенного комплекса элементов, водные ореолы рудных месторождений обычно имеют ряд специфических особенностей, выраженных в понижении величины pH, изменении Eh и содержании Fe^{2+} и Mn^{2+}, увеличении сульфат-иона и общей минерализации и электропроводности, изменений в соотношении сульфат- и хлор-ионов, сульфат- и гидрокарбонат-ионов, повышение содержаний кальция и магния и накопление газов, в том числе сероводорода и углекислоты.

Естественно, что выбор методик анализов водных проб и требования к производству химических и спектрохимических анализов будут зависеть в первую очередь от типа месторождений, на которые производятся поиски, и масштаба геологопоисковых работ.

При производстве гидрогеохимических исследований любого масштаба (особенно 1 : 50 000 и мельче) следует в комплекс анализов вводить определение электрического сопротивления водных проб. Впервые такие определения в поисковых целях были произведены геофизиком А. С. Поляковым [1954] на Урале. В результате измерения электрического сопротивления водных проб из поверхностных водопунктов полевым резистивиметром ПРП-1 был оконтурен аномальный участок, в пределах которого было выявлено медноколчеданное рудное тело. В настоящее время для гидрогеохимических поисков месторождений полезных ископаемых в Университете дружбы народов имени Патриса Лумумбы сконструирован малогабаритный полевой резистивиметр на полупроводниках.

Его размеры 100 × 100 × 60 *мм*, вес 400 *г*. Процесс измерения электрического сопротивления весьма прост и на одно определение затрачивает всего лишь 2—3 *мин*. *

§ 3. Интерпретация гидрогеохимических аномалий

Методика интерпретации водных аномалий зависит от масштаба поисково-разведочных работ и в связи с этим от количества и качества получаемых материалов гидрогеохимических исследований. При

* Данный прибор сконструирован на основе полевого резистивиметра ВИТРа, по сравнению с полевым резистивиметром ПРП-1 он почти в четыре раза меньше и легче. Описание его дано в работе С. П. Албула, И. А. Клименко, М. Х. Фаталиева. Полевой резистивиметр ВИТР-УДН. Сб. «Вопросы формирования химического состава подземных вод», изд. МГУ, 1963.

Таблица VI-3

Геохимические критерии природных окислительно-восстановительных обстановок в подземной гидросфере (по А. В. Щербакову)

Главнейшие типы структурно-гидрогеологических обстановок			Геохимическая обстановка	Геохимические критерии				
				основные			вспомогательные	
Тектонические	Геологические	Гидрогеологические		Eh, *мв*	O_2, *мг/л*	H_2S, *мг/л*	Fe^{2+}, *мг/л*	Mn^{2+}, *мг/л*
Центральные части горно-складчатых областей	Области, сложенные преимущественно магматическими и метаморфическими породами без наличия основных восстановителей (сероводорода и реагирующего органического вещества). Сероводородные геохимические обстановки встречаются локально и связаны с наличием тектонических разломов и действующих (или недавно угасших) вулканов	Гидрогеологические массивы	А. Окислительная:					
			резкоокислительная	Свыше +250	3,5—14,0	Нет	Нет	Нет
			слабоокислительная	От +250 до 0	<3,5	»	Мало	Мало
			Б. Окислительно-восстановительная (кислородно-сероводородная)	То же	<1,0	<10	<25	<0,5
			В. Восстановительная:					
			слабовосстановительная (бескислородная)	От 0 до —100	Нет	Нет	<500	<15
			нормально-восстановительная (сероводородная)	От —10 до —150	»	<50	<20	<5
Платформенные области, области предгорных и межгорных впадин	Области, сложенные преимущественно мощными толщами нормально-осадочных пород с наличием основных восстановителей (сероводорода и реагирующего органического вещества). Водовмещающие породы в окислительной обстановке часто крайне бедны органическим веществом, которое успевает окислиться до CO_2 за счет, главным образом, растворенного в воде кислорода	Артезианские склоны и бассейны	А. Окислительная:					
			резкоокислительная	Свыше +250	>3,5	Нет	Нет	Нет
			слабоокислительная	От +250 до 0	<3,5	»	Мало	Мало
			Б. Окислительно-восстановительная (кислородно-сероводородная)	То же	<1,0	<10	<25	<0,5
			В. Восстановительная:					
			слабовосстановительная (бескислородная)	От 0 до —100	Нет	Нет	10—1000 и более	<75
			нормально-восстановительная (сероводородная)	От —10 до —150	»	10—50	<20	<5
			резковосстановительная	От —150 до —550 и ниже	»	50—2000 и более	Нет или мало	Нет или мало

мелкомасштабных работах интерпретация данных исследований обычно носит описательный характер — метод широко используемый в геологической практике. При крупномасштабных поисково-разведочных работах, кроме общепринятой методики обработки геологических материалов, рекомендуется привлекать расчетные схемы, описывающие диффузионно-фильтрационное распределение микроэлементов в подземных водах.

При интерпретации гидрогеохимических аномалий решается основной вопрос поисковых работ о связи этих аномалий с рудной залежью. На основе химических и спектрохимических анализов устанавливаются фоновые и ореольные значения концентраций отдельных микроэлементов. На изменение концентрации микроэлементов в водной среде, кроме вещественного состава водовмещающих пород и химического состава подземных вод, оказывает сильное влияние характер геохимической обстановки. Для выделения зон, характеризующихся различной геохимической обстановкой, следует пользоваться рекомендациями, приведенными в табл. VI-3.

Форма водных аномалий различна и зависит от многих причин. Большое влияние на их форму оказывают рельеф местности и наличие очагов разгрузки на земную поверхность или в грунтовые воды, напорных вод глубоких горизонтов, имеющих восстановительную обстановку. В этом случае аномальные участки могут иметь самые различные формы (кольцевидные, овально-вытянутые, пережатые и др.) обычно с расплывчатым контуром.

Часто при наличии тектонических нарушений, захватывающих рудную залежь, форма аномальных участков может совпадать с контуром разрывных нарушений, образуя вытянутую аномалию вдоль сбросов или надвигов. Их форма может резко меняться в случае, когда две разные геохимические обстановки частично совмещаются. Это обычно возникает в пределах тектонических разломов.

Аномальные участки по форме своей могут иногда отражать конфигурацию рудной залежи, которая часто разнообразна и непостоянна. Это характерно для геохимической зоны, где преобладает восстановительная обстановка и наблюдается замедленное движение подземных вод. Здесь, как правило, отсутствуют отчетливо выраженные ореолы рассеяния месторождений по направлению движения подземного потока.

При интерпретации водных аномалий надо иметь в виду возможное оконтуривание участков, не связанных с месторождением полезных ископаемых.

При крупномасштабных поисково-съемочных работах, как уже отмечалось, дополнительно к описательной интерпретации гидрогеохимических исследований мелкого масштаба, следует привлекать расчетные формулы. Крупномасштабные геологопоисковые работы всегда сопровождаются буровыми скважинами и горными выработками. В этих выработках можно определить ряд параметров, входящих в расчетные формулы, учитывающие динамику гидрохимического процесса.

По П. А. Удодову и Ю. С. Парилову (1961), миграционная способность элемента оценивается по формуле

$$A = \frac{B \cdot 10^{-4}}{C}, \qquad \text{(IV-1)}$$

где A — показатель миграционной способности элемента;
B — среднее содержание элемента в воде, *мг/л*;
C — кларк элемента, по А. П. Виноградову;
10^{-4} — коэффициент перевода содержания элемента из миллиграммов на литр в проценты к весу воды.

На примерах Рудного и Горного Алтая, Кузнецкого Алатау, Горной Шории и других районов Западной Сибири к группе хорошо мигрирующих элементов авторы относят As, Ag, (Mo), (Cd), Zn, Cu, (P), Sb, Pb [для этих элементов $A = (1 \div 10) \cdot 10^{-4}$]; к группе слабомигрирующих: Bi, Cr, Be, Ni, Co, V, W, Mn [$A = (0{,}1—0{,}9) \cdot 10^{-4}$] и к группе весьма слабо мигрирующих отнесены: Ba, Ti, Sn, (Sr), Zr [$A = (0{,}01—0{,}09) \cdot 10^{-4}$].

Соответственно группам находятся расстояния, на которые переносятся эти элементы от зон минерализации. Потоки рассеяния элементов первой группы в условиях химически неактивных горных пород и подземных вод достигают 1000—1200 *м*, а потоки с элементами второй группы — до 500 *м*.

По Е. Е. Беляковой и др. [1962], миграционная способность элемента оценивается по формуле

$$K_м = РКГ \frac{n}{N} v, \qquad (VI\text{-}2)$$

где $K_м$ — коэффициент водной миграции, % *м/ч*;
РКГ — региональный кларк гидросферы для данного элемента, % к сумме минеральных веществ;
n — концентрация элемента в минеральном остатке воды, %;
N — среднее содержание элемента в породах или рудах, %;
v — скорость фильтрации, *м/ч*; ($v = Ki$, где K — коэффициент фильтрации, *м/ч*, i — уклон поверхности подземного потока).

Региональный кларк гидросферы РКГ рассчитывается для каждого элемента по формуле

$$РКГ = \frac{M_э \cdot 100}{M}, \%, \qquad (VI\text{-}3)$$

где M — общее количество минеральных веществ в воде данной провинции или района, *мг*;
$M_э$ — общее количество данного элемента в той же воде, *мг*.

Региональное среднее содержание элемента в водах вычисляется по формуле

$$A_{ср} = \frac{M_{ср} РКГ}{100}, \qquad (VI\text{-}4)$$

где $A_{ср}$ — региональное среднее содержание элемента в водах, *мг/л*;
$M_{ср}$ — региональная средняя минерализация природных вод, *мг/л*;
РКГ — региональный кларк гидросферы, %.

Формулы (VI-2)—(VI-4) не имеют математического обоснования и недостаточно отражают гидрогеохимическую обстановку зоны гипергенеза (Удодов и др., 1963).

По формуле С. П. Албула [1963], если известны параметры водоносного горизонта, скорость движения подземных вод, концентрация и диффузионная способность данного элемента, можно приближенно определить расстояние от аномального водопункта до рудной залежи

$$L = 0{,}77 \frac{h^2 v}{D} \lg \frac{C_0}{C_0 - C}, \qquad (VI\text{-}5)$$

где L — расстояние от аномального водопункта до рудной залежи, *м*;
h — эффективная мощность водоносного горизонта, *м*;
v — действительная скорость подземного потока, *м/сутки*;
D — коэффициент диффузии данного элемента, *м/сутки*;
C_0 — максимальная концентрация элемента, образующаяся под влиянием рудной залежи, *мкг/л*;
C — концентрация элемента в аномальном водопункте, *мкг/л*.

Формула (VI-5) справедлива для случая, когда в основании подземного потока залегает рудная залежь. Если рудная залежь под подземным потоком отсутствует, тогда формула приобретает вид *:

$$L = 0{,}12 \frac{h^2 v}{D} \lg \frac{C_0}{C_0 - C}, \qquad \text{(VI-6)}$$

где все обозначения прежние.

Приближенное определение L — расстояния от аномального водопункта до рудной залежи — можно произвести по формуле (VI-7), учитывающей боковую диффузию, и a — половину длины поперечного сечения рудного тела (Албул, 1965).

$$C = C_0 \operatorname{erf} \left(\frac{a}{2\sqrt{\frac{D}{v} L}} \right). \qquad \text{(VI-7)}$$

Из приведенных формул видно, что вопросы динамики гидрохимического процесса, во многом определяемой миграционной способностью элементов в земной коре, находятся в начальной стадии разработки. Поэтому интерпретация гидрогеохимических поисков по существу сводится к качественному анализу фактического материала **.

Эта интерпретация производится в целях: 1) установления гидрогеохимических поисковых признаков месторождений; 2) выявления и оконтуривания участков водных аномалий; 3) выявления природы водных аномалий; 4) установления пространственной связи водных аномалий с возможным местоположением рудных тел; 5) оценки перспективности гидрогеохимических аномалий и организации их дальнейшего изучения.

Для установления гидрогеохимических поисковых признаков весьма важным является выяснение фоновых значений компонентов минерализации. Выделяются следующие методы установления гидрогеохимических признаков и выяснения фоновых значений химических элементов: а) сравнение величин содержания компонентов минерализации в близко расположенных водоисточниках (метод сравнивания), б) составление вариационных кривых; в) составление вертикальных колонок (метод ТПИ); г) составление гидрогеохимических профилей; д) вычисление средних фоновых содержаний; е) анализ фоновых и аномальных содержаний компонентов, полученных при производстве гидрогеохимических поисков в районе с аналогичными или близкими природными условиями (метод аналогий); ж) обследование одного или нескольких известных в исследуемом районе месторождений (метод известного месторождения). Указанные методы имеют свои преимущества и недостатки. Часто в практике гидрогеохимических поисков привлекают сразу несколько методов.

После выявления отдельных точек и участков, характеризующихся аномальными значениями тех или иных гидрогеохимических поисковых признаков, приступают к оконтуриванию этих аномалий.

Контуры отдельных аномалий проводятся вблизи водопунктов с аномальным значением гидрогеохимических поисковых признаков. Оконтуриванию подлежат поля и отдельные гидрогеохимические аномалии внутри и вне этих полей.

Выделенные аномалии могут быть безрудными искусственными, безрудными природными и рудными.

Выявление природы гидрогеохимических аномалий сводится в основном к анализу геологического строения, гидрогеохимических условий,

---

* Формулы (VI-5) — (VI-7) недостаточно проверены практикой, пользование ими ограничивается трудностью определения некоторых параметров, входящих в эти формулы.

** Ниже вопросы интерпретации излагаются по А. А. Бродскому (1963).

геохимической обстановки и климатических факторов изучаемой территории. Одним из главных признаков рудной гидрогеохимической аномалии является большой комплекс компонентов минерализации с повышенной концентрацией химических элементов, входящих в состав того или иного месторождения.

Пространственное соотношение этих гидрогеохимических аномалий с месторождениями полезных ископаемых может быть различно. Возможны следующие соотношения: а) площадь месторождения находится внутри контура гидрогеохимической аномалии или в непосредственной близости от нее; б) месторождение расположено у верхней (по отношению к направлению современного стока) границы гидрогеохимической аномалии; в) месторождение отделено от водных аномалий участками распространения фоновых вод.

Таким образом, перспективные для дальнейших поисков площади могут совпадать и не совпадать с площадями гидрогеохимических аномалий или занимать лишь определенную часть ее.

§ 4. Гидрогеохимический метод поисков рудных месторождений

Гидрогеохимический метод поисков рудных месторождений широко внедряется в общий комплекс геологопоисковых работ и применим при поисках различных промышленных типов месторождений. Е. А. Сергеев (1946) в 1942 г. на Рудном Алтае впервые провел исследования в связи с гидрогеохимическими поисками полиметаллических месторождений.

Гидрогеохимический метод поисков применяется для следующих промышленных типов рудных месторождений [Крейтер, 1960]: 1) черные металлы и металлы их сплавов — титан, марганец, хром, никель, кобальт, молибден, ванадий; 2) цветные металлы — медь, свинец, цинк, ртуть, сурьма, висмут; 3) драгоценные металлы — золото, серебро; 4) редкие и рассеянные элементы — бериллий, ниобий, литий, цирконий, цезий, германий, таллий, кадмий, рубидий, галлий.

Для некоторых промышленных типов рудных месторождений (вольфрам, олово, платина, скандий, теллур, индий и другие) применение гидрогеохимического метода пока затруднительно из-за отсутствия чувствительных, точных и производительных методов анализов водных проб на отдельные химические элементы, входящие в состав этих типов месторождений.

Вне зависимости от многообразия природных условий, влияющих на миграцию микроэлементов в водной среде, можно считать установленным, что каждый промышленный тип рудных месторождений при взаимодействии с подземной водой создает в ней гидрогеохимический ореол рассеяния, характеризующийся определенным типоморфным комплексом микроэлементов.

Рудные элементы, обнаруженные в гидрогеохимической аномалии, являются прямыми признаками рудной залежи. Однако сделать вывод о промышленной ценности рудной залежи, изменяющей химический состав природных вод, затруднительно, для этого требуется привлечение других методов геологопоисковых работ.

Для оценки водной аномалии, кроме прямых признаков рудной минерализации, привлекаются косвенные показатели. К ним обычно относятся повышение содержания сульфат-иона и общей минерализации воды, пони-

жение значения pH, закономерности в изменении содержания Eh, повышение коэффициентов $\frac{SO_4}{Cl}$ и $\frac{SO_4}{HCO_3}$, понижение электропроводимости, изменение в соотношении $\frac{Mg}{Ca}$.

§ 5. Гидрогеохимический метод поисков радиоактивных руд*

За последние годы накоплен большой фактический материал о радиоактивности природных вод. Концентрация радиоактивных элементов в различных водах варьирует в пределах от $n \cdot 10^{-8}$ до $n \cdot 10^{-2}$ *г/л* для урана, от $n \cdot 10^{-14}$ до $n \cdot 10^{-8}$ *г/л* для радия и от единицы до сотен тысяч эман для радона. Характерной чертой радиоактивных природных вод является отсутствие в них радиоактивного равновесия между ураном, радием и радоном.

Для отнесения вод к радиоактивным принимаются следующие пределы содержания в них радиоактивных элементов**: $U > 5 \cdot 10^{-5}$ *г/л*; $Ra > 5 \cdot 10^{-11}$ *г/л*; $Rn > 10$ *эман*.

Радиоактивные воды делятся на следующие три группы в зависимости от преобладания в их составе того или иного радиоактивного элемента: урановые, радиевые и радоновые [Токарев, Щербаков, 1956]. Эти группы соответствуют водам простого радиологического состава. Кроме того, существуют воды сложного радиологического состава (урано-радоновые, урано-радиевые и радоно-радиевые).

Урановые воды известны, в основном, в засушливых районах юга СССР в бессточных озерах и маловодных ручьях, а также в пределах зоны интенсивного обмена подземных вод.

Имеются озера и ручьи, где вследствие испарения количество урана может достигать $5 \cdot 10^{-4}$ *г/л*. Содержание радия в таких водоемах и водостоках вследствие адсорбционных процессов незначительно ($n \cdot 10^{-12}$ *г/л*).

В зоне интенсивного водообмена наиболее ярко проявляется обогащение вод ураном, которое обусловлено выщелачиванием этого элемента из пород с нормальным кларком. При этом фоновые концентрации урана в водах растут с повышением кларка в породах. Водные аномальные содержания урана связаны с растворением ураносодержащих акцессорных или вторичных урановых минералов, содержащихся на отдельных участках горных пород в повышенных количествах. Обогащения вод этой зоны радием не происходит вследствие слабой минерализации вод и быстрой их циркуляции.

Радиевые воды имеют широкое распространение среди осадочных и метаморфических пород. Они формируются в закрытых структурах, характеризующихся наличием высокоминерализованных вод и рассолов хлорнатриевого или хлорнатриево-кальциевого типа, а также повышенным содержанием Br, J, Sr, Ba, B и других; их степень минерализации доходит до 300 *г/л* и более. Радиевые воды образуются за счет радия, выщелачиваемого из пород с нормальным рассеянным содержанием радиоактивных элементов. Содержание радия в них колеблется, примерно, от $5 \cdot 10^{-10}$ до $n \cdot 10^{-9}$ *г/л*. Другие радиоактивные элементы присутствуют в радиевых водах в незначительных количествах: уран от $n \cdot 10^{-8}$ до $n \cdot 10^{-10}$ *г/л*, радон

---

* В геологической практике широко пользуются термином «радиогидрогеологические исследования».

** Границей между радиоактивными и нерадиоактивными водами принята предельно допустимая концентрация радиоактивных веществ (урана, радия и радона) для вод питьевого водоснабжения.

от 1 до 9—10 *эман*. Последнее связано с крайне замедленной циркуляцией подземных вод в закрытых структурах.

Радоновые воды распространены главным образом в коре выветривания кислых магматических и осадочно-метаморфических пород с повышенным содержанием радиоактивных элементов. Образование природных вод этой группы зависит от двух основных факторов: содержания радия в горных породах и коэффициента эманирования. Процесс эманирования происходит по закону диффузии, он не зависит от химического состава вод и не связан с переходом в воду радия.

Высокие содержания радона в подземных водах могут наблюдаться в следующих случаях:

а) при высоком коэффициенте эманирования, обусловленном интенсивной трещиноватостью и тектонической раздробленностью пород;

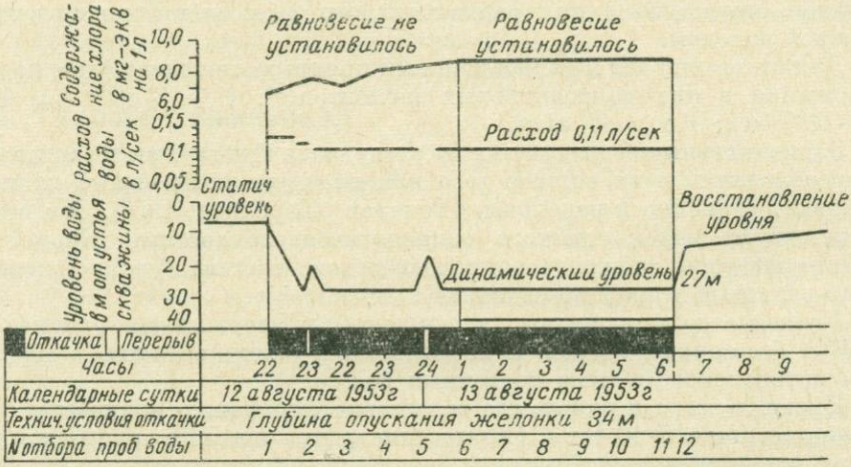


Рис. VI-7. График опытных откачек воды из поисковой скважины для установления гидрохимического равновесия [Токарев, Щербаков, 1956].

б) при наличии в породах рудных концентраций урана;

в) при вторичной обогащенности пород радием в результате сорбционных процессов.

Даже при весьма высоких коэффициентах эманирования в зонах тектонических нарушений содержание радона в водах кислых магматических пород (гранит, пегматит и др.) не превышает 100—150 *эман*, и лишь на отдельных участках, обогащенных акцессорными радиоактивными минералами, достигает 350—400 *эман*.

При вторичном обогащении пород радием в результате сорбции его на стенках водопроводящих трещин или в осадках, выпадающих из вод (травертины, лиманиты и др.), могут создаваться весьма сильно эманирующие коллекторы, что приводит к значительному обогащению вод радоном (до 2500—3000 *эман*).

При наличии рудных концентраций урана содержание радона в омывающих их водах может достигать десятков тысяч эман. Вместе с тем надо отметить, что воды урановых месторождений осадочного происхождения (буроугольных, урано-ванадиевых, сланцевых, битумных), наряду с повышенным содержанием урана и радия, характеризуются малым содержанием радона (обычно менее 50 *эман*). В пробах воды, отобранных из самоизливающейся скважины или в процессе откачки со значитель-

ными понижениями уровня, отмечаются иногда повышенные концентрации радона (до 1200—1500 *эман*).

Воды сложного радиологического состава (урано-радоновые, урано-радоно-радиевые, радоно-радиевые) чаще всего связаны с урановыми оруденениями и отличаются высоким содержанием радиоактивных элементов (радона до 200 тыс. *эман*, радия до $n \cdot 10^{-8}$ *г/л* и урана до $n \cdot 10^{-2}$ *г/л*).

Радиогидрогеологические исследования в связи с поисками месторождений радиоактивных руд характеризуются определенной спецификой. Эти исследования производятся с таким расчетом, чтобы можно было охарактеризовать в отношении радиоактивности подземные воды различных литолого-стратиграфических комплексов, находящихся в различных геолого-структурных условиях. При этом определяется натуральный фон и выявляются водные ореолы рассеяния радиоактивных руд. Для определения оптимального времени откачки пользуются контрольными химическими графиками (рис. VI-7), которые составляются в процессе опробования скважин. Только после установления гидрогеохимического равновесия производится отбор воды для радиохимического и общего анализа. В водных пробах обычно определяются уран, радий и радон Eh, pH, ρ, O_2, H_2S, Fe^{2+}, Mn^{2+} и др.

§ 6. Гидрогеохимические методы поисков нерудных месторождений

Гидрогеохимический метод поисков соляных месторождений. Н. С. Курнаков, основываясь на изучении природных вод района Соликамска, выявил повышенное содержание калия в рассолах соляных варниц и сделал вывод о возможном наличии коренного месторождения калийных солей. Этот вывод, как известно, полностью подтвердился.

К гидрогеохимическим поисковым признакам соляных месторождений М. Г. Валяшко [1939, 1950] относит: а) повышение общей минерализации воды, б) изменение коэффициентов: $\frac{K^+}{Cl^-}$; $\frac{Mg^{2+}}{Cl^-}$; $\frac{B_4O_7^{2-}}{\sum \text{солей}}$ и $\frac{Cl^-}{Br^-}$; в) повышение в сухом остатке содержания Na и K; г) для галитовых месторождений резкое повышение коэффициента $\frac{Cl^-}{Br^-}$; д) для калийных месторождений высокое значение $\frac{K^+ \cdot 10^3}{\sum \text{солей}}$; $\frac{K^+ 10^3}{Cl^-}$ и понижение коэффициента $\frac{Cl^-}{Br^-}$; ж) изменение содержания лития, рубидия, стронция и других микроэлементов.

Так, например, по данным М. Г. Валяшко [1950], в водах, омывающих месторождения галита, коэффициент $\frac{Cl^-}{Br^-}$ может достичь 20 000, для месторождений сильвинитов этот коэффициент уменьшается до 1000, а для карналлитов или погребенных маточных рассолов до 400.

Месторождение калийных солей хорошо фиксируется высокими значениями коэффициентов $\frac{K^+ \cdot 10^3}{\sum \text{солей}}$ и $\frac{K^+ \cdot 10^3}{Cl^-}$. Эти гидрогеохимические признаки соляных месторождений позволили открыть такие крупные калийные месторождения, как Верхнекамское и Индерское, и указать на перспективность наличия соляных месторождений в Урало-Эмбенском районе, Прикарпатье и Белоруссии.

Характерной особенностью района калийных месторождений будет являться наличие хлормагниевых вод, а для месторождений каменной соли хлорнатриевых вод.

Гидрогеохимический метод поисков самородной серы. Одной из наиболее важных особенностей серных месторождений является их пространственное тяготение к нефтегазоносным районам *.

На многих серных месторождениях отмечается нефте- и газопроявление, а сами сероносные породы содержат остаточные продукты метаморфизации и выветривания нефти (озокерит, тиокерит, арвазит и др.).

К гидрогеохимическим поисковым признакам серных месторождений относятся по существу все гидрохимические поисковые критерии для нефтегазовых месторождений. Однако подземные воды серных месторождений характеризуются рядом гидрохимических особенностей, которые необходимо учитывать при поисках [Пересунько, 1959].

На серных месторождениях наблюдается определенная пластовая вертикальная гидрохимическая зональность. В зоне со свободной поверхностью уровня распространены сернокислотные воды, величина pH которых изменяется от 3 до 5. Эти воды характеризуются содержанием свободной серной кислоты в количестве свыше 3,5 *г/л* и полным отсутствием гидрокарбонатов.

Зона сернокислых вод сменяется последовательно водами сульфатно-натриевого, затем хлормагниевого и хлоркальциевого состава **. Смена типов вод сопровождается резким увеличением их минерализации.

Мощность зоны кислых вод не превышает 1—2 *м*, сульфатно-натриевых — нескольких десятков метров, а хлормагниевые и хлоркальциевые воды прослеживаются на большие глубины.

Одной из характерных особенностей подземных вод серных месторождений является их насыщенность сероводородом, концентрации которого в различных сероносных провинциях изменяются в пределах от нескольких десятков до 1500 *мг/л*.

Все серные месторождения характеризуются отсутствием гидрокарбонатно-натриевого и наличием сульфатно-натриевого типа вод, но не на всех из них присутствуют все перечисленные выше гидрохимические зоны и типы вод. На некоторых месторождениях, преимущественно платформенного типа (например, отдельные предкарпатские месторождения), распространен только сульфатно-натриевый тип вод.

Минерализация подземных вод на различных серных месторождениях изменяется в широких пределах — от 4—6 до 250 *г/л*.

Гидрогеохимический метод поисков месторождений бора. Бор в природных условиях обычно мигрирует в виде комплексных анионов — BO_3^{3-}, $B_4O_7^{2-}$ и др., а также в виде полиборных кислот и, в частности, ортоборной кислоты — H_3BO_3.

Основные гидрогеохимические поисковые признаки месторождений бора [Крайнов, 1964] приводятся в табл. VI-4.

Концентрация бора в водном ореоле рассеяния зависит от широтной зональности грунтовых вод. Так в зоне выщелачивания [Каменский, 1947], где грунтовые воды имеют минерализацию обычно до 500 *мг/л*, фоновое содержание бора, в основном, не превышает 100 *мкг/л*. В то же время в зоне континентального засоления в грунтовых водах с минерализацией, достигающей до 200—300 *г/л*, фоновое содержание бора обычно увеличивается до $2 \cdot 10^4$—$1 \cdot 10^5$ *мкг/л*. Причем в этой зоне водные ореолы рассеяния месторождений бора имеют слабую контрастность и ограниченные размеры, а в зоне грунтовых вод выщелачивания водные ореолы рассеяния имеют значительную протяженность и контрастность. Интерпретация гидрогео-

---

* Отмечается также приуроченность серных месторождений к районам крупного соленакопления.

** Наименование типа вод принято по классификации В. А. Сулина.

Таблица VI-4

Гидрогеохимические поисковые признаки месторождения бора

Месторождение бора		Гидрогеохимические поисковые признаки		
Минералогический тип	Промышленный тип	Химические элементы	Содержание бора, *мкг/л*	Размеры водного ореола, *км*
Гипергенный	Галогено-осадочный	B, F, K, Li (?)	До $4 \cdot 10^5$	От 0,2—0,3 до 5—10
	Вулканогенный	B, K, As, Sb, NH_4, Li, F		
Гипогенный	Бораты в магнезиальных скарнах	B, F, Cu, Zn, As	До $5 \cdot 10^3$	
	Боросиликаты в известковых скарнах	B, Cu, Zn, As, Hg, Pb		

химических ореолов рассеяния месторождений бора в аридных областях из-за слабой контрастности, а также из-за наличия «борного засоления» почв более затруднительна. Поэтому при интерпретации водных аномалий здесь шире привлекаются различные коэффициенты, в том числе коэффициенты $\frac{B}{Cl}10^4$; $\frac{B_2O_3}{Cl}10^4$; $\frac{B}{M}10^4$; $\frac{B_2O_3}{M}10^4$, где M — минерализация воды. Эти коэффициенты предложены А. П. Виноградовым (1944) и М. Г. Валяшко (1962). Кроме того, при интерпретации водных ореолов также привлекаются коэффициенты $\frac{Cl}{Br}$; $\frac{Na}{Cl}$; $\frac{SO_4}{Cl}$.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИДРОГЕОЛОГИИ

ГЛАВА VII

§ 1. Геофизические методы, применяемые в гидрогеологии

В гидрогеологии в настоящее время широко применяются геофизические методы для решения разнообразных задач. Их применение основывается на использовании естественных и искусственно созданных физических полей. В разведочной геофизике используются магнитное и гравитационное поле Земли, естественное и искусственно созданные электромагнитные поля, поля упругих колебаний, термические поля Земли, поля ореолов рассеяния элементов и другие. По названию этих полей получили название отдельные геофизические методы: магниторазведка, гравиразведка, электроразведка, сейсморазведка, термометрия, физико-химические методы и другие. Как отдельный метод принято выделять буровую геофизику, основанную на изучении тех же полей в скважинах.

Для решения геологоразведочных и гидрогеологических задач с помощью геофизических методов необходимо наличие разницы в физических свойствах (магнитных, электрических, упругих, радиоактивных, плотности и др.) искомого объекта и вмещающих его пород. Эта разница в свойствах проявляется в виде отклонения изучаемого поля от нормального или, как говорят, в виде геофизических аномалий. Выявление аномалий и их правильное геологическое истолкование — основная цель геофизических исследований.

Коротко остановимся на сущности геофизических методов и их применении для решения конкретных задач в гидрогеологии и инженерной геологии.

Магниторазведка

Применение магниторазведки основывается на использовании магнитного поля Земли. Последнее в каждой точке пространства характеризуется вектором T или его проекциями на оси координат: Z — проекция на ось OZ, H — проекция на горизонтальную плоскость. Проекции Z и H, а также углы склонения D и наклонения I принято называть элементами (составляющими) магнитного поля.

Единицей измерения поля T и его составляющих Z и H является эрстед (*э*). На практике используются более мелкие единицы — миллиэрстед (*мэ*) и гамма (γ); $Iэ = 10^3$ *мэ* $= 10^5$ γ. Чаще всего измеряются составляющие Z и H, для чего используются самые разнообразные приборы: 1) приборы с постоянным магнитом (М-1 и М-2), 2) приборы с магниточувствительным элементом (М-17, T и Z-аэромагнитометры и др.); 3) индукционные и ядерно-резонансные приборы.

Под воздействием поля Земли T различные горные породы намагничены по-разному. Степень намагниченности — магнитные свойства — характеризуются двумя величинами: магнитной восприимчивостью — $\varkappa$ и остаточной намагниченностью — J_n (реже индуцированной намагниченностью — J_i). Наличие разницы в магнитных свойствах различных горных пород дает возможность широко применять этот метод при геологическом картировании, в том числе и при проведении гидрогеологической и инженерно-геологической съемок разных масштабов. Изредка магниторазведка применяется для картирования разрывных тектонических нарушений и трещинных зон.

Гравиразведка

В гравиразведке используется поле силы тяжести (гравитационное поле) Земли g. Силу тяжести на поверхности Земли принято измерять ускорением свободно падающего тела (ускорением силы тяжести). Единицей измерения в системе СГС является гал (*гал*); 1 гал = 1 *см/сек*^{2}. Обычно на практике используют более мелкую единицу — миллигал (*мгл*); 1 *мгл* = = 0,001 *см/сек*^{2}. Среднее значение силы тяжести на Земле равно 981 *гал*. Математически сила тяжести представляет собой первую производную гравитационного потенциала, т. е. $g = \frac{\partial u}{\partial n} = \frac{\partial u}{\partial z}$. В практике, кроме измерений силы тяжести, нашли использование измерения градиентов силы тяжести вдоль каких-либо направлений. Математически градиент силы тяжести представляет собой

$$W_{xz} = \frac{\partial g}{\partial x} = \frac{\partial^2 u}{\partial x\, \partial z}$$

(условное обозначение градиента) и

$$W_{yz} = \frac{\partial g}{\partial y} = \frac{\partial^2 u}{\partial y\, \partial z}.$$

Полный горизонтальный градиент силы тяжести

$$G = \sqrt{W_{xz}^2 + W_{yz}^2}.$$

Градиенты силы тяжести имеют размерность и показывают, на какую величину возрастает сила тяжести на единицу длины в заданном направлении. За единицу измерений градиентов силы тяжести принят этвеш (*е*), что соответствует изменению силы тяжести на 0,1 *мгл* на 1 *км*, или в системе СГС $1 \cdot 10^{-9}$ *гал* на 1 *см*.

При проведении гравиразведочных работ измеряют либо силу тяжести, либо градиенты силы тяжести. Измеренные значения сравниваются с нормальными, теоретически вычисленными. Полученная разница с учетом различных поправок представляет собой аномалию, величина которой тем больше, чем больше разница в плотности искомого объекта и вмещающих его образований. Для полевых измерений используются приборы трех типов: 1) маятниковые — для измерения абсолютных значений силы тяжести, 2) гравиметры — для измерения относительных изменений силы тяжести (ГАК-3М, ГАК-ВМ, ГАК-ПТ и др.) и 3) гравитационные вариометры и градиентометры — для измерения вторых производных гравитационного потенциала (вариометры S-20, Z-40 и градиентометр ГРБМ-2).

Гравиразведка широко применяется при тектоническом районировании, при решении структурно-геологических задач и при поисках и

разведке месторождений полезных ископаемых. В гидрогеологии и инженерной геологии гравиразведка с успехом используется для картирования складчатых структур и крупных тектонических нарушений при проведении съемок, иногда при поисках погребенных речных долин.

Электроразведка

В электроразведке используются как естественные, так и искусственные электромагнитные поля постоянного и переменного тока.

Естественные электрические поля постоянного тока могут возникать в ходе разных природных процессов: окислительно-восстановительных (электрохимических), происходящих на границе электронных проводников с окружающими их ионными растворами, фильтрационных и диффузионных. По наличию естественных электрических полей судят об объекте, их вызывающем, и происходящих в нем и в окружении его процессах.

Переменные во времени естественные электрические поля принято называть полями теллурических токов (поля ТТ). Распределение поля ТТ будет зависеть от геологического строения района: токи будут концентрироваться в хорошопроводящих объектах и обтекать плохопроводящие. Регистрация такого явления служит характеристикой геологического строения.

Искусственные электрические поля постоянного тока создаются путем пропускания электрического тока I через два заземления на поверхности земли. С помощью двух других заземлений, расположенных обычно в средней части и на одной прямой линии с первыми, измеряется падение напряжения ΔU. По измеренным величинам ΔU и I по формуле $\rho_к = K \frac{\Delta U}{I}$ определяется величина удельного электрического сопротивления горных пород; в приведенной формуле величина K — коэффициент установки, зависящий от расстояний и взаимного расположения четырех вышеуказанных заземлений. Если измерения проводятся в среде однородной, то найденное значение будет истинным удельным электрическим сопротивлением среды. При измерениях над неоднородной средой будем получать так называемое кажущееся удельное электрическое сопротивление $\rho_к$ горных пород $\left(\rho_к = K \frac{\Delta U}{I}\right)$. За единицу измерений ρ и $\rho_к$ принят 1 *ом-метр* (*ом·м*).

Методы исследований, основанные на изучении распределения в пространстве кажущегося сопротивления, называются методами сопротивления. К их числу относятся методы вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), дипольных электрических зондирований (ДЭЗ), а также методы симметричного (СП), комбинированного (КП), и дипольного (ДП) электропрофилирования и срединных градиентов (АВ). Во всех вышеперечисленных методах сравнивается характер распределения $\rho_к$ по профилям на дневной поверхности с теоретическими графиками над различными объектами, в результате чего устанавливается наличие объектов, а при благоприятных условиях их элементы залегания и геологическая природа.

Для полевых измерений в методах постоянного тока применяют приборы-потенциометры ЭП-1, ЭСК-1, КСР-1, КСРМ-1, АНЧ-1,2 и электроразведочные станции различных марок.

Несколько иначе используется поле постоянного электрического тока в методе заряженного тела (метод заряда): один из полюсов (обычно полюс «+») источника тока присоединяется к хорошопроводящему электрический ток объекту, а второй заземляется вдали от объекта (в «беско-

нечности»). Весь объект становится как бы громадным электродом, вокруг которого ведется изучение распределения потенциала. По величине и характеру распределения потенциала судят об элементах залегания объекта и его размерах в пространстве.

Искусственные электрические поля переменного тока создаются в земле как заземленными (т. е. гальванически), так и незаземленными (т. е. индуктивно) источниками тока. На дневной поверхности путем измерения электрической E и магнитной H составляющих изучается электромагнитное поле, распределение которого будет зависеть от электропроводности искомого объекта и вмещающей среды. Выясняя отклонения измеряемого поля от нормального, судят о геологическом строении площади, на которой проводятся измерения. Для полевых измерений в методах электроразведки переменным током используются различные электронные вольтметры, комплекты аппаратуры «Земля-1», «Земля-2», АФИ-2,4, электроразведочные станции для измерений поля ТТ и в частотных зондированиях.

Из всех применяющихся геофизических методов в гидрогеологии и инженерной геологии методы электроразведки, особенно методы ВЭЗ, электропрофилирования, естественного электрического поля и заряда, имеют самое широкое распространение. Они привлекаются для решения самых разнообразных задач: для расчленения различных горных пород, для определения мощности наносов при картировании складчатых структур и разрывных нарушений, при изучении карстовых явлений, трещиноватости горных пород и зон вечной мерзлоты, при поисках и разведке пресных и минерализованных подземных вод, для изучения оснований под инженерные сооружения (гидроэлектростанций и водохранилищ, фабрик, заводов, трубопроводов, железных и шоссейных дорог) и многих других.

Сейсморазведка

В методе сейсморазведки используется различие в скорости прохождения упругих колебаний (волн) в различных горных породах. Наименьшую скорость прохождения имеют почва и наносы (от 0,1—0,2 до 0,6—1,2 *км/сек*) и наибольшую — изверженные и метаморфические породы (до 4,0—6,5 *км/сек*).

Законы распространения упругих волн изучает геометрическая сейсмика, в основу которой положены те же принципы, что и в основу геометрической оптики. В соответствии с этими принципами в сейсморазведке различают волны преломленные и отраженные. Распространение волн принято характеризовать и изображать с помощью лучей, а наблюдают их на земной поверхности вдоль прямых линий, называемых сейсмическими профилями. В точках профиля по сейсмограмме определяют время прихода преломленной или отраженной волны, а затем строят график зависимости времени прихода волны от расстояния, который получил название годографа. Получив годограф и зная скорость распространения упругих колебаний в толще пород, лежащих выше отражающей (или преломляющей) границы, специальными приемами определяют глубину залегания этих границ раздела. В настоящее время по методу отраженных волн можно выделять в разрезе одновременно до 10—15 границ раздела, а по методу КМПВ — до 5—7 границ.

Сейсморазведка применяется главным образом для решения задач структурного характера в связи с поисками и разведкой месторождений нефти и газа. Важной областью применения сейсморазведки является изучение приповерхностных частей разреза, особенно определение

мощности и характера наносов. В настоящее время сейсморазведка начинает использоваться при изучении напряженного состояния горных пород в выработках, для выявления зон трещиноватости и пустот между горными выработками. Особенно большую ценность имеют данные сейсморазведки по определению упругих свойств горных пород в их естественном залегании, что дает возможность, зная плотность породы, определить модуль Юнга и коэффициент Пуассона, знание которых крайне необходимо при проектировании промышленных сооружений.

Буровая геофизика

Буровая геофизика — раздел разведочной геофизики, занимающийся геофизическими исследованиями в скважинах с целью изучения геологического разреза, пересеченного скважиной. В буровой геофизике используются те же физические поля, что и в полевой геофизике. Отличие теории полей при исследованиях в скважинах состоит в том, что изучаемая среда занимает все пространство, в то время как при полевой геофизике изучаемая среда занимает только нижнее полупространство.

Так же, как и в полевой геофизике, существует большое число методов исследования скважин. Наибольшее практическое значение при исследованиях гидрогеологических скважин имеют методы электрокаротажа (каротаж сопротивления — КС, каротаж естественного электрического поля — ПС, боковое каротажное зондирование — БКЗ и резистивиметрия), радиоактивного каротажа (гамма-каротаж — ГК, нейтронный гамма-каротаж — НГК и каротаж по методу радиоактивных изотопов) и термокаротажа.

С помощью вышеуказанного комплекса методов каротажа можно произвести детальное расчленение разрезов скважин, выделить в разрезах водоупорные (глинистые и скальные породы) и водоносные горизонты (пески, песчаники, галечники и трещиноватые скальные породы), определить минерализацию вод, пористость, влажность и плотность горных пород.

Измерения температуры в скважинах используются для расчленения геологических разрезов скважин, для выявления некоторых гидрогеологических особенностей месторождений, для вычисления геотермического градиента (ступени), для определения плотности теплового потока, для контроля за состоянием скважин и т. п.

§ 2. Изучение геологического строения

В гидрогеологии и инженерной геологии очень часто приходится решать такие геологические задачи, как поиски и разведка погребенных водоносных структур, картирование водопроницаемых и водоупорных горизонтов горных пород, поиски и прослеживание трещинных зон и крупных разрывных тектонических нарушений, изучение четвертичных отложений и ряд других.

При анализе применимости геофизических методов для решения вышеуказанных задач должен учитываться богатый и разносторонний опыт их использования при решении аналогичных задач в связи с поисками нефтегазоносных и рудных месторождений полезных ископаемых. При этом целесообразность применения того или иного метода определяется его геологической и экономической эффективностью и устанавливается в зависимости от конкретных геологических условий и детальности исследований.

Поиски и разведка погребенных водоносных структур так же, как и нефтегазоносных структур, сводятся к выделению в разрезе маркирующих или опорных горизонтов (пластов) горных пород, резко отличающихся по своим физическим свойствам от других пород.

Как показывает накопленный опыт, ведущими методами решения структурных задач являются методы электроразведки и сейсморазведки; роль других методов (магниторазведки, гравиразведки) невелика.

Из методов электроразведки для проведения структурных исследований применяются методы вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), дипольного электрического зондирования (ДЭЗ), частотного зондирования (ЧЗ) и становления поля (СП), которыми изучается изменение сопротивления пород по вертикали. По результатам полевых наблюдений этими методами строятся так называемые кривые ВЭЗ (или ДЭЗ, ЧЗ, СП). Последующая интерпретация этих кривых, заключающаяся в сопоставлении их с теоретическими кривыми, дает возможность получить данные о глубине залегания и удельном электрическом сопротивлении интересующих нас пластов горных пород.

Полученные данные используются для построения геоэлектрических разрезов и карт равных глубин залегания водоупорных и водопроницаемых пластов горных пород [Справочник геофизика, т. III, 1963].

Сейсморазведка для решения структурных задач применяется в модификации методов отраженных и преломленных волн. В зависимости от глубины сейсмические исследования подразделяют:

1) на исследования больших глубин (до 60—80 *км*), имеющие цель получить данные об условиях залегания поверхности Мохоровичича;

2) на исследования средних глубин (от сотен метров до 6—10 *км*), проводимые с целью выяснения особенностей залегания кристаллических пород под чехлом осадочных образований и расчленения осадочных толщ и поисков структурных форм, благоприятных для образования месторождений нефти, газа, угля, железа и некоторых других полезных ископаемых. Известны случаи использования сейсморазведки для выделения водоупорных и водопроницаемых горизонтов при обследовании артезианских бассейнов;

3) на исследования малых глубин (десятки — первые сотни метров), проводимые с целью изучения четвертичных отложений и получившие название микросейсморазведки. Этот вид исследования, как имеющий очень важное значение при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях, рассматривается ниже несколько подробней.

Под изучением четвертичных отложений понимается определение их мощности, картирование древних погребенных долин, сводящееся к прослеживанию наиболее пониженных отметок подошвы аллювиальных отложений, а также выделение и оконтуривание различных по литологическому составу разностей четвертичных отложений.

Решение первых двух задач до последнего времени проводилось главным образом методами сейсморазведки; решение третьей задачи — методами электроразведки. Определение литологических границ в четвертичных отложениях, обычно связанное с поисками водоносных коллекторов (песков, гравия) или с выяснением условий залегания водоупорных глинистых прослоев и линз, весьма затруднительно из-за значительной изменчивости сопротивления отдельных разностей четвертичных отложений как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

Предложенные в последние годы портативные микросейсмоустановки (ЛГИ — В. С. Музылев, МГУ — Ш. А. Азими и др.), как показали полевые опытные работы, позволяют успешно решать весь комплекс вопросов, возникающих при исследованиях четвертичных отложений. Особенно

ценным для практики является возможность литологического расчленения четвертичных отложений. При этом однозначность решения геологических задач значительно возрастает при комплексном использовании микросейсморазведки и электроразведки.

При поисках и картировании крутопадающих геологических объектов (трещинных зон и разрывных тектонических нарушений, пластов высокого и низкого сопротивления, контактов горных пород и др.) наиболее четкие результаты дают методы симметричного (AMNB и AA′MNB′B), комбинированного (AMN ∞ MNB) и дипольного (ABMN и ABMNA′B′)

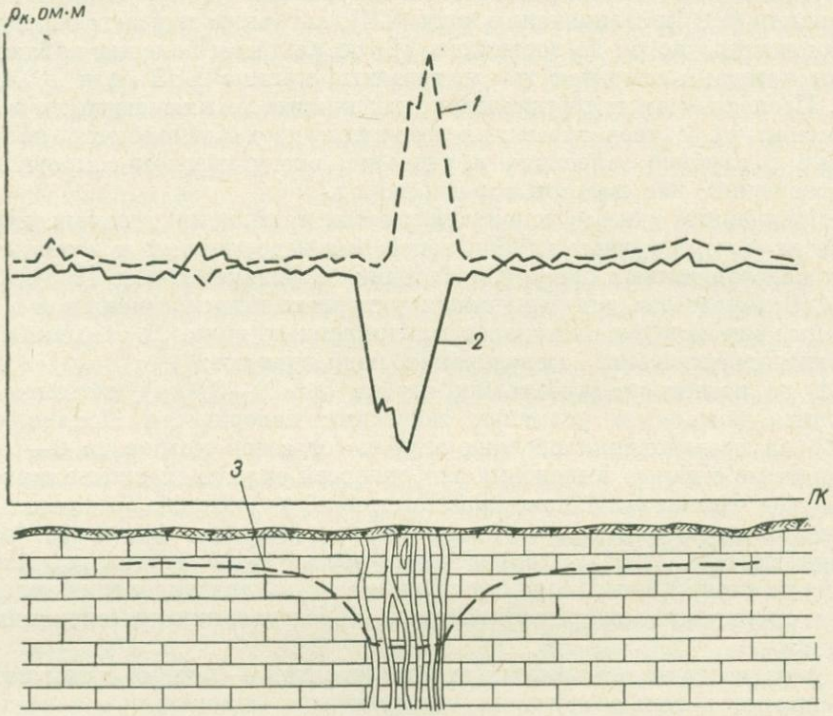


Рис. VII-1. Типичные графики $\rho_к$ электропрофилирования установкой AMNB над трещинной зоной.

1 — график $\rho_к$ при небольшой глубине исследования; *2* — график $\rho_к$ при большой глубине исследования; *3* — уровень подземных вод.

видов электропрофилирования, метод дипольного индуктивного профилирования, метод радиокип и другие. Всеми этими методами изучается изменение геологического разреза в горизонтальном направлении. Результаты полевых наблюдений методами электропрофилирования изображаются в виде графиков $\rho_к$ по профилям или в виде карты профилей $\rho_к$ и геологических результатов. Другие геофизические методы (сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка, термометрия и радиометрия) для решения вышеуказанных задач применяются значительно реже.

На рис. VII-1 приведены графики $\rho_к$ симметричного электропрофилирования над зоной интенсивности трещиноватости горных пород. Следует заметить, что в случае изучения горных пород ниже уровня грунтовых вод над зонами трещиноватости наблюдаются, как правило, минимумы $\rho_к$ на кривой электропрофилирования, а в случае изучения горных пород выше уровня грунтовых вод на кривой $\rho_к$ могут наблюдаться как максимумы, так и минимумы сопротивления.

Известно, что трещиноватость горных пород вызывает электрическую анизотропию этих пород, т. е. их неодинаковую электропроводность в различных направлениях. В связи с этим представляется возможным использовать явление анизотропии для определения господствующего простирания и изучения изменения степени трещиноватости по различным направлениям. Для этой цели проводят так называемые круговые вертикальные зондирования (КВЗ) и по их результатам строят полярные диаграммы, которые представляют собой эллипсы, вытянутые по простиранию анизотропной толщи, а в нашем случае по направлению трещин [Дахнов, 1963]. На рис. VII-2 приведена одна из полярных диаграмм для определения направления трещиноватости.

Для определения пространственного положения трещинных зон, тектонических нарушений и пластов высокого и низкого сопротивления рекомендуется проводить корреляцию наблюдения аномалий на поверхности земли и в скважинах.

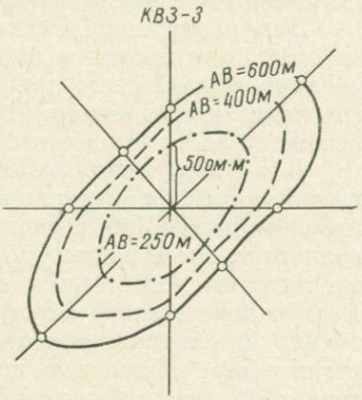


Рис. VII-2. Типичная полярная диаграмма КВЗ, используемая для определения направления трещиноватости.

§ 3. Изучение поверхностных и подземных карстовых форм

Известно, что в большинстве случаев трещиноватость горных пород является первопричиной образования как поверхностных, так и глубинных карстовых форм. Поэтому изучение трещиноватости и карстопроявления представляет собой по существу один общий вопрос, возникающий при решении различных задач водоснабжения, инженерно-геологических условий возведения сооружений, эксплуатации различных месторождений полезных ископаемых и т. п.

Основными методами изучения закарстованности являются электроразведка и в меньшей мере — сейсморазведка. Этими методами решаются следующие частные задачи: 1) выявление и оконтуривание зон повышенной трещиноватости и закарстованности; 2) определение глубины распространения зон закарстованности и повышенной трещиноватости; 3) обнаружение отдельных карстовых полостей и их оконтуривание.

Для выявления и оконтуривания зон повышенной трещиноватости и закарстованности применяются методы электропрофилирования (симметричное — AA′MNB′B и комбинированное, или дипольное) в сочетании с вертикальными электрическими и круговыми зондированиями.

Поверхностные карстовые формы на графиках $\rho_к$ методов электропрофилирования могут отмечаться как максимумами $\rho_к$ (необводненный карст), так и минимумами $\rho_к$ (карст обводненный). Глубина погребенных карстовых депрессий может быть определена с помощью метода ВЭЗ, и микросейсморазведки, но при условии, если размеры депрессий весьма велики, а склоны их пологи.

Глубинные карстовые формы, расположенные внутри карстующихся пород, обычно заполнены обводненным рыхлым песчано-глинистым материалом; реже встречаются полые карстовые формы. Нередко глубинные карстовые полости через систему трещин связаны с приповерхностными горизонтами карстующегося массива. В таких случаях указанное обстоятельство может быть использовано как поисковый критерий глубинных карстовых форм. В этих случаях на первом этапе методами электропрофилирования (комбинированным, или дипольным) производится

прослеживание приповерхностных трещинных зон, а затем с учетом результатов электропрофилирования, на втором этапе, с помощью метода ВЭЗ, устанавливается глубина интенсивного карстопроявления.

С применением вышеописанной методики были выявлены неизвестные карстовые полости на глубине 50—80 *м* в районе известной Кунгурской пещеры. Следует обратить внимание, что обнаружение отдельных карстовых полостей и их оконтуривание возможно только в том случае, когда их размеры соизмеримы с мощностью покрывающих отложений.

Практически важным вопросом изучения карстопроявления является обнаружение карстовых полостей, находящихся вблизи горных выработок, а также в пространстве между горными выработками и скважинами.

Для обнаружения таких полостей могут быть применены методы электропрофилирования по стенкам выработок, радиоволнового профилирования, получившего признание только в последнее время, и микросейсмические исследования. Иногда для этой цели изучают температурный режим на забое выработки.

Для обнаружения карстовых полостей, находящихся между горными выработками или скважинами, широко применяется метод радиоволнового просвечивания. Метод основан на изучении поглощения электромагнитных волн горными породами: чем больше электропроводность горных пород, тем сильнее поглощается электромагнитная энергия такими породами. Если в пространстве между скважинами заключен карст, то, поместив в одну из скважин источник электромагнитной энергии, а в другую — регистратор, с помощью которого измеряется эта энергия в различных точках скважины, получим своеобразную радиотень от карста. Произведя регистрацию энергии по скважине при других точках стояния источника энергии, можно получить данные, указывающие на положение искомого объекта в пространстве.

§ 4. Изучение геологических разрезов гидрогеологических скважин

Для детального расчленения геологических разрезов скважин применяются методы электрокаротажа (каротаж КС, ПС, БКЗ и резистивиметрия), радиоактивного каротажа (гамма-каротаж, нейтронный гамма-каротаж и каротаж по методу радиоактивных изотопов), термокаротажа и акустического каротажа.

При литологическом расчленении горных пород, в частности при выделении в разрезе водоупорных и водопроницаемых горизонтов, используются специфические характерные особенности каротажных диаграмм, построенных с помощью вышеуказанных методов. Определенные сочетания особенностей различных методов позволяют достаточно однозначно и объективно выделить в разрезе искомые горизонты пород. Для водоупорных и водопроницаемых горных пород в табл. VII-1 приведены некоторые особенности каротажных характеристик.

Для определения коллекторских свойств горных пород В. А. Ряполова на основании анализа большого фактического материала по каротажу установила некоторые самые общие признаки выделения на каротажных диаграммах для четырех типов геологических разрезов.

1. *Песчано-глинистый разрез.* Пески с хорошей водоотдачей имеют удельное сопротивление от 30 до 200 *ом·м*, относительное сопротивление F, не превышающее 6 (под относительным сопротивлением F понимается отношение удельного сопротивления породы — $\rho_п$ к удельному сопротивлению насыщающей ее воды — $\rho_в$), значительную амплитуду отклонения кривой СП от «линии глин», минимальную величину интенсивности

Таблица VII-1

Каротажная характеристика пород

Породы		Значения регистрируемых параметров по методам				
		КС	ПС	ГК	НГК	акустического
Водоупорные	Глина	Очень низкие	Высокие значения	Высокие	Низкие	Средние
	Сланцы	Низкие	Высокие	Высокие	Низкие	Средние
	Скальные	Высокие и очень высокие		Низкие для осадочных и метаморфических и высокие для кислых изверженных	Высокие	Высокие
Водопроницаемые	Пески, галечные конгломераты	Разные значения в зависимости от минерализации вод	Обычно низкие	Обычно низкие	Низкие	Низкие
	Трещинные зоны в скальных породах	Низкие (чередование макс. мин.)	Обычно минимальные	Низкие	Низкие	Низкие

естественного гамма-излучения и сравнительно небольшую величину интенсивности нейтронного гамма-излучения.

Водоносные песчаники характеризуются удельным сопротивлением от 50 до 400 *ом·м*, сравнительно небольшой величиной относительного сопротивления, заметным отклонением кривой ПС от «линии глин», низким значением естественного гамма-излучения и не очень высоким значением нейтронного гамма-излучения.

2. *Карбонатный разрез.* Перспективные на воду карбонатные породы характеризуются сопротивлением от 40 до 500 *ом·м*, заметным отклонением кривой ПС от «линии глин», минимальными значениями интенсивности естественного гамма-излучения и повышенными значениями нейтронного гамма-излучения. Наилучшие коллекторские свойства имеют горизонты известняков с наименьшей величиной относительного сопротивления и сравнительно невысокой интенсивностью нейтронного гамма-излучения при наиболее высокой естественной радиоактивности.

3. *Разрезы, представленные изверженными породами.* Признаками водоносности изверженных пород являются низкое удельное сопротивление и пониженная интенсивность нейтронного и естественного гамма-излучения; верхний предел относительного сопротивления составляет 30—40 единиц, нижний предел точно не установлен.

4. *Смешанные разрезы.* К интерпретации результатов таких разрезов следует подходить индивидуально, исходя из особенностей геологического строения района.

Помимо определения литологии и водоносности горных пород, данные каротажа скважин позволяют проводить корреляцию разрезов скважин. Для этого на диаграммах необходимо выделить геофизические реперы, которые должны соответствовать определенным стратиграфическим горизонтам или характерным участкам геологических разрезов и отмечаться на каротажных диаграммах четкой аномалией, позволяющей легко обнаруживать репер на сопоставляемых диаграммах, а также иметь настолько значительную мощность, чтобы ее изменение мало сказывалось на конфигурации сопоставляемых кривых.

После того как на разрезах скважин выделены основные и второстепенные реперы, приступают к построению геолого-геофизических разрезов. По изменению мощности реперов, их выпадению или смещению судят об особенностях геологического строения участка. Большую ценность для гидрогеологов представляют разрезы, на которых приводится корреляция водоупорных и водоносных горизонтов, выделенных согласно вышеизложенным принципам.

§ 5. Изучение температуры и минерализации подземных вод

Изучение температуры и минерализации подземных вод имеет большое значение для выяснения их генезиса и возможностей практического использования.

Изучение температуры

Температура подземных вод может измеряться в буровых скважинах, в шпурах, пройденных из горных выработок, в колодцах и в источниках термометрами различных конструкций (см. главу XII).

Большинство геотермических методов исследования основано на изучении естественного температурного поля Земли. Это поле может быть подразделено на две части: зону переменных температур (до глубины 30—

40 *м*) и зону установившихся температур (глубокие слои литосферы). Под зоной переменных температур находится горизонт постоянной температуры, повторяющий в основном рельеф дневной поверхности. Температура этого горизонта равна приблизительно среднегодовой температуре данного района. Ниже горизонта постоянных температур происходит постепенное нарастание температуры с глубиной.

Термические исследования подразделяются на наблюдения в скважинах (термокаротаж), площадные исследования и наблюдения при проходке горных выработок.

Основными задачами термических исследований гидрогеологических скважин являются: установление водовыводящих трещин, определение скорости фильтрации подземных вод, установление условий циркуляции и генезиса подземных вод, расчленение геологического разреза по термическим свойствам, определение нижней границы вечной мерзлоты и ряд других задач.

По данным термических наблюдений строятся термические карты (карты изотерм, термоизогипс, равных геотермических градиентов) и разрезы.

Анализ температурных карт и профилей (разрезов) является весьма эффективным способом гидрогеологических исследований. Опыт работ показывает, что карты изотерм могут использоваться для обнаружения выходов подземных вод под четвертичными отложениями.

Термические наблюдения в горных выработках могут использоваться для прогнозирования приближения забоя к обводненным зонам. Для этого производятся систематические измерения температуры горных пород или подземных вод в опережающих шпурах и разведочных скважинах. Измеренные температуры сравниваются с заранее рассчитанным нормальным геотермическим полем. По отклонениям от нормального поля судят о приближении к обводненной зоне.

Изучение минерализации

Подземные воды, как воды, обладающие минерализацией, представляют собой электролит, насыщенный теми или иными ионами.

Сопротивление электролита определяется по формуле

$$\rho_э = \frac{10}{\sum (C_а v_а f_{e_а} + C_к v_к f_{e_к})}, \qquad \text{(VII-1)}$$

где $C_а$ — число грамм-эквивалентов анионов;
$C_к$ — то же катионов;
$v_а$ — подвижность анионов;
$v_к$ — подвижность катионов;
$f_{e_а}$ и $f_{e_к}$ — коэффициенты электропроводности, соответственно для анионов и катионов, зависящие от концентрации растворенных солей и их химического состава.

Полученное значение величины $\rho_э$ приводится к температуре 18° С по формуле

$$\rho_{в,\,18°} = \rho_{в,\,t°}\,[1 + \alpha\,(t - 18°)], \qquad \text{(VII-2)}$$

где $\rho_{в,\,18°}$ — удельное электрическое сопротивление при температуре 18° С;
$\rho_{в,\,t°}$ — то же при данной температуре;
α — температурный коэффициент электропроводности, который может быть принят равным 0,023.

Считая, что в большинстве случаев сопротивление воды обратно пропорционально концентрации растворенных солей, можно, зная величину

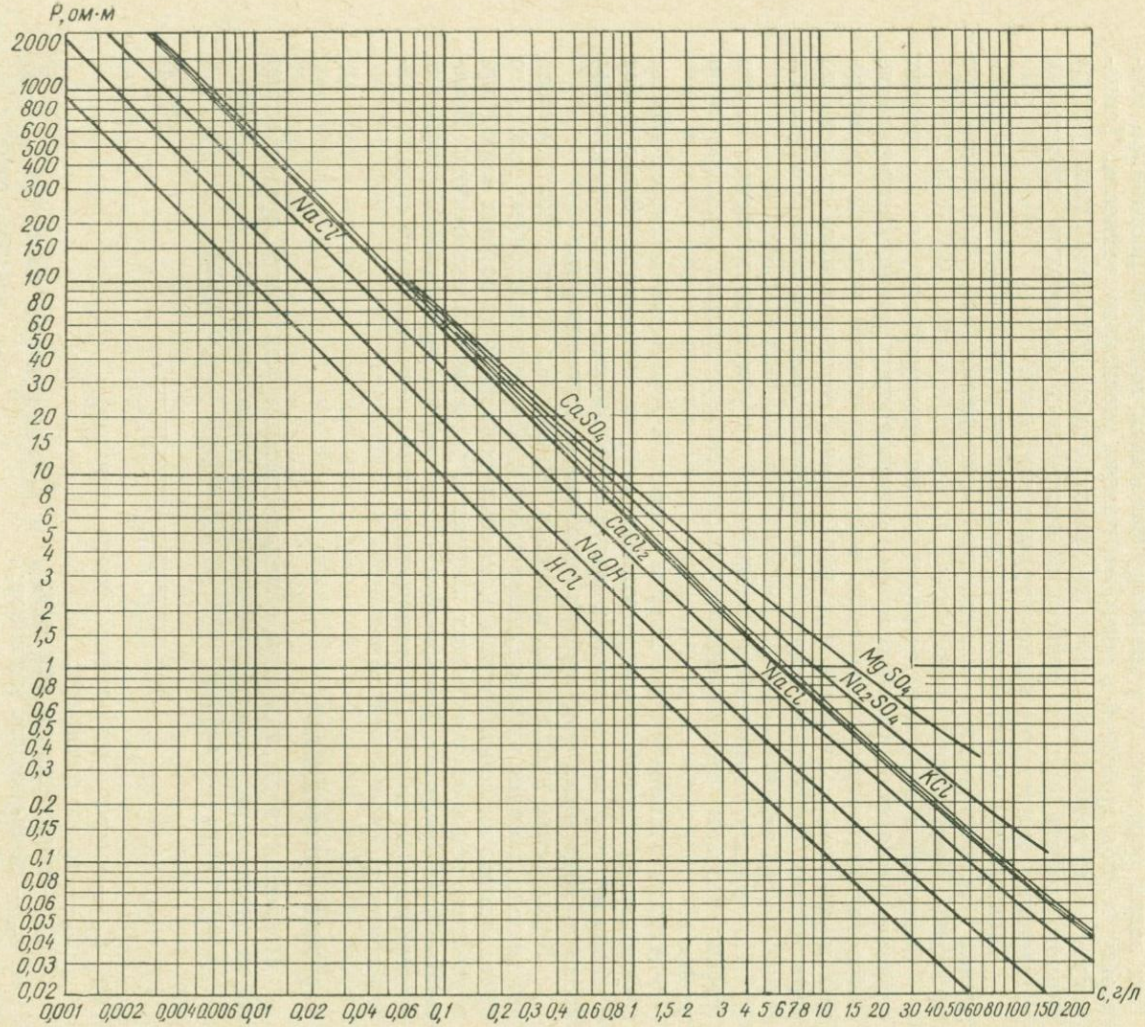


Рис. VII-3. Диаграмма для определения степени минерализации подземных вод.

$\rho_{в,\,18^\circ}$ и пользуясь графиком на рис. VII-3, определить степень минерализации подземных вод.

Замер сопротивления воды в скважинах осуществляется с помощью резистивиметра — прибора, представляющего собой каротажный зонд малых размеров, помещенный в чехол, исключающий воздействие окружающих горных пород на величину сопротивления воды. Последняя вычисляется по формуле

$$\rho_в = K\frac{\Delta U}{I}, \qquad \text{(VII-3)}$$

где ΔU — разность потенциалов между приемными электродами зонда;
I — сила тока в цепи питающих электродов зонда;
K — коэффициент зонда (резистивиметра), определяемый опытным путем.

Кроме определения $\rho_в$, резистивиметрия наряду с каротажем ПС и термокаротажем используется для определения мест притока подземных вод в скважину и для определения скорости фильтрации подземных вод (см. § 8).

Для определения минерализации подземных вод может быть применен способ А. М. Нечая, основанный на изучении диффузионно-адсорбционных потенциалов. Однако этот способ не нашел пока еще широкого распространения и в гидрогеологии.

§ 6. Поиски пресных вод в пустынных районах

Необходимость определения местоположения скоплений пресных вод среди минерализованных возникает вблизи морских берегов, на морских островах и особенно в пустынях, где линзы пресных вод являются основным источником водоснабжения.

Опыт применения геофизических методов в Туркмении и в Прикаспийской низменности показывает, что основными методами поисков пресных вод в этих и других районах являются методы электроразведки (ВЭЗ, симметричное и комбинированное профилирование) в сочетании с бурением единичных скважин.

Работы методом ВЭЗ на первом этапе поисков дают представление о геоэлектрическом разрезе района: о характере изменения удельного электрического сопротивления на глубину в местах распространения как пресных, так и минерализованных вод. Получив эти данные, на втором этапе поисков одним из упомянутых видов электропрофилирования производят оконтуривание распространения пресных вод среди минерализованных. Затем в пределах оконтуренной линзы пресных вод по редкой сети проводят вертикальные электрические зондирования с целью получения данных о мощности линзы пресных вод, а следовательно, и о запасах этих вод.

Для проверки результатов электроразведки и привязки их к определенным литологическим горизонтам необходимо провести бурение единичных скважин на площади распространения пресных вод и за ее пределами.

Согласно результатам новейших исследований, проведенных Н. А. Огильви [1961], весьма перспективным при поисках линз пресной воды, оказался самолетный вариант метода радиокип. Над границами пресных и минерализованных вод наблюдаются резкие изменения составляющих магнитного поля.

§ 7. Изучение многолетней мерзлоты

Многолетняя мерзлота является специфической средой, значительно отличающейся по физическим, особенно электрическим свойствам от пород, не охваченных многолетней мерзлотой.

Для изучения многолетней мерзлоты особенно широко применяются методы электроразведки и термические.

При решении вопросов гидрогеологического характера эти методы особенно эффективными оказываются при прослеживании подтоков глубинных вод в толщу мерзлых пород. Возникающие растепленные зоны создают значительные минимумы электрических сопротивлений и максимумы на графиках температурных наблюдений.

Важной задачей при изучении многолетней мерзлоты является определение нижней и верхней границ распространения мерзлоты. Для этой цели используются вертикальные электрические зондирования. В отдельных случаях по кривым ВЭЗ удается выделить в мерзлой толще мощные пластовые талые воды.

Для картирования площадей распространения мерзлоты применяются методы электропрофилирования и температурные наблюдения.

§ 8. Изучение движения подземных вод

Для изучения движения подземных вод применяются полевые и скважинные геофизические методы. К первым из них следует отнести методы электропрофилирования, вертикального электрического и кругового зондирований, частотных зондирований, естественного электрического поля и другие. С помощью этих методов иногда удается установить направление подземного потока, обнаружить скрытые под наносами родники и места утечек поверхностных вод из русел рек, озер и водохранилищ.

Другую группу составляют скважинные способы исследования: резистивиметрия и термометрия, метод радиоактивных изотопов, электролитический метод, метод заряженного тела и другие. Они применяются для определения мест притоков подземных вод в скважину и выделения зоны активного водообмена, изучения скоростей фильтрации на разных глубинах и оценки фильтрационных способностей отдельных толщ пород в интервале активного водообмена, определения направления и действительной скорости движения подземных вод по группам и одиночным скважинам, изучения водопоглощающих свойств пластов во время откачек, наливов и нагнетаний.

Наиболее высокая эффективность достигается при комплексном использовании полевых и скважинных методов.

Изучение путей фильтрации вод по результатам геофизических измерений на поверхности земли

Полевые геофизические методы, в частности методы электропрофилирования и зондирования, могут быть применены для выявления участков пород с повышенной водопроводимостью.

На рис. VII-4 приведена карта изоом, полученная с помощью этих методов в одном из карстовых районов. На ней в середине участка выделена зона низких кажущихся сопротивлений, соответствующая сильно закарстованным карбонатным породам. Она прослеживается от ручья, теряющего свои воды в карстовых понорах, до реки, где бьют мощные источники. Выделенная зона, естественно, интерпретируется как подземное русло, по которому канализируются воды исчезающего ручья.

В благоприятных условиях по данным электрических (ВЭЗ) и электромагнитных (ЧЗ) зондирований удается определить глубины до зеркала подземных вод и вдоль профилей построить гидрогеологические разрезы.

Весьма важным способом наблюдения за условиями циркуляции подземных вод является метод естественных токов, основанный на изучении естественного электрического поля фильтрации. Он применяется для определения направления движения неглубоких подземных потоков [Горелик, 1952], их картирования, поисков скрытых под наносами мест разгрузки подземных вод или утечек речных вод, питающих подземный горизонт [Огильви, 1956; Смирнов, 1958], определения радиуса депрессионной

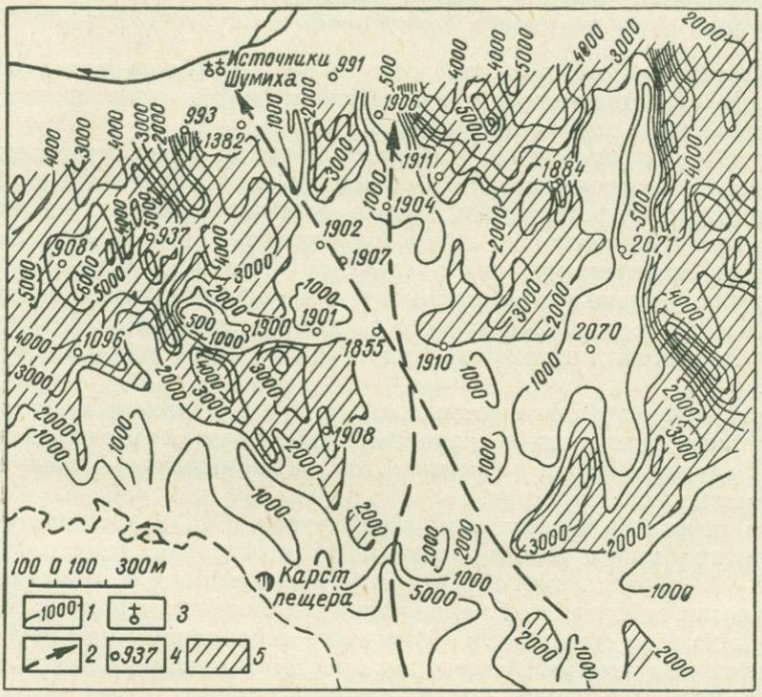


Рис. VII-4. Карта изоом для одного из карстовых районов.

1 — линии равных кажущихся сопротивлений (изоомы); *2* — направление подземного потока по геофизическим данным; *3* — источники с гидроствором; *4* — скважины; *5* — области высоких сопротивлений.

воронки и изучения характера движения подземных вод при откачках из скважин (Барков, 1950), [Горелик, Нестеренко, 1956].

Наиболее четкие результаты получаются в условиях относительно больших гидравлических уклонов, когда возникают значительные электродвижущие силы фильтрации. Поэтому исследования методом естественного поля чаще всего проводят на склонах гор, над источниками, карстовыми полостями, вблизи опытных скважин, из которых производится откачка, по берегам и руслам рек, по дну озер и водохранилищ.

За последние годы широкое развитие получили русловые и донные исследования. С этой целью А. А. Огильви и А. А. Смирновым (1957—1958) была разработана специальная методика и техника наблюдений с использованием каротажного оборудования и аппаратуры для непрерывной регистрации потенциалов и градиентов потенциалов естественного электрического поля.

Предложенная методика может быть использована для рекогносцировочного изучения взаимосвязи поверхностных и подземных вод;

детального выявления мест утечек поверхностных вод и притоков подземных вод в русло реки, озера, водохранилища; определения направления утечек или притоков; изучения режима рек и водохранилищ по характеру водопоглощения или потерь воды в различные периоды; определения пределов экранирования русел рек, способствующих обводнению месторождений полезных ископаемых; геологического картирования литологических комплексов пород вдоль берегов рек по их фильтрационной активности и др.

Определение мест притоков вод в скважину и выделение зоны активного водообмена

Известны три способа определения мест притоков вод в скважину с помощью резистивиметров и термометров: способ оттартывания, способ продавливания и статический способ.

Способ оттартывания применяется в случае очень малых притоков. При работе с резистивиметром в скважину закачивают воду с удельным электрическим сопротивлением, резко отличающимся от удельного сопротивления подземных вод. Затем, периодически отбирая воду желонкой, добиваются понижения уровня с целью усиления притока. После каждого понижения с помощью резистивиметра замеряют удельное электрическое сопротивление воды. Оттартывание и замеры сопротивления продолжают до тех пор, пока притоки не будут отмечены с достаточной наглядностью.

Места притоков отмечаются повышением или понижением удельного сопротивления жидкости в скважине. Повышение сопротивления наблюдается в случае притока более пресных вод, понижение — в случае притока минерализованных вод.

При работе со скважинным термометром (ЭТС-2) скважину предварительно промывают холодной или подогретой водой, температура которой на 5—10° С отличается от температуры подземных вод. После промывки периодически отбирают воду с помощью желонки и производят замер температуры по всей скважине. Наблюдения выполняются при неустановившемся тепловом режиме. Местоположение притока определяется на термограмме по локальной аномалии на фоне серии кривых, стремящихся занять положение кривой естественной температуры при установившемся тепловом режиме.

Способ продавливания применяется при больших дебитах. В скважину периодически закачивают или заливают частями фиксирующую жидкость, удельное сопротивление которой или температура резко отличаются от сопротивления и температуры воды, заполняющей ствол скважины. После каждой закачки или заливки с помощью резистивиметра или термометра определяется местоположение границы раздела двух жидкостей. В результате наблюдений получают серию кривых, по которым можно проследить перемещение границы раздела с течением времени. Глубина, на которой она остановится, несмотря на продолжение закачки, покажет нижнюю границу зоны поглощения воды. При восстановлении нормального гидродинамического режима через нее будет притекать вода в скважину.

Статический способ основан на искусственном изменении физических свойств воды в самой скважине и наблюдении притоков при статическом уровне. Он выгодно отличается от вышеописанных тем, что во время измерений почти не нарушается гидродинамический режим и отпадает необходимость в дополнительном оборудовании для оттартывания и налива воды.

Для изменения свойств воды в скважине применяются различные вещества — электролиты (электролитический метод), красители (фотоэлектрический метод), кислоты (электрохимический метод) и др. Кроме того, можно изменять температуру воды, например, путем промывки скважины.

При наблюдении электролитическим методом в интервале исследования предварительно растворяют электролит — поваренную соль. С этой целью на кабель выше резистивиметра привязываются узкие мешки с солью, которые прогоняются по скважине несколько раз. После засоления периодически выполняются замеры удельного сопротивления раствора с помощью резистивиметра. Места притоков отметятся повышением сопротивления воды. При длительных, многосуточных наблюдениях удается выделить всю зону активного водообмена и даже разделить ее на ряд гидродинамических зон по скорости опреснения раствора. Электролитический метод широко применяется при гидрогеологических изысканиях.

В фотоэлектрическом методе применяется специальный скважинный прибор для определения степени прозрачности жидкости [Коваленко, 1961]. Предварительно скважина промывается чистой водой и в интервале исследования обрабатывается красителем. Затем с помощью прибора определяют места осветления жидкости.

Электрохимический метод основан на изучении контактной разности потенциалов гальванической пары, погруженной в жидкость. В скважину опускают на кабеле две пластины из разных металлов. При погружении пластин в жидкость между ними образуется контактная разность потенциалов, величина которой будет зависеть только от химического состава жидкости. В обычном буровом растворе разность потенциалов между пластинами составляет 200—600 *мв*. Она увеличивается до 1300 *мв*, если на исследуемом участке к раствору добавить слабой кислоты. Разность потенциалов между пластинами измеряют на поверхности земли обычным вольтметром или каротажным регистратором. Места притоков в предварительно подготовленной скважине отмечаются минимальными показаниями.

Термометрический метод основан на изучении температур с помощью скважинного термометра в искусственно подогретой скважине. Места притоков и зона активного водообмена отмечаются пониженными значениями температур.

Определение скоростей фильтрации по одиночным скважинам

Для определения скоростей фильтрации применяют электролитический метод, метод радиоактивных изотопов и термометрический метод.

Электролитический метод основан на изучении убывания электролита в искусственно засоленной скважине. Он применяется для изучения движения пресных или слабоминерализованных подземных вод в зоне активного водообмена. Для наблюдений используют любую одиночную скважину, не обсаженную трубами или оборудованную фильтром в интервале водоносного горизонта. В качестве электролита применяют поваренную соль. Измерения производятся с помощью резистивиметра по обычной схеме каротажа.

Предварительно в скважине выполняют комплекс каротажных работ, в том числе и замер удельного электрического сопротивления воды резистивиметром. По кривой сопротивления оценивается естественная минерализация подземных вод и ее изменение с глубиной. Затем в скважине растворяют электролит. С этой целью на кабель выше прибора крепко

привязываются узкие мешки с поваренной солью. Количество соли берется с таким расчетом, чтобы концентрация электролита после его растворения не превышала примерно 2 *г/л*. Мешки прогоняют по стволу скважины несколько раз, а затем снимают с кабеля.

Сразу же после засоления воды делают первый контрольный замер резистивиметром. По полученной кривой сопротивления судят о равномерности концентрации электролита и качестве подготовки скважины. Последующие замеры выполняются периодически, через каждые 15—20 *мин* или через час в зависимости от скорости вымывания соли. Длительность интервалов определяется в процессе опыта. Перед измерением надо осторожно перемешать электролит, поднимая и опуская резистивиметр. Время начала и конца каждого замера записывается на диаграммной ленте или в журнале. Кривые сопротивлений регистрируются на одну и ту же ленту непрерывно с помощью полуавтоматического или автоматического регистратора со станцией АЭКС-900 или АЭКС-1500. После каждого замера лента перематывается до исходного положения. Масштаб записи выбирается на месте с таким расчетом, чтобы на диаграмме четко отмечались участки опреснения раствора, но кривые не выходили за пределы ленты. Масштаб глубин обычно берется равным 1 : 200.

Наблюдения продолжаются в течение нескольких часов, а иногда и нескольких суток, до полного опреснения электролита в интервале исследования. Для надежной интерпретации надо иметь не менее пяти кривых сопротивлений, на которых места притоков отмечаются последовательно нарастающими максимумами показаний.

После окончания опыта целесообразно организовать периодические наблюдения в засоленной скважине за динамикой опреснения раствора на глубоких горизонтах. По дополнительным данным можно составить представление о проницаемости нижележащих пород и положении фактического водоупора.

По совокупности кривых сопротивления, снятых в разное время, выделяют места притоков воды и зону интенсивной циркуляции. Обычно довольно четко выделяется вся зона активного водообмена. По кривым сопротивления хорошо прослеживается изменение концентрации электролита с течением времени.

Скорость фильтрации вычисляется по формуле

$$v = \frac{1{,}81\,d}{m\,(t_2 - t_1)} \lg \frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0}, \qquad \text{(VII-4)}$$

где v — скорость фильтрации;
d — диаметр скважины;
C_0 — естественная минерализация подземных вод в эквиваленте NaCl;
C_1 и C_2 — концентрации электролита в моменты времени t_1 и t_2;
m — число, показывающее, во сколько раз скорость движения воды в скважине больше скорости фильтрации вод в породе.

В интервале активной циркуляции намечают точки или характерные участки, против которых определяют диаметр скважины d, температуру воды T, удельные электрические сопротивления воды до засоления ρ_0 и после засоления ρ_n и время регистрации t_n. Обычно берутся их средние значения. Диаметр скважины находится по кавернограмме или выписывается из бурового журнала. Температура воды замеряется скважинными термометрами или оценивается приближенно по замерам в соседних скважинах. Зная удельные электрические сопротивления и температуру электролита, по соответствующим графикам для NaCl [Дахнов, 1962]

Таблица VII-2

Результаты обработки
($m = 2$)

Номер интервала	Глубина интервала, *м*	d, *м*	T, °С	ρ_0, *ом·м*	C_0, *г/л*	t_n, *ч*	ρ_n, *ом·м*	C_n, *г/л*	$C_n - C_0$, *г/л*	v, *м/сутки*
XI	297—299	0,09	10	40,0	0,17	11	3,7	1,86	1,69	0,17
						13	3,8	1,84	1,67	
						14	5,0	1,40	1,23	
						15	5,7	1,23	1,06	
						16	6,6	1,07	1,90	

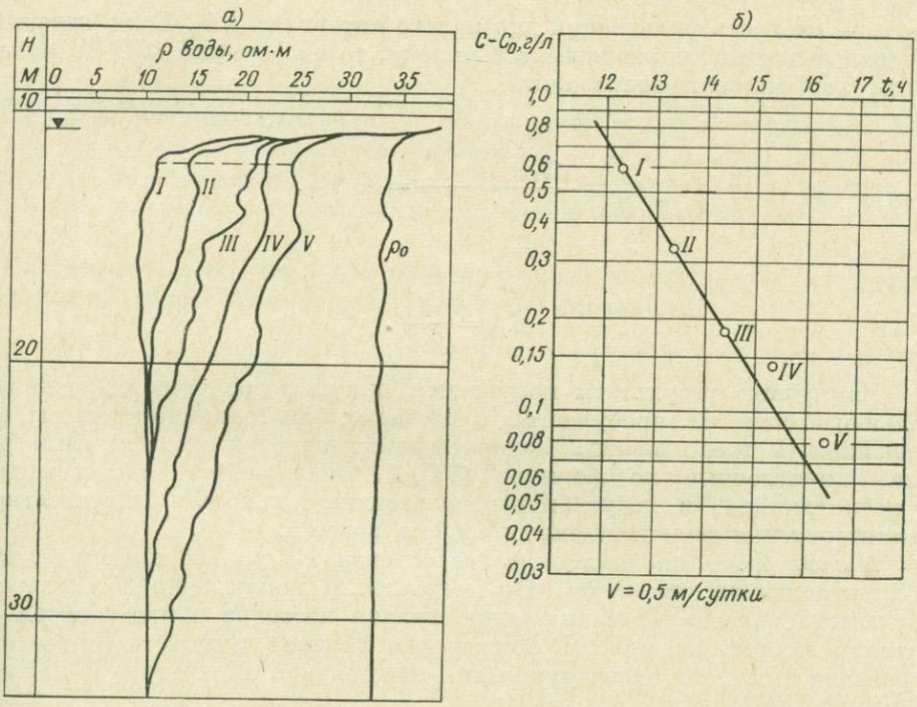


Рис. VII-5. Пример обработки результатов наблюдений электролитическим методом.
а — кривые сопротивления воды, снятые до засоления (ρ_0) и после засоления (I—V); *б* — график обработки результатов для самого верхнего горизонта (пунктир).

определяется естественная минерализация C_0 в эквиваленте NaCl и общая минерализация C_n в любые моменты времени t_n.

Множитель m в формуле (VII-4) меняется от 0 до 4 в зависимости от проницаемости стенок фильтра. В идеально водопроницаемой скважине он равен 2. Результаты обработки записываются в таблицу (VII-2). По табличным данным составляют графики изменения концентрации от времени наблюдения. По оси ординат откладывают $\lg (C_n - C_0)$, а по оси абсцисс — в арифметическом масштабе время наблюдения. Нанесенные точки, согласно формуле (VII-4), должны располагаться на прямой (рис. VII-5), наклоненной к оси абсцисс под острым углом α. С осредненной части графика снимают значение

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lg (C_1 - C_0) - \lg (C_2 - C_0)}{t_2 - t_1}$$

и вычисляют скорость фильтрации по формуле

$$v = 1{,}81 \frac{d}{m} \operatorname{tg} \alpha. \qquad \text{(VII-5)}$$

По данным электролитического метода строят кривую или эпюру изменения скоростей фильтрации с глубиной. По ней можно найти среднее значение скорости для любого выделенного интервала:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i \Delta h_i}{\sum_{i=1}^{n} \Delta h_i}, \qquad \text{(VII-6)}$$

где v_i — скорость фильтрации для малого интервала Δh_i. Если известна средняя величина гидравлического уклона, то из формулы (VII-3) можно найти коэффициент фильтрации

$$v_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i I_{\text{ср}} \Delta h_i}{\sum_{i=1}^{n} \Delta h_i} = K_{\text{ср}} I_{\text{ср}}, \qquad \text{(VII-7)}$$

откуда

$$K_{\text{ср}} = \frac{v_{\text{ср}}}{I_{\text{ср}}}.$$

Наилучшие результаты получаются при исследованиях в скважинах большого диаметра, пробуренных в песчаных или гравийно-галечных отложениях. В трещиноватых, закарстованных породах скорости фильтрации, вычисленные по формуле (VII-4), оказываются завышенными в несколько раз и могут быть использованы только для относительной характеристики фильтрационных свойств разреза.

Метод радиоактивных изотопов основан на том же принципе, что и электролитический метод. По результатам наблюдений в скважине изучается скорость убывания концентрации изотопов в предварительно активированной скважине. В Московском филиале института Оргэнергострой для этой цели сконструирована специальная аппаратура [Флексер, Шипенко, 1961].

Предварительно в скважине выполняется гамма-каротаж. Затем ее заполняют активированной жидкостью с концентрацией от 0,5 до 1,0 *мкюри/м*^{3}, в которой растворена соль какого-либо из слабоадсорбируемых радиоактивных изотопов, например J^{131}, период полураспада которого равен 9 дням. После перемешивания делают ряд замеров интенсивности гамма-излучения через каждые 15—30 *мин*. В местах притоков подземных вод концентрация изотопов будет падать, что отметится уменьшением показаний на кривых гамма-каротажа. Скважинный прибор перед наблюдениями эталонируют и по результатам замеров определяют концентрацию изотопов.

Методика обработки и интерпретации совершенно аналогична описанной выше в электролитическом методе. Скорости фильтрации вычисляются по формуле (VII-4). Только вместо концентрации электролита берется концентрация изотопов.

Основное преимущество метода изотопов заключается в повышении четкости результатов. Это объясняется возможностью приготовления активированной жидкости с резко отличными свойствами по сравнению с под-

земными водами. Удельная активность раствора с концентрацией порядка 0,5—1,0 *мкюри/м*³ в 15—20 раз превышает естественную радиоактивность подземных вод. Метод изотопов можно применять в сильноминерализованных водах.

Термометрический метод основан на измерении температур в искусственно нагретой скважине небольшой глубины. С течением времени вода в скважине остывает вследствие переноса тепла движущейся жидкостью, конвекции, теплообмена с окружающими породами и ряда других факторов. В зоне активного водообмена наибольшие изменения температур произойдут, очевидно, за счет горизонтальной циркуляции подземных вод. Замеряя периодически температуру воды после нагревания скважины, можно вычислить скорость фильтрации по формуле [Матвеев, 1963]

$$v = \frac{1{,}81\,d}{m\,(t_2 - t_1)} \lg \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}, \qquad \text{(VII-8)}$$

где T_0 — температура воды до нагревания;
T_1 и T_2 — температура воды в моменты времени t_1 и t_2, остальные обозначения те же, что и в (VII-1).

Термометрический метод может быть использован для изучения движения минерализованных вод в зоне активного водообмена.

Определение направления и действительной скорости движения подземных вод методом заряженного тела

Метод заряженного тела применяется для изучения движения пресных или слабоминерализованных подземных вод, вскрытых одной скважиной, на глубине не выше 100 *м* (в зоне активного водообмена). Сущность его заключается в следующем.

В скважину до глубины подземного потока опускают пористые узкие мешки с поваренной солью. Соль растворяется движущейся жидкостью и раствор ее сносится потоком в водоносный пласт, образуя около скважины подвижную зону электролита, вытянутую по направлению потока. Причем передний ее фронт все время движется со скоростью, примерно равной скорости течения подземной воды, тогда как наиболее концентрированная часть раствора остается неподвижной около скважины.

Вместе с солью в скважину погружают один из электродов питающей электрической цепи, состоящей из источника тока и двух заземлений. Второе заземление относят на расстояние, в 10—12 раз превышающее глубину потока. После замыкания цепи в земле образуется сложное электрическое поле, обязанное токам, стекающим с заряженной зоны электролита и обсадной трубы (или столба электролита). Структуру поля и поведение его во времени изучают на поверхности земли с помощью электроразведочной аппаратуры. Практически измерения сводятся к съемке замкнутых вокруг устья скважины эквипотенциальных линий (или изолиний компонентов магнитного поля — при работе с переменным током).

За определенный цикл наблюдений снимают 2—3 замкнутые изолинии при разном положении неподвижного электрода. Те из них, которые замеряются до введения соли или сразу после засоления, называют базисными. Наблюдения продолжаются периодически в течение нескольких часов или 2—3 суток. К концу опыта надо иметь не менее трех изолиний для каждого положения неподвижного электрода с ясно наметившимся их смещением в сторону потока подземных вод.

В период обработки материалов наблюдений эквипотенциальные линии вычерчивают на миллиметровке в удобном масштабе. По всем изолиниям выделяют максимальные смещения ΔR и с точностью до 10°

определяют преобладающее их направление. Величину смещений определяют как расстояние по направлению потока между наиболее удаленной точкой выбранной изолинии и базисной изолинией. При этом в зависимости от положения неподвижного приемного электрода относительно вектора потока могут встретиться три случая, когда: а) все последующие изолинии смещаются во внешнюю сторону от базисной — положительные смещения; б) изолинии с течением времени смещаются внутрь базисной — отрицательные смещения; в) наблюдаются и те и другие смещения одновременно — смешанный вид.

В двух первых случаях величина максимального смещения равна абсолютному смещению изолиний по лучу, ближайшему к направлению потока,

$$\Delta S = |\Delta R_{\pm}|.$$

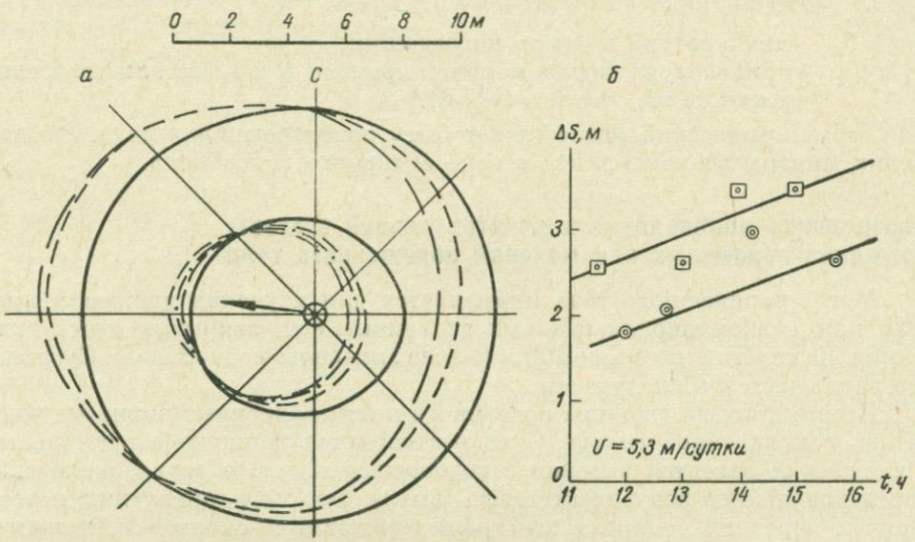


Рис. VII-6. Пример обработки результатов наблюдений по методу заряженного тела. *а* — эквипотенциальные линии; *б* — график зависимости смещений изолиний от времени наблюдения.

В третьем случае максимальное смещение равно сумме положительного и отрицательного смещений по прямой, проходящей через устье скважины и близкой к направлению потока,

$$\Delta S = |\Delta R_{+}| + |\Delta R_{-}|,$$

где ΔR_{+} и ΔR_{-} — смещения изолиний по взаимообратным лучам.

Для уточнения направления и скорости потока строят дополнительные графики-развертки и графики зависимости смещений изолиний от времени наблюдения (рис. VII-6). Нанесенные на график точки осредняют во избежание случайных ошибок. Если изолинии снимались на оптимальном удалении от скважины, то скорость потока вычисляется по формуле

$$u = \frac{\Delta S_2 - \Delta S_1}{t_2 - t_1}, \qquad \text{(VII-9)}$$

где $\Delta S_2 - \Delta S_1$ — величина максимального смещения за промежуток времени $t_2 - t_1$, снимаемая с осредненной прямолинейной части графика.

При вычислении скорости по изолиниям, снятым на расстояниях меньше оптимальных, необходимо учитывать влияние обсадных труб и столба соленой воды в скважине. Практически в таких случаях расчет ведется по другой формуле:

$$u = \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1}, \qquad \text{(VII-10)}$$

где $l_2 - l_1$ — увеличение длины зоны электролита за промежуток времени $t_2 - t_1$.

Длина зоны электролита l вычисляется по эмпирической формуле

$$\lg l_{1,2} = n \lg \Delta S_{1,2} + \lg a. \qquad \text{(VII-11)}$$

Для определения параметров n и a по наблюденным данным строят дополнительный график. По оси абсцисс в логарифмическом масштабе откладывают смещения ΔS, а по оси ординат тоже в логарифмическом масштабе время наблюдений t (час или сутки). График этой зависимости представляет собой прямую с угловым коэффициентом n. Точка пересечения прямой с вертикальной осью бланка, проходящей через абсциссу, равную единице, покажет искомую величину a (рис. VII-7). Подставляя n и a в формулу (VII-11), легко вычислить l_1 и l_2 для соответствующих смещений ΔS_1 и ΔS_2.

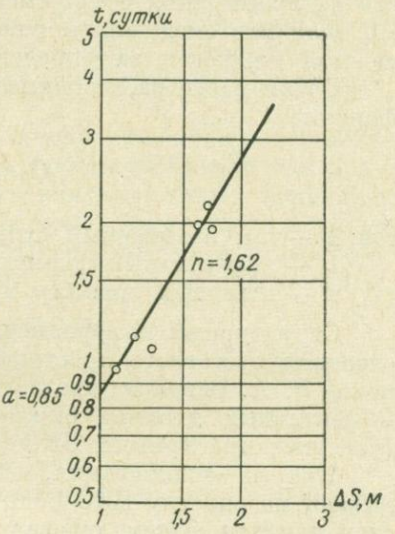


Рис. VII-7. Определение параметров h и a по наблюденным данным.

Найденные значения n и a справедливы только для тех эквипотенциальных линий, которые снимались при одном и том же фиксированном положении неподвижного приемного электрода. Для других изолиний они будут иметь иное значение.

Первый способ исключения влияния обсадных труб, предусматривающий съемку изолиний на большом удалении их от скважины, является более надежным.

Результаты обработки и интерпретации полевых наблюдений представляют на одном листе для каждой скважины с изображением ее разреза и примерной конструкции. Точность определения действительной скорости методом заряженного тела сравнима с точностью электролитического способа, известного в гидрогеологии под названием метода Слихтера.

Изучение водопоглощающих свойств пластов методом повторных БКЗ

Для определения водопоглощающих свойств пластов — удельного дебита и удельного водопоглощения по одиночной скважине применяется специальная методика повторных боковых каротажных зондирований (БКЗ) в сочетании с наливами воды. Метод предложен и разработан В. А. Ряполовой. Он используется в условиях пресных или слабоминерализованных подземных вод [Горелик и др., 1956]. Сущность метода повторных БКЗ заключается в следующем.

Скважину, выбранную для исследования, заполняют раствором поваренной соли такой концентрации, чтобы его удельное сопротивление

было бы по крайней мере в 5 раз меньше, чем удельное сопротивление пластовых вод. После засоления по всему водоносному интервалу производят первое измерение по методу БКЗ. Затем в скважину дополнительно заливают некоторое количество раствора той же концентрации и повышают уровень от 1 до 10 *м*, в зависимости от поглощения жидкости. Под влиянием избыточного давления часть соленой воды задавливается в проницаемые пласты. Наличие изменений в пластах вследствие проникновения в них раствора устанавливают в результате следующего повторного замера. Такие операции, налив и замер БКЗ, повторяют два раза.

По результатам измерений выделяют проницаемые пласты и строят кривые зондирования. Для каждого выделенного пласта получают три кривые БКЗ: одну до налива, при статическом уровне, две другие — во время налива. С течением времени глубина проникновения раствора увеличивается. На повторных кривых БКЗ это явление отмечается тем, что их левые ветви будут смещены вправо относительно первой кривой. По величине смещения можно сделать заключение о количестве поглощенной жидкости за определенный промежуток времени.

Объем раствора, проникшего в пласт мощностью h, вычисляется по формуле

$$Q_h = \beta h \frac{\pi}{4} (d_э^2 - d^2), \qquad \text{(VII-12)}$$

где β — так называемый структурный коэффициент;
$d_э$ — эффективный диаметр;
d — истинный диаметр скважины.

Структурный коэффициент изменяется от 1 до 5 в зависимости от строения пустотного пространства породы. Для песчаников и скальных пород В. А. Ряполова предлагает принимать $\beta = 2$ [Горелик и др., 1956]. Эффективный диаметр определяют путем сопоставления наблюденных (фактических) кривых БКЗ с теоретической палеткой БКЗ-Iа.

Кривые зондирования, полученные против выбранного пласта, накладывают на палетку БКЗ-Iа так, чтобы крест бланка (d, ρ_c) совпал с крестом палетки. Затем, смещая бланк с кривой влево, по линии $\rho_к = \rho_c$, добиваются совпадения интерпретируемой кривой с одной из теоретических кривых. Крест палетки укажет на оси абсцисс бланка величину эффективного диаметра. Найдя $d_э$ по всем кривым БКЗ, полученным при двух различных положениях уровней в скважине H' и H'', можно рассчитать расходы воды в пласт:

$$Q'_h = \beta h \frac{\pi}{4t'} (d'^2_э - d^2),$$
$$Q''_h = \beta h \frac{\pi}{4t''} (d''^2_э - d^2), \qquad \text{(VII-13)}$$

где t' — время, за которое произошло проникновение раствора при напоре H';
t'' — то же при напоре H'';
$d'_э$ и $d''_э$ — эффективные диаметры соответственно для двух напоров H' и H''.

Удельное водопоглощение и удельный дебит пласта определяют по формулам

$$q = \frac{Q''_h - Q'_h}{h(H'' - H')}; \qquad q_h = \frac{Q''_h - Q'_h}{H'' - H'}. \qquad \text{(VII-14)}$$

Изучение относительной водопроницаемости горных пород

Известно несколько способов выявления прницаемых пластов, основанных на изучении скорости вертикального движения жидкости по стволу скважины во время налива или нагнетания воды. Принцип их заключается в следующем.

В скважину с постоянной скоростью непрерывно закачивают (или наливают) фиксирующую жидкость: слабый раствор электролита, подогретую воду, активированную жидкость или др. С помощью резистивиметра, термометра или другого соответствующего прибора наблюдают за продвижением границы раздела между водой, находящейся в скважине, и закачиваемой жидкостью. Граница раздела будет опускаться с постоянной скоростью до тех пор, пока не встретит проницаемый пласт. Здесь скорость уменьшится, так как часть жидкости будет поглощаться пластом. Если ниже его находятся другие проницаемые слои, то скорость будет изменяться скачками, становясь все меньше и меньше, и, наконец, она станет практически равной нулю, когда граница раздела минует все места поглощения.

Зная скорость движения жидкости по стволу скважины и диаметр последней, легко вычислить расход воды для любого интервала как произведение скорости на площадь осевого сечения скважины. Величина водопоглощения равна разности расходов $Q_1 - Q_2$, замеренных выше и ниже проницаемого пласта. Отсюда, зная мощность пласта h и действующий напор H в метрах, можно рассчитать удельное водопоглощение по формуле

$$q = \frac{Q_1 - Q_2}{hH}. \qquad \text{(VII-15)}$$

Следует иметь в виду, что местные изменения скорости движения жидкости могут произойти за счет увеличения (или уменьшения) диаметра скважины. Для внесения соответствующих поправок надо иметь кавернограмму.

Определение мощности зоны питания скважины во время откачек

При откачках из неоднородных по проницаемости пластов приток подземных вод в скважину происходит неравномерно. Наибольшее количество воды поступает из хорошопроводящих горизонтов, тогда как другая часть пород практически не оказывает влияния на дебит откачки. Средний коэффициент фильтрации, рассчитанный по результатам откачек и обычно относимый ко всей мощности водоносных пород, может лишь грубо приближенно характеризовать их фильтрационные свойства. Поэтому очень важно при производстве откачек выделить в пределах изучаемого интервала зону водопроницаемых пород, за счет которой в основном осуществляется питание скважины.

Необходимые сведения можно получить одним из методов определения притоков. Так например, наблюдая во время откачки приток подземных вод с помощью резистивиметра, можно достаточно четко отметить нижнюю границу притока воды в скважину и на основании этого уточнить мощность зоны питания.

Перед началом опытных работ в зазор между трубой насоса и фильтром скважины опускают на кабеле резистивиметр (или гальваническую

пару — при электрохимическом методе исследования). До откачки записывают первую кривую сопротивления воды. Затем в скважину засыпают электролит — поваренную соль и перемешивают раствор резистивиметром. После засоления делают второй контрольный замер. Убедившись в хорошей подготовке скважины, включают насос и производят откачку с установкой на максимальное понижение. Во время откачки продолжают измерения сопротивления воды. По совокупности кривых сопротивления воды, снятых до откачки и во время откачки, можно сделать заключение о зоне притока и составить схему движения подземных вод вблизи опытной скважины.

Результаты геофизических наблюдений существенно расширяют и дополняют сведения о динамике подземных вод, полученные другими методами, и входят в общий отчет о гидрогеологических исследованиях.

МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ НЕФТИ И ГАЗА, СБРОСЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ГЛУБОКИЕ ГОРИЗОНТЫ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ГЛАВА VIII

А. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 1. Месторождения подземных вод

Как все другие виды полезных ископаемых, подземные воды в верхней части земной коры формируют определенные генетические типы месторождений, в пределах которых обычно и аккумулируется то или иное количество естественных запасов.

Из большого разнообразия генетических типов месторождений пресных подземных вод целесообразно выделить промышленные их типы, т. е. такие, которые на практике зарекомендовали себя основными поставщиками значительных эксплуатационных запасов при разрешении централизованного водоснабжения крупных городов, промышленных центров, горнорудных предприятий и других больших объектов.

В табл. VIII-А-1 на примерах Советского Союза приведена группировка основных промышленных типов месторождений подземных вод. В основу этой группировки положены природные условия, закономерности формирования, накопления и распределения естественных запасов подземных вод в определенных геолого-тектонических структурах, а также практическое значение месторождений при организации централизованного водоснабжения крупных объектов.

Более мелкие месторождения подземных вод, запасы которых могут быть использованы только при разрешении децентрализованного водоснабжения отдельных мелких объектов (например, объектов сельского хозяйства), в таблице не рассматриваются.

Учитывая принятый принцип группировки, все известные в Советском Союзе промышленные типы месторождений подземных вод, за исключением зоны распространения многолетней мерзлоты, для которой группировка месторождений рассмотрена раздельно, могут быть подразделены на две основные группы, имеющие следующие принципиальные отличия (табл. VIII-А-1).

а) Различны граничные условия верхней поверхности водоносного горизонта; для первой группы месторождений эта поверхность свободная, а для второй — напорная и определяется положением верхнего водоупорного пласта.

Отличие указанных условий заключается в том, что при эксплуатации в безнапорных условиях происходит частичное осушение пласта, т. е. уменьшение его мощности, в то время как для напорных вод мощность пласта остается неизменной, если уровень воды при эксплуатации не понижается ниже кровли.

б) На большинстве месторождений второй группы формируется упругий режим напорных вод, накладывающий часто свой существенный

Группы месторождений	Типы месторождений	Подтипы
I. Месторождения с безнапорным уровнем	1. Месторождения грунтовых вод аллювиальных песчано-галечниковых отложений речных долин и флювиогляциальных отложений зандровых равнин	а) В широких речных долинах и зандровых равнинах
		б) В узких (до 1 *км*) речных долинах
		в) В погребенных долинах
	2. Месторождения трещинно-карстовых вод карбонатных пород	а) Замкнутых бассейнов в небольших мульдах (на ограниченной площади)
		б) Открытых бассейнов (на большой площади распространения карбонатных пород)
II. Месторождения с напорным уровнем	3. Месторождения, приуроченные к крупным артезианским бассейнам платформенного типа	Не подразделяются
	4. Месторождения, приуроченные к артезианским бассейнам геосинклинального типа	а) Замкнутых изолированных бассейнов (не имеющих связи с окружающими структурами)
		б) Открытых бассейнов, и имеющих взаимосвязь с прилегающими водоносными структурами
	5. Месторождения, приуроченные к песчано-галечниковым отложениям конусов выноса предгорных шлейфов	Не подразделяются
	6. Месторождения трещинно-жильных вод зон тектонических нарушений	а) Краевых зон нарушений
		б) Внутрискладчатых зон нарушений
	7. Месторождения напорных вод флювиогляциальных, межморенных четвертичных отложений	Не подразделяются

Таблица VIII-А-1

подземных вод, по Н. И. Плотникову

Разновидности	Практическое значение месторождений
А. Месторождения с благоприятными условиями возобновления запасов и привлечения дополнительных ресурсов при эксплуатации (наличие постоянно действующих рек, водоемов и условий перетекания)	Имеют большое значение. Главные поставщики эксплуатационных запасов при крупном централизованном водоснабжении (известны дебиты водозаборов до 3—5 *м³/сек*)
	Имеют ограниченное значение (известны дебиты водозаборов — 0,25—0,5 *м³/сек*)
	Имеют ограниченное значение (известны дебиты водозаборов — 0,5—1,0 *м³/сек*)
	Имеют большое значение. Один из основных поставщиков эксплуатационных запасов при централизованном водоснабжении (известны дебиты водозаборов до 1—3—5 *м³/сек*)
	Имеют большое значение. Главный поставщик эксплуатационных запасов при крупном централизованном водоснабжении (известны дебиты водозаборов — 0,5—1,3 *м³/сек*)
Б. Месторождения с неблагоприятными условиями возобновления запасов и отсутствием условий привлечения дополнительных ресурсов при эксплуатации (практически источники питания и возобновления отсутствуют)	Имеют ограниченное значение и ограниченные эксплуатационные возможности
	Имеют большое значение. Один из основных поставщиков эксплуатационных запасов при централизованном водоснабжении (известны дебиты водозаборов до 0,5—1—2 *м³/сек*)
	Распространены редко, но имеют большое значение (известны водозаборы с дебитом до 1—3 *м³/сек*)
	Имеют ограниченное значение и ограниченную эксплуатационную возможность (известны водозаборы с дебитом до 0,1—0,5 *м³/сек*)
	Распространены в областях четвертичного оледенения, где они имеют большое практическое значение (возможные дебиты водозаборов до 1,0—1,5 *м³/сек*)

отпечаток на условия длительной эксплуатации, а следовательно, на оценку эксплуатационных запасов.

По условиям накопления естественных ресурсов и эксплуатационной возможности в каждой группе выделяются типы и подтипы месторождений.

По условиям питания и возобновления запасов все подтипы промышленных месторождений подземных вод подразделены на две разно-

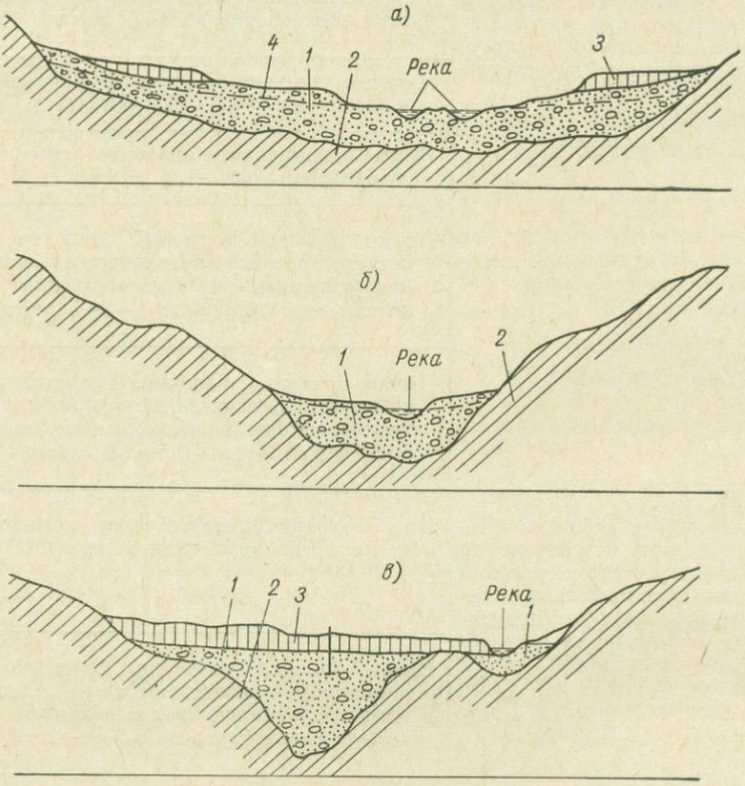


Рис. VIII-1. Месторождения грунтовых вод аллювиальных отложений (первый тип). *а* — первый подтип — широкие речные долины с фронтом потока грунтовых вод до 10—15—20 *км* и мощностью аллювиальных отложений от 30—50 до 100—200 *м*; *б* — второй подтип — узкие речные долины с фронтом потока грунтовых вод до 1 *км*, мощностью аллювиальных отложений от 20—30 до 50—60 *м*; *в* — третий подтип — погребенные речные долины, где подземные воды песчано-галечниковых отложений лишены связи с рекой.

1 — аллювиальные песчано-галечниковые водоносные отложения; *2* — слабопроницаемые породы, слагающие коренное ложе речных долин; *3* — суглинки; *4* — уровень грунтовых вод.

видности: месторождения с благоприятными условиями возобновления ресурсов и привлечения дополнительных запасов при эксплуатации, месторождения, на площади которых такие благоприятные природные условия отсутствуют.

Наибольшим распространением пользуются месторождения первого типа.

В практике Советского Союза, особенно в Средней Азии, известны эксплуатационные участки на месторождениях первого типа с суммарным дебитом водозаборов до 3—5 $м^3/сек$.

Гидрогеологическая особенность первого типа промышленных месторождений заключается в близком залегании уровней грунтовых вод от

дневной поверхности, что является благоприятным для их разведки и эксплуатации (рис. VIII-1).

Почти на всех месторождениях первого типа четко отмечается активная гидравлическая взаимосвязь грунтовых вод с поверхностными водами речной сети — основным источником возобновления и привлечения дополнительных запасов в период эксплуатации.

Учитывая, что граничные условия потока подземных вод в плане играют существенную роль в оценке эксплуатационных запасов и формирования режима уровня на водозаборе, целесообразно месторождение грунтовых вод подразделить на два подтипа (табл. VIII-А-1):

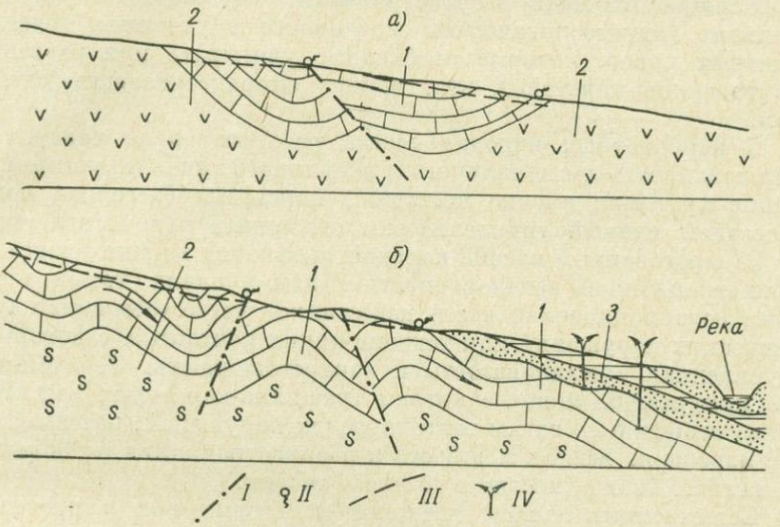


Рис. VIII-2. Месторождения трещинно-карстовых вод (второй тип). *а* — замкнутый бассейн с фронтом потока трещинно-карстовых вод до 3—5 *км* и мощностью горизонта 150—300 *м*; *б* — открытый бассейн трещинно-карстовых вод значительной площади распространения, мощность горизонта — 300—1000 *м*.

1 — водоносные, трещиноватые и закарстованные карбонатные породы (известняки, доломиты, мраморы); *2* — слабопроницаемые трещиноватые породы (эффузивы, сланцы); *3* — рыхлые песчано-глинистые отложения (пески водоносные).
I — зона тектонических нарушений; *II* — родники; *III* — уровень трещинно-карстовых вод; *IV* — фонтанирующие скважины.

а) месторождения в широких речных долинах и зандровых равнинах, гидрогеологическая обстановка которых практически может отвечать условиям «бесконечного пласта»;

б) месторождения в узких речных и погребенных долинах, гидрогеологическая обстановка которых может отвечать условиям «полуограниченного пласта» или «пласта-полосы».

Большой практический интерес имеют промышленные месторождения второго типа, представленные бассейнами трещинно-карстовых вод карбонатных горных пород (рис. VIII-2). Карбонатные породы, благодаря своей химической активности, среди всех литологических разностей трещиноватых скальных пород, обладают самыми высокими коллекторскими свойствами. Именно поэтому в известняках, как правило, формируются крупные запасы трещинно-карстовых вод.

На площади некоторых месторождений второго типа на Урале, в Казахстане и Средней Азии известны водозаборные участки с эксплуатационным водоотбором до 1—2 $м^3/сек$, иногда до 3,0 $м^3/сек$ и более.

В промышленной группировке выделено два подтипа бассейнов трещинно-карстовых вод — в замкнутых и открытых геологических структурах.

Первый подтип объединяет ограниченные по площади бассейны трещинно-карстовых вод, имеющих такие геологоструктурные условия, при которых образуются относительно замкнутые или почти замкнутые гидрогеологические районы. Такие месторождения часто встречаются по восточному склону Урала, в Салаирском кряже, в Казахстане и Средней Азии.

Второй подтип месторождений объединяет открытые бассейны, имеющие большую площадь распространения.

Главные гидрогеологические особенности в условиях водоносности карбонатных пород, которые необходимо учитывать при разведке бассейнов трещинно-карстовых вод, можно охарактеризовать следующим образом.

1) В карбонатных породах всегда распространена трещиноватость и закарстованность регионального и локального типов (крупные и мелкие карстовые пустоты); именно поэтому в карстовых бассейнах подземные воды создают единый гидравлически связанный водоносный горизонт.

2) Закарстованный массив карбонатных пород характеризуется большой фильтрационной неоднородностью, как в плане, так и в разрезе; наиболее водопроницаемая часть известняков часто отмечается по зонам тектонических нарушений или тектонических контактов, с которыми связаны усиленная трещиноватость и закарстованность. К таким зонам обычно приурочены мощные потоки трещинно-карстовых вод. Крупные трещины, особенно по зонам тектонических нарушений, рассекают карбонатные породы на всю их мощность и распространяются на большие глубины намного ниже местного базиса эрозии.

3) Естественные запасы трещинно-карстовых вод в пределах бассейна аккумулируются главным образом ниже отметок местного базиса эрозии; выше местного базиса эрозии в известняках распространена зона инфлюации.

Крупное промышленное значение месторождений трещинно-карстовых вод требует пристального и тщательного их изучения.

Вторая группа объединяет пять типов месторождений подземных вод с напорным уровнем.

Для платформенных областей наиболее характерными являются месторождения, приуроченные к крупным артезианским бассейнам. Основные гидрогеологические их особенности следующие.

1) Артезианские бассейны обычно имеют значительную площадь распространения и в гидрогеологическом отношении представляют довольно сложную систему водоносных горизонтов.

2) Для подземных вод артезианских бассейнов в большинстве случаев отмечается определенная гидрохимическая закономерность, выражающаяся в постепенном увеличении степени их минерализации и изменении химического состава вод по мере увеличения глубины залегания и движения от периферии к центральной части бассейнов.

3) На площади месторождения формируются крупные естественные запасы подземных вод.

4) В плане граничные условия отдельных участков месторождений практически отвечают «условиям бесконечного пласта».

Описываемый тип месторождения подземных вод на территории СССР широко распространен; по своим большим эксплуатационным возможностям месторождения играют исключительно важную роль в разрешении проблем крупного централизованного водоснабжения.

В геосинклинальных областях распространены месторождения напорных вод, в мелких артезианских бассейнах, в межгорных впадинах, в синклинальных складках второго и третьего порядков, в моноклинальных структурах краевых частей хребтов. В таких бассейнах водоносными могут быть различные по литологическому составу породы: рыхлые песчано-гравелистые отложения, слабосцементированные песчаники или закарстованные известняки (рис. VIII-3).

По условиям формирования упругого режима среди малых артезианских бассейнов можно выделить два подтипа.

1) Замкнутые, почти изолированные артезианские бассейны, не имеющие четко выраженной области питания и тесной связи с окружаю-

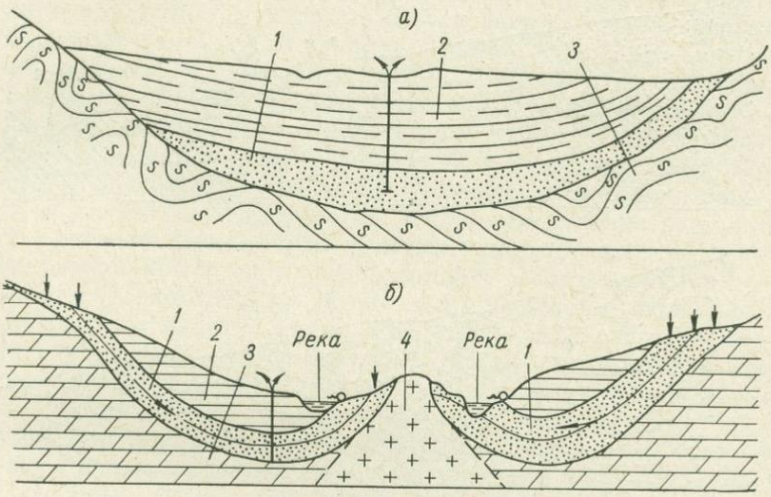


Рис. VIII-3. Месторождения напорных вод артезианских бассейнов геосинклинального типа (четвертый тип). *а* — замкнутый бассейн, практически лишенный источников возобновления запасов напорных вод; *б* — открытый (проточный) бассейн с четко выраженной областью питания и дренирования.

1 — пески, песчаники напорного водоносного горизонта; *2* — непроницаемые породы (глины, сланцы); *3* — слабопроницаемые породы; *4* — граниты.

щими водоносными структурами, с ограниченными естественными запасами напорных вод; такие природные условия отвечают упруго-замкнутому режиму.

2) Открытые артезианские бассейны, имеющие тесную гидравлическую связь с прилегающими водоносными структурами, четко выраженную область питания и разгрузки напорных вод в виде родникового стока; такая природная обстановка соответствует условиям формирования на месторождении упруго-водонапорного режима.

На площади второго подтипа месторождений часто формируются довольно крупные естественные запасы подземных вод.

Месторождения пятого типа, приуроченные к песчано-галечниковым отложениям конусов выноса предгорного шлейфа, распространены (рис. VIII-4) в горноскладчатых областях Средней Азии, Казахстана и Кавказа.

В распределении подземных вод на площади конусов выноса устанавливается горизонтальная гидрогеологическая зональность. В вершине конусов выноса расположена зона основного питания, глубина залегания уровня подземных вод здесь наибольшая, за которой далее следует зона

погружения, а затем зона высоких напоров с частичной разгрузкой подземных вод в виде родникового стока.

Эти гидрогеологические особенности артезианских бассейнов конусов выноса являются весьма характерными и могут служить поисковым критерием при разведке данного типа месторождений.

К шестому типу отнесены месторождения, в пределах которых подземные воды напорного типа приурочены к зонам крупных тектонических нарушений. В отличие от всех ранее рассмотренных месторождений подземные воды здесь имеют не площадное распространение, а залегают

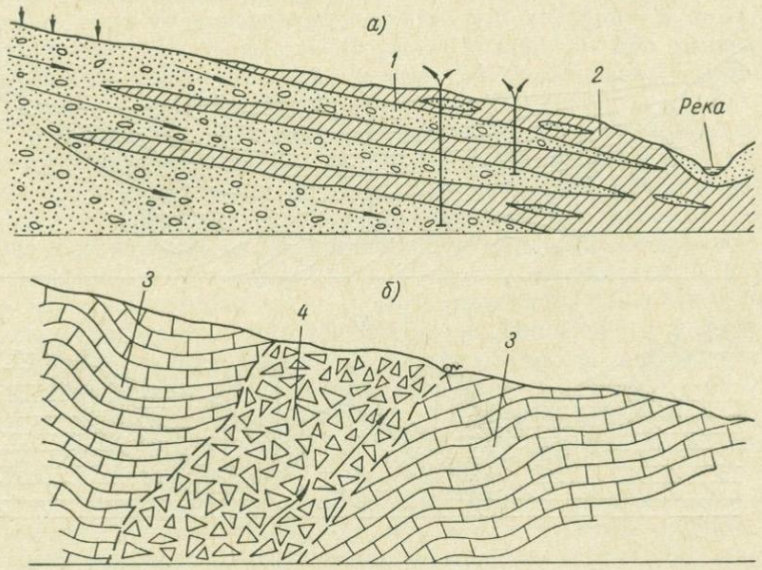


Рис. VIII-4. Месторождения напорных вод.
а — месторождение напорных вод песчано-галечниковых отложений. Конусы выносов предгорного шлейфа (пятый тип);
б — месторождение трещинно-жильных вод зоны брекчирования тектонического нарушения (шестой тип).

1 — песчано-галечниковые водоносные породы; *2* — суглинки, глины — непроницаемые породы; *3* — известняки; *4* — зона брекчирования по тектоническому нарушению — водоносная.

в форме линейновытянутых узких потоков, располагающихся в зонах дробления дизъюнктивных структур. Описываемый тип месторождений является характерным для горноскладчатых областей (рис. VIII-А-4). Месторождения с крупными запасами трещинно-жильных вод в этих районах нередко приурочиваются к тектоническим нарушениям краевых частей горных сооружений (первый подтип месторождений). Меньшее практическое значение имеют месторождения второго подтипа, приуроченные к внутрискладчатым зонам тектонических нарушений — простым и сложным сбросам или надвигам, нередко глубокого заложения.

Представляют большой практический интерес месторождения напорных вод флювиогляциальных межморенных песчано-гравийных отложений, распространенных в областях древнего четвертичного оледенения (седьмой промышленный тип месторождений).

§ 2. Гидрогеологические исследования на месторождениях подземных вод вне области многолетней мерзлоты

Каждый промышленный тип месторождений подземных вод, кратко охарактеризованный выше, имеет свои специфические природные условия формирования, что обусловливает применение различных методов поисков, разведки и подсчета их запасов. Так, например, при изучении первого и пятого типов месторождений грунтовых вод аллювиальных отложений и конусов выноса крайне необходимо проведение специальной геоморфологической съемки.

При разведке месторождений трещинно-карстовых вод необходимо проводить специальные структурные исследования по изучению трещиноватости и закарстованности карбонатных пород, а при бурении гидрогеологических скважин применять различные способы их опробования (обработка скважин соляной кислотой, бурение многозабойных скважин и др.).

Особое значение при выборе методики разведки и гидрогеологических исследований имеют природные факторы, определяющие благоприятные условия для возобновления ресурсов подземных вод и привлечения дополнительных запасов при эксплуатации, например, наличие постоянно действующих водотоков речной сети позволяет организовать на месторождении инфильтрационный план водозаборного сооружения.

Используя рассмотренную выше классификацию подземных вод, можно при решении практических задач по централизованному водоснабжению в предварительном виде определить общее направление гидрогеологических исследований, содержание методики разведки и выбрать способ оценки эксплуатационных запасов подземных вод.

Естественно, что наряду с некоторыми индивидуальными особенностями все промышленные типы месторождений подземных вод имеют и общие принципы в методике проведения гидрогеологических работ.

В соответствии с действующим положением разведка вновь открытых месторождений полезных ископаемых, в том числе месторождений подземных вод, должна производиться в две стадии: а) стадия предварительной и б) стадия детальной разведки.

Такое требование оказывает свое влияние на методику проведения гидрогеологических исследований для целей водоснабжения.

В стадии предварительной разведки должны быть разрешены основные гидрогеологические вопросы по месторождению, к которым следует отнести:

1) изучение условий формирования и накопления естественных запасов подземных вод;

2) выявление общих естественных их запасов (статических и динамических), определение источников питания и возобновление запасов;

3) предварительную оценку эксплуатационных запасов подземных вод преимущественно по перспективным категориям С;

4) сравнительную оценку эксплуатационных возможностей отдельных участков месторождения и выбор наиболее благоприятной площади для рационального размещения будущего водозаборного сооружения.

Отчет о результатах предварительной разведки является основным документом для составления технико-экономического доклада по месторождению. В нем должны быть рассмотрены вопросы экономической целесообразности промышленного освоения месторождения, одобрен выбранный участок под детальную разведку.

В период предварительной разведки месторождений можно рекомендовать следующий комплекс гидрогеологических работ.

1) Различные виды съемок — гидрогеологическая, комплексная геолого-гидрогеологическая (при отсутствии готовой геологической оценки), геологоструктурная и геоморфологическая.

Съемочные работы мелкого масштаба 1 : 100 000, 1 : 200 000 выполняются, как правило, по всей площади месторождения (за исключением артезианских бассейнов платформенного типа) и сопровождаются бурением поисково-картировочных скважин.

2) Геофизические методы исследования, используемые при изучении месторождений подземных вод, по своему содержанию можно подразделить на поисковые и разведочные.

Поисковые геофизические исследования производятся на широкой площади месторождения и выполняются параллельно со съемочными работами (электропрофилирование и электрозондирование) с целью изучения морфологии погребенных долин, установления мощности рыхлых водоносных образований, выявления участков, благоприятных в гидрогеологическом отношении для размещения и бурения поисково-разведочных скважин.

3) Разведка основных водоносных горизонтов месторождения. Осуществляется преимущественно буровыми скважинами.

При этом глубина поисковых и разведочных скважин и степень вскрытия мощности промышленного водоносного горизонта устанавливаются исходя из необходимости обеспечения наиболее эффективной их производительности.

Основное требование при размещении буровых скважин заключается в необходимости получения наиболее полной характеристики гидрогеологических условий района, площади распространения основных водоносных горизонтов и обоснования выбора участка для последующей детальной разведки.

Разведку большинства промышленных типов месторождений подземных вод следует производить системой поисковых и разведочных профилей, так как в подавляющем большинстве случаев водозаборные сооружения представлены в виде линейного ряда взаимодействующих скважин.

Наиболее рациональным следует считать параллельно-последовательную проходку скважин на профилях. По этой методике проходка поисково-разведочных гидрогеологических скважин может быть осуществлена одновременно на нескольких поперечниках (например на двух); при этом бурение скважин на каждом профиле осуществляется последовательно после завершения предыдущей, что дает возможность в каждом случае корректировать проектное расположение скважин на профилях.

При разведке трещинно-жильных вод поисково-разведочный профиль целесообразно размещать вкрест простирания тектонического нарушения, изучая при этом и более глубокие горизонты.

Важным при разведке месторождений подземных вод является выбор расстояний между поисковыми и разведочными профилями, а также расстояний между буровыми скважинами при их расположении непосредственно по профилю.

Относительно проще этот вопрос может быть решен при детальной стадии разведки эксплуатационного участка, когда должна быть предварительно выбрана схема будущего водозаборного сооружения (схема расположения скважин, расстояние между разведочными скважинами, их количество, проектная глубина и конструкция).

Сложнее решить этот вопрос для стадии предварительной разведки. Опираясь на сложившийся опыт разведки при выборе расстояний между профилями и внутри профиля, необходимо учитывать следующие факторы: размеры общей площади месторождения, степень сложности гидро-

геологических и гидрохимических условий месторождения, степень геологической и гидрогеологической изученности района в целом и площади месторождения, заявленную потребность в воде и соотношение этой потребности с величиной естественных запасов на изучаемом месторождении.

При выборе расстояний между профилями и скважинами можно пользоваться также рекомендациями действующей инструкции ГКЗ по применению эксплуатационных запасов подземных вод.

Не менее важным в методике гидрогеологических исследований является выбор глубины разведки.

Имеющийся опыт показывает, что при разведке, например, месторождений трещинно-карстовых вод геосинклинальных областей вполне эффективной является глубина разведки известняков до 200—300 *м*, иногда до 500 *м*. Если мощность водоносного горизонта не превышает 100 *м*, то на всех типах месторождений, как правило, ее следует вскрывать буровыми скважинами полностью.

Если мощность водоносного горизонта на месторождениях грунтовых вод достигает 150—200 *м* и более, то целесообразно вскрывать полную мощность только отдельными структурными или поисковыми скважинами. При этом должен быть изучен вопрос о выборе наиболее оптимальной глубины собственно разведочных эксплуатационных скважин, при которой обеспечивается максимальная производительность выработок. При разведке артезианских бассейнов целесообразно вскрывать всю мощность напорных водоносных горизонтов.

Буровые гидрогеологические скважины при разведке месторождений пресных подземных вод по своему назначению и техническим конструкциям можно подразделить на три группы: поисковые, наблюдательные и разведочные.

По глубине заложения в каждой группе могут быть мелкие скважины (глубиной до 100 *м*), средней глубины (от 100 до 500 *м*) и глубокие (свыше 500 *м*).

Бурение глубоких разведочных, тем более наблюдательных скважин рекомендуется осуществлять одноколонной конструкцией (рис. VIII-5) и опробование водоносных горизонтов производить по методике, разработанной практикой нефтяной промысловой геологии: вскрытие водоносных пластов способом перфорации колонны.

4) Количественное и качественное опробование вскрытых водоносных горизонтов производится с помощью откачек (пробных) и отбора проб воды с последующим выполнением лабораторных анализов. По данным опытных откачек производится также и определение расчетных гидрогеологических параметров пласта (см. главы XI, XII, том 1 и главу III, том 2).

С учетом результатов опытных откачек в совокупности с другими гидрогеологическими данными (мощность водоносного горизонта, условия питания подземных вод, рациональное размещение будущих эксплуатационных скважин и др.) производится выбор и обоснование участка для последующей детальной разведки.

Продолжительность опытных откачек не может быть стандартной в связи с разнообразием природных условий. Она определяется в каждом конкретном случае в зависимости от задач, поставленных перед откачкой, с учетом гидрогеологической и гидрохимической сложности месторождения, граничных условий потока в плане и т. д. С этой целью в процессе выполнения опытных работ непосредственно на месте откачки рекомендуется производить построение различных графиков откачки, с помощью и по данным которых можно устанавливать необходимую продолжительность откачек.

Для предварительных, главным образом, проектно-сметных соображений в отношении определения продолжительности откачек, можно пользоваться рекомендациями, приведенными в действующей инструкции ГКЗ по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод.

Оценку качества подземных вод необходимо производить с учетом возможного изменения химического состава по площади и на глубину распространения водоносного горизонта, а также прогноза будущей эксплуатации.

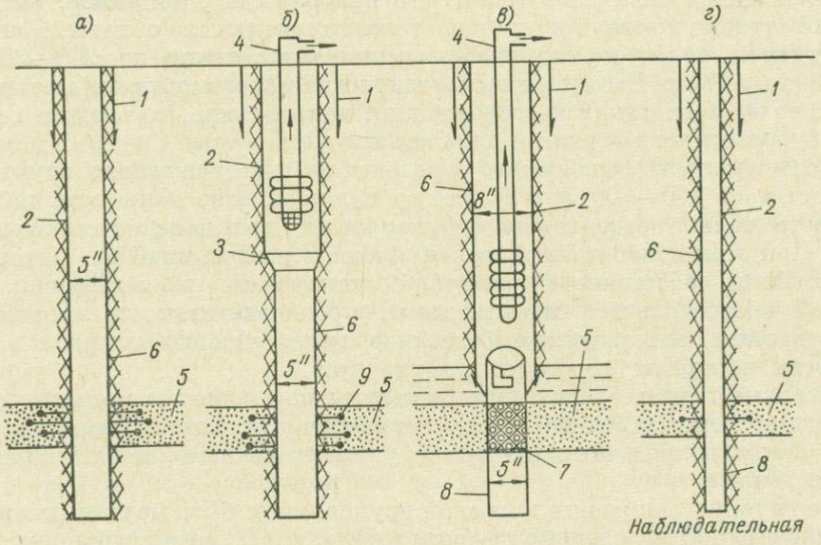


Рис. VIII-5. Одноколонные конструкции гидрогеологических скважин. *а* — одноколонная конструкция; *б* — одноколонная комбинированная конструкция; *в* — конструкция скважины с погруженным фильтром.

1 — кондуктор; *2* — рабочая колонна; *3* — переходник; *4* — глубинный насос; *5* — водоносный горизонт; *6* — цементное кольцо; *7* — фильтр; *8* — отстойник; *9* — перфорация.

Для получения достоверных и объективных данных, отражающих качество подземных вод, необходимо производство контрольных анализов в арбитражных химических лабораториях.

5) Особое место при разведке месторождений занимают специальные исследования по комплексному изучению режима подземных вод: изучению режима уровней, химического состава, источников питания, расходов родников и т. д.

Одним из ценных методических приемов прогнозной оценки режима эксплуатационных запасов в многолетнем разрезе является составление интегральных кривых, характеризующих по району месторождения изменения по многолетним данным (до 25—50 лет) атмосферных осадков или расходов рек (рис. VIII-6). Интегральные кривые позволяют четко установить цикличность в многолетнем режиме источников питания подземных вод, охарактеризовать продолжительность циклов с минимальными значениями осадков или расхода рек. На основании этих данных представляется возможность произвести оценку эксплуатационных запасов подземных вод с учетом соответствующих поправочных коэффициентов.

6) Камеральная обработка материалов и подсчет запасов подземных вод является завершающим этапом стадии предварительной разведки месторождений.

Как отмечалось ранее, результаты предварительной гидрогеологической разведки служат обоснованием: а) выбора на площади месторождения участка под детальную разведку с перспективной оценкой по этой площади эксплуатационных запасов подземных вод; б) составления совместно с проектной организацией технико-экономического доклада и определения целесообразности проведения дальнейших детальных исследований; в) для составления проекта детальной разведки.

Для стадии детальной разведки на площади участков, выбранных под будущие водозаборные сооружения, можно рекомендовать следующий состав основных видов гидрогеологических работ.

1) Крупномасштабная гидрогеологическая съемка на площади детальной разведки с целью составления различных гидрогеологических карт и использования детальных карт для подсчета эксплуатационных запасов подземных вод; масштабы съемок выбираются в зависимости от площади разведочного участка — от 1 : 5000 до 1 : 25 000.

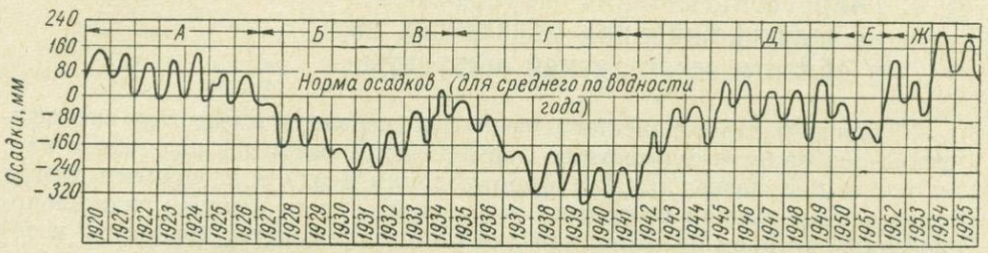


Рис. VIII-6. Разностная интегральная кривая атмосферных осадков за период 1920—1955 гг.

А, Ж — циклы, отвечающие выше среднему по водности году; *Б, Г, Е* — циклы, отвечающие ниже среднему по водности году.

2) Бурение на площади участка разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин, которые должны размещаться на участке применительно к выбранной схеме водозаборного сооружения.

3) Детальные разведочные геофизические исследования на гидрогеологических скважинах; выполнение, преимущественно, комплекса каротажных работ и других геофизических методов исследования.

4) Детальное количественное опробование водоносных горизонтов и определение основных расчетных гидрогеологических параметров пластов с помощью опытных кустовых и групповых откачек (определения коэффициентов: проводимости пласта, фильтрации, пьезопроводности, уровнепроводности, водоотдачи и др.).

Кустовые и групповые откачки при разведке месторождений подземных вод с напорным уровнем должны производиться в условиях неустановившейся фильтрации потока — при одном постоянном дебите и непрерывном снижении уровня.

Для месторождений первой группы при наличии активной гидравлической связи с рекой откачки производятся в условиях стационарного режима фильтрационного потока.

В процессе детальной разведки наиболее трудоемкими являются продолжительные по времени пробно-эксплуатационные откачки.

Такие откачки рекомендуется выполнять на тех месторождениях подземных вод, на которых невозможно применить строгие гидрогеологические расчеты для оценки эксплуатационных запасов и их обеспеченности.

5) Продолжение исследований по комплексному изучению режима подземных вод, а в случае необходимости и поверхностных вод.

6) Изучение санитарно-технических и бактериологических условий участка будущего водозабора с целью выбора и обоснования зон санитарной охраны источника водоснабжения (см. § 2 главы XXIV, том 1).

7) Камеральная обработка материалов детальной разведки с подсчетом эксплуатационных запасов подземных вод и утверждения запасов в ГКЗ.

Приведенный выше перечень основных видов гидрогеологических исследований для стадии предварительной и детальной разведки месторождений подземных вод не следует рассматривать как стандартные рекомендации для всех разнообразных природных условий. Этот перечень следует оценивать в целом как один из основных принципов, определяющих методику поисков и разведки промышленных типов месторождений подземных вод.

§ 3. Гидрогеологические исследования на месторождениях подземных вод в области многолетней мерзлоты

Область распространения многолетней мерзлоты имеет свои специфические особенности в условиях формирования ресурсов подземных вод, их поисков и разведки. Для формирования различных промышленных типов месторождений подземных вод в этой области важным гидрогеологическим фактором является мерзлая зона земной коры, мощность которой иногда достигает до 400—600 *м*.

К сожалению, огромная площадь распространения на территории СССР многолетней мерзлоты очень слабо изучена. Не накоплен и опыт разведки и эксплуатации поземных вод.

Учитывая специфические мерзлотно-гидрогеологические условия в области распространения многолетней мерзлоты можно выделить три промышленных типа месторождений подземных вод (табл. VIII-А-2).

Большой практический интерес по своим эксплуатационным возможностям представляет первый тип промышленных месторождений подземных вод, представленный потоками безнапорных грунтовых вод песчано-галечниковых отложений речных подрусловых и подозерных сквозных таликов.

Месторождения этого типа распространены в таких долинах крупных рек или в котлованах крупных озер, поверхностные потоки которых никогда не промерзают зимой до дна. В песчано-галечниковых образованиях формируется подземный поток надмерзлотных вод, гидравлически связанный с поверхностными водами (рис. VIII-7).

В районах распространения мощной толщи мерзлых пород первый тип промышленных месторождений имеет большое практическое значение. На базе эксплуатационных запасов грунтовых вод надрусловых таликов вполне можно организовать централизованное водоснабжение крупных объектов с общим водопотреблением до 30—500 *л/сек* и более.

Наибольшее практическое значение имеют месторождения, представленные артезианскими бассейнами напорных подмерзлотных подземных вод (месторождения II типа).

Исследованиями было установлено, что в процессе промерзания гидрогеологических массивов на дне долин и тектонических депрессий в трещиноватых породах и в складчатых структурах различного литологического состава формируются водонапорные системы. Мерзлая зона в данных случаях служит водоупорной кровлей для таких систем.

На больших глубинах ввиду затрудненного водообмена водоносной структуры подмерзлотные воды нередко имеют повышенную минерализацию и по своему составу непригодны для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

По условиям формирования и накопления подземных вод, а также промышленному значению внутри данного типа месторождений можно выделить два следующих подтипа:

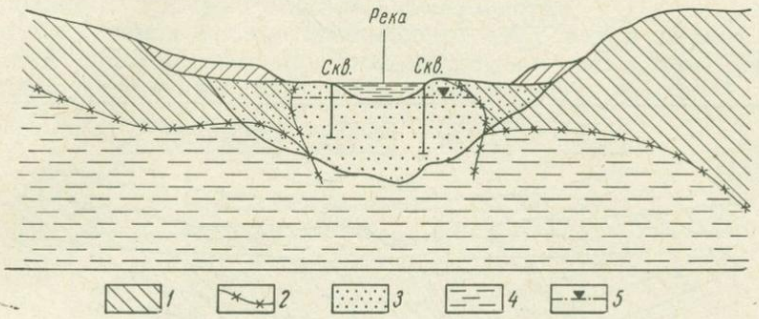


Рис. VIII-7. Грунтовые воды подруслового сквозного талика.

1 — многолетнемерзлые породы; *2* — нижняя граница мерзлоты; *3* — песчано-галечниковые аллювиальные отложения; *4* — зона распространения подмерзлотных вод; *5* — уровень грунтовых вод подруслового талика.

Таблица VIII-А-2

Промышленные типы месторождений подземных вод для области распространения вечной мерзлоты, по Н. И. Плотникову

Типы	Наименование типов	Подтипы	Практическое значение
I	Потоки безнапорных надмерзлотных вод песчано-галечниковых отложений подрусловых и подозерных сквозных таликов	Не подразделяются	Имеют очень большое практическое значение. На базе использования эксплуатационных запасов вод можно обеспечить централизованное водоснабжение с потреблением до 300—500 *л/сек*
II	Артезианские бассейны подмерзлотных напорных вод	В мелких складчатых структурах или тектонических впадинах	Имеют большое практическое значение. Дебит отдельных скважин может достигать 10—20 *л/сек*; при централизованном водоснабжении суммарный дебит водозабора может достигать 200—300 *л/сек*
		В трещиноватой зоне слабо- или сложнодислоцированных пород	Имеет меньшее практическое значение. Дебит отдельных скважин может доходить до 3—5 *л/сек*, реже 10 *л/сек*
III	Напорные межпластовые потоки сквозных таликов зон тектонических нарушений	Не подразделяются	Имеют большое практическое значение. При централизованном водоснабжении суммарный дебит водозабора может достигать 100 *л/сек*

1) малые артезианские бассейны, приуроченные к мелким синклинальным складкам и мелким тектоническим впадинам (рис. VIII-8, а, б), — промороженные артезианские бассейны;

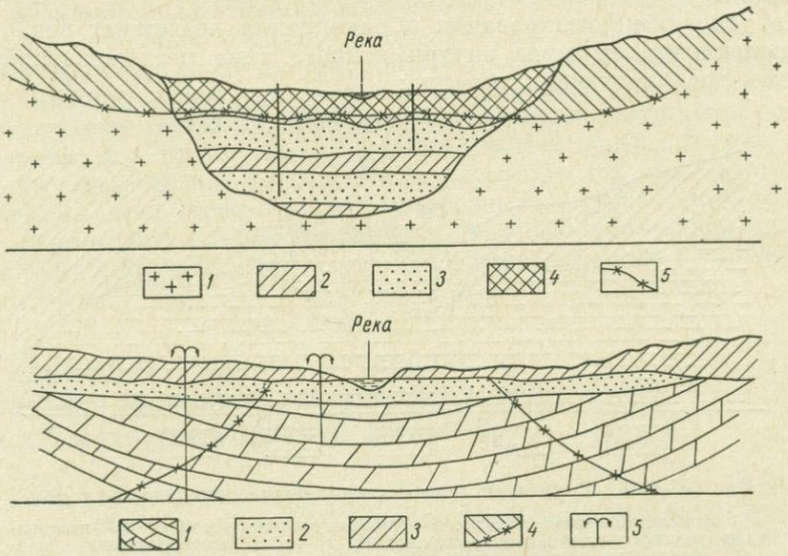


Рис. VIII-8. Артезианские бассейны подмерзлотных вод.

а — в тектонической депрессии; *1* — граниты; *2* — глины; *3* — водоносные песчано-гравелистые отложения; *4* — многолетнемерзлые породы; *5* — нижняя граница многолетней мерзлоты; *б* — в синклинальной мелкой складке; *1* — водоносные карбонатные породы; *2* — водоносные песчано-гравелистые отложения; *3* — суглинки; *4* — нижняя граница многолетней мерзлоты; *5* — фонтанирующие скважины.

2) артезианские бассейны напорных подмерзлотных вод, приуроченные к зонам усиленной трещиноватости коренных пород различного возраста (рис. VIII-9), — промороженные гидрогеологические массивы.

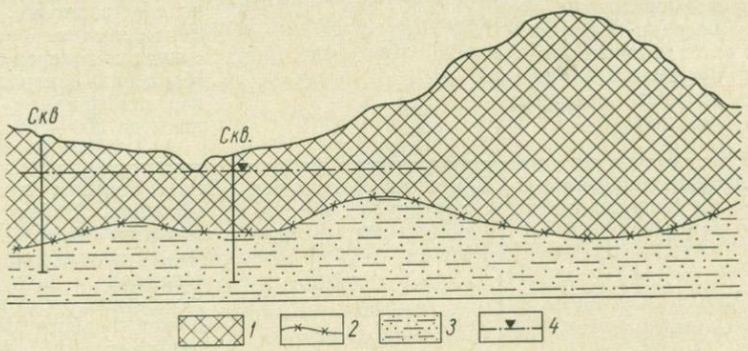


Рис. VIII-9. Бассейн подмерзлотных вод в трещиноватых породах.

1 — многолетнемерзлые породы; *2* — нижняя граница многолетней мерзлоты; *3* — водоносные трещиноватые породы; *4* — уровень подмерзлотных вод.

На площади первого подтипа нередко формируются крупные естественные ресурсы напорных вод, имеющие иногда постоянный источник питания со стороны поверхностных вод (рис. VIII-8, б).

Третий тип промышленных месторождений подземных вод зоны многолетней мерзлоты представлен напорными межмерзлотными водами сквозных таликов, чаще всего приуроченных к зонам тектонических нарушений.

В гидрогеологическом отношении межмерзлотные воды сквозных таликов очень часто играют транзитную роль, связывая подмерзлотные воды с надмерзлотными (рис. VIII-10). Описываемый тип месторождений подземных вод характеризуется линейновытянутыми потоками.

Специфические мерзлотно-гидрогеологические условия формирования промышленных типов месторождений подземных вод в области распространения многолетней мерзлоты накладывают определенный отпечаток на методику гидрогеологических исследований.

Остановимся на некоторых из особенностей.

Для всех типов месторождений подземных вод в период поисков и разведки обязательным является проведение различных масштабов специализированных мерзлотно-гидрогеологических съемок (1 : 100 000,

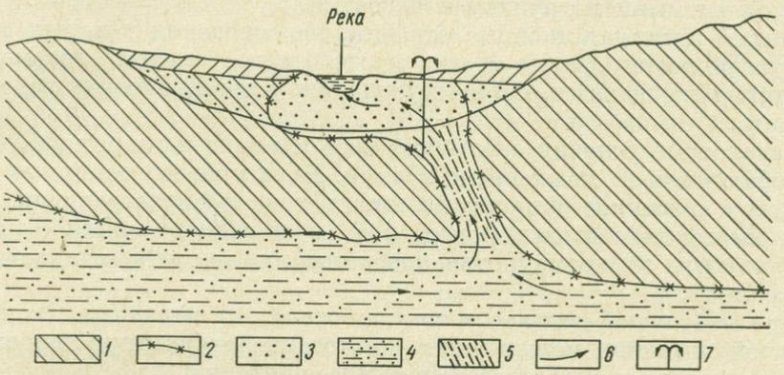


Рис. VIII-10. Напорные воды сквозного талика зоны тектонических нарушений.

1 — многолетнемерзлые породы; *2* — нижняя граница многолетней мерзлоты; *3* — песчано-гравийные отложения; *4* — горизонт подмерзлотных вод; *5* — межмерзлотные воды сквозного талика; *6* — направление тока напорных вод; *7* — фонтанирующие скважины.

1 : 200 000) с целью изучения условий формирования и накопления естественных запасов подземных вод, площади распространения многолетней мерзлоты и ее мощности.

Мерзлотно-гидрогеологическая съемка крупного масштаба (1 : 10 000—1 : 25 000) должна проводиться непосредственно на участке детальной разведки.

Одновременно со съемочными работами и бурением поисково-картировочных скважин проводятся геофизические методы исследований (преимущественно вертикальное электрозондирование), позволяющие в значительной степени уточнить площадь распространения в районе месторождения вечной мерзлоты, а в некоторых случаях ее мощность и характер «подмерзлотного рельефа».

Особенность мерзлотно-гидрогеологической съемки заключается еще и в том, что в зимнее время на площади съемки обязательно должны проводиться дополнительные маршрутные исследования. Зимой надмерзлотные источники полностью промерзают, а сохраняющиеся постоянно-действующие родники и образующиеся к этому времени наледи являются своего рода поисковыми критериями на возможное обнаружение и распространение подмерзлотных и межмерзлотных вод.

Специфическим видом работ является термометрическое каротажное исследование по всем гидрогеологическим скважинам, а на участке детальной разведки — площадная термометрическая съемка.

При разведке месторождений подмерзлотных вод под влиянием мощной толщи мерзлых пород усложняется технология бурения

гидрогеологических скважин. Замерзают обычная промывочная жидкость и вскрытые подземные воды в скважинах, что приводит к прихвату снаряда и неизбежным авариям. В связи с этим при бурении гидрогеологических скважин в толще многолетней мерзлоты в качестве промывочной жидкости применяют низкотемпературные промывочные растворы (природные рассолы, искусственно подготавливаемые минерализованные воды и др.), а также охлаждающие смеси жидкостей (керосин с нефтью, дизельное топливо и др.). Во время вынужденных простоев скважина обязательно заливается концентрированным рассолом. Применение таких жидкостей обеспечивает устойчивость скважин, выход керна и безаварийное бурение.

Количественное опробование вскрытых водоносных горизонтов подмерзлотных, а иногда и межмерзлотных вод с помощью различных откачек из скважин целесообразно осуществлять эрлифтными установками, а не скважинными погружными насосами.

Опытно-эксплуатационные откачки, на основании которых оцениваются устойчивость дебита и эксплуатационные запасы, рекомендуется проводить в конце зимы, когда ухудшаются условия питания водоносного горизонта.

Мерзлотные условия оказывают свое влияние и на методику режимных наблюдений за подземными водами. Если уровень напорных подземных вод в скважине устанавливается в зоне распространения мощной толщи многолетнемерзлых пород, вода в выработке обычно замерзает. Перед каждым замером уровня требуется производить оттаивание воды в скважине.

При небольшой мощности зоны многолетней мерзлоты ствол наблюдательной скважины можно залить низкотемпературным раствором, внося при замерах уровней соответствующие поправки.

Ввиду сложности природных условий месторождений подмерзлотных вод и особенно сложного изучения и количественного определения источников их питания эксплуатационные запасы для месторождений второго и третьего типов целесообразней всего оценивать с помощью опытно-эксплуатационных откачек и экстраполяции данных таких откачек на возможное дополнительное понижение напорного уровня.

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод на промышленных месторождениях первого типа, в формировании естественных запасов которых большую роль играют поверхностные воды, можно пользоваться методами гидрогеологических расчетов.

Б. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ, РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В процессе развития и усовершенствования методики поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений все в большей степени уделяется внимание изучению основных гидрогеологических закономерностей, использование которых позволяет воссоздать более реальную обстановку, в которой происходило формирование этих месторождений, и правильнее оценить перспективы нефтегазоносности того или иного региона.

За последние годы рядом исследователей были предложены различные классификации гидрогеологических и газогидрохимических показателей нефтегазоносности. В качестве одной из них приводится комплекс главных положительных гидрогеологических и гидрохимических показателей нефтегазоносности, по М. С. Гуревичу (табл. VIII-Б-1). С другими классификациями читатель может познакомиться в работах следующих авторов: М. Е. Альтовского (1958), Е. А. Барс [1957], М. А. Гатальского

(1958, 1960), А. А. Карцева (1963), В. Н. Корценштейна [1963], В. А. Кротовой [1960], Г. В. Богомолова и др. (1961).

Повышенный интерес к изучению гидрогеологической обстановки нефтяных и газовых месторождений (залежей) определяет необходимость проведения специальных гидрогеологических исследований на этапах их поисков, разведки и эксплуатации и организации последующих режимных наблюдений на истощенных месторождениях после прекращения их эксплуатации.

Предварительно перед организацией гидрогеологических исследований, проводимых с целью выяснения перспектив нефтегазоносности, следует проработать весь имеющийся по региону гидрогеологический материал, составить карту фактического материала, которая в процессе дальнейших работ должна непрерывно пополняться новыми данными, и внимательно изучить тектонику с целью получения представления о характере гидрогеологического строения рассматриваемой территории. Если район исследований является достаточно изученным в гидрогеологическом отношении, то следует составить карту гидрогеологического районирования, которая в процессе производства работ будет постепенно уточняться и детализироваться.

Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных и газовых залежей обычно производятся в следующем порядке: 1) съемочные гидрогеологические работы; 2) гидрогеологические исследования и наблюдения при колонковом бурении; 3) гидрогеологические исследования и наблюдения при разведочном бурении и бурении опорных скважин; 4) гидрогеологические исследования и наблюдения при проходке нефтяных шахт; 5) гидрогеологические исследования и наблюдения в процессе эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; 6) гидрогеологические наблюдения после окончания эксплуатации месторождения.

§ 1. Съемочные гидрогеологические работы

В общем комплексе нефтегазопоисковых исследований съемочные гидрогеологические работы занимают весьма скромное положение, хотя они на первых этапах поисков и разведки нефтяных и газовых залежей в определенных условиях могут оказать существенное влияние на дальнейшее развитие разведочных работ.

Следует отметить, что, по мнению ряда исследователей (Г. Н. Каменский, 1947; Н. И. Толстихин, 1954 и др.), под полевыми гидрогеологическими исследованиями надо понимать не только описание выявленных на местности водопроявлений, но и рассмотрение всех элементов, составляющих сущность геологической и геоморфологической съемок. Только в таком сочетании фактического материала исследователь сможет путем наземных наблюдений осмыслить собранные данные для уяснения общей гидрогеологической обстановки недр и в первом приближении оценить возможности нефтегазонакопления на рассматриваемой территории.

Поисковые гидрогеологические исследования состоят из гидрогеологических маршрутных исследований и площадной гидрогеологической съемки различного масштаба.

В процессе маршрутных гидрогеологических исследований, обычно носящих рекогносцировочный характер и проводимых преимущественно по долинам рек, помимо описания встречаемых на пути следования обнажений и горных выработок (включая и различного рода буровые скважины), производятся описание морфологии рельефа, единичные замеры расходов поверхностных водотоков, отмечаются все физико-геологические явления,

Комплекс главных положительных гидрохимических и гидро

Индекс	Группа	Прямые	
I	Газовые *	I_1. Повышенная концентрация высших углеводородов в метановых газах	I_2. Давление насыщения растворенного метанового газа превышает пластовое давление воды
II	Солевой состав подземных вод	II_1. Наличие в составе воды органических веществ нефтяного ряда (нафтеновых кислот, фенолов, смолистых углеводородных веществ)	
III	Бактериальный	Не выявлены	
IV	Гидрогеологические условия территории	IV_1. Локальные пункты разгрузки подземных напорных вод, обладающие положительными показателями состава: действующие грязевые вулканы, источники газонапорного типа, приуроченные к тектоническим нарушениям	
V	Палеогидрогеологические условия территории	Не выявлены	

* Газовый состав воды наиболее полно определяется составом растворенных газов. состоянии в виде пузырьков. Приведенные показатели сохраняют свое принципиаль

связанные с деятельностью подземных вод (карст, оползни и т. п.) и описываются все встреченные водопроявления. Последние состоят из описания естественных и искусственных выходов подземных вод на дневную поверхность и в горных выработках: их местоположения относительно основных элементов рельефа, характера выхода (восходящие, нисходящие источники), производительности описываемого выхода подземных вод, температурных (одновременных) замеров воды и воздуха, физических свойств воды, отбора проб воды для химического анализа и проб свободного или растворенного в воде газа, в отдельных случаях — отбора проб для микробиологического анализа и др.

Значительный интерес представляет изучение отложений источников, которые могут дать очень ценные указания для суждения о происхожде-

Таблица VIII-Б-1

геологических показателей нефтегазоносности, по М. С. Гуревичу

Косвенные			
I_3. Преобладание метана в составе растворенного газа и его повышенные концентрации по сравнению с фоновыми	I_4. Повышенное содержание H_2S в составе растворенного газа	I_5. Преобладание в составе азотного газа, т. н. безаргонного азота	I_6. Повышенное (по отношению к аргоновому) значение коэффициента подземного водообмена отношения $\frac{He}{Ar}$
II_2. Повышенная концентрация NH_3	II_3. Повышенная концентрация Br, J при отсутствии V, Cr, Co, Ni, Zn, Mo и некоторых других рассеянных металлов	II_4. Практическое отсутствие иона SO_4 в составе воды (при отсутствии гипса в водоносных горных породах)	II_5. Преобладающий солевой состав: II_5^1 — гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый II_5^2 — хлоридно-кальциево-натриевый II_5^3 — хлоридно-кальциевый
III_1. Наличие микроорганизмов, осуществляющих сульфатредукцию на высших гомологах метана		III_2. Наличие микроорганизмов, окисляющих метан и высшие углеводороды в присутствии молекулярного водорода	
IV_2. Наименьшая нарушенность состояния гидростатического равновесия подземных вод в пределах артезианского бассейна или исследуемого водоносного комплекса и наиболее затрудненные условия разгрузки подземного стока		IV_3. Значительная мощность гидродинамических зон затрудненного и наиболее затрудненного подземного водообмена при наличии геоструктурных условий и коллекторов, благоприятных для аккумуляции и сохранения нефти и газа	
V_1. Преимущественное преобладание гидрогеологической закрытости недр на протяжении отдельных этапов истории геологического развития артезианского бассейна или его отдельных частей		V_2. Наличие эпигенетических месторождений серы биогенного происхождения	

В условиях перепада давления происходит частичное выделение газа в свободном
ное значение, как в первом, так и во втором случае.

нии источника, состава воды, ее изменениях. Обязательно следует отмечать наличие пленок нефти, проба которых отбирается независимо от пробы воды на химический анализ.

Характер исследований при площадной гидрогеологической съемке сохраняется таким же, как и при маршрутных исследованиях, но последняя производится по сетке маршрутов, имеющих прямолинейный характер, густота которой определяется масштабом съемки. В зависимости от масштаба съемки предусматривается частота расположения точек наблюдений и количество горных выработок, приходящихся на 1 *км*^{2}. Для нефтепоисковых целей наиболее общепринятыми масштабами гидрогеологических съемок являются 1 : 200 000 и более мелкие масштабы.

А. А. Карцев (1954) предлагает при производстве маршрутных и площадных гидрогеологических исследований обращать внимание на присутствие в водах растворенных битумов, нафтеновых кислот, аномально повышенное содержание йода и аммония, а также на наличие восстановленных форм серы, присутствие соды, бессульфатность. Для более уверенной и убедительной интерпретации результатов маршрутных и площадных гидрогеологических исследований необходимо использовать возможно большее количество геологического, гидрогеологического и гидрохимического материалов.

Говоря о задачах и направленности гидрогеологических съемочных работ, необходимо в двух словах остановиться и на геохимических методах поисков нефтяных и газовых месторождений и залежей, результаты которых следует рассматривать совместно с данными гидрогеологической съемки.

Газовая съемка была предложена впервые профессором В. А. Соколовым в 1929 г. и с того времени применяется различными нефтяными организациями в их практической деятельности. Сущность газовой съемки заключается в изучении следов углеводородного газа, проникающего из нефтяной залежи в подпочвенный воздух. Последнее оказывается возможным благодаря способности нефтяных газов и паров, соприкасающихся с покрывающими их осадочными породами, проникать в той или иной степени через эти породы, как путем эффузии газов через поры и трещины пород, так и диффузии газов через вещество породы и заполняющую их поры воду.

Разновидностью газовой съемки является газокерновая съемка, объектом изучения которой служит газ, поглощенный горной породой, извлекаемый из керна различными методами при помощи специальной аппаратуры. Несколько более подробно о газокерновой съемке будет сказано при описании характера гидрогеологических исследований и наблюдений при производстве буровых работ.

Комплекс исследований при производстве газовой съемки трудоемок по своему исполнению и не пользуется достаточной популярностью у геологов-нефтяников, хотя в определенных геологических условиях — при отсутствии мощных толщ горизонтально залегающих пород и достаточной тектонической нарушенности последних, результаты этих работ могут дать хороший эффект.

Методика производства газовой съемки подробно освещена в работах В. А. Соколова (1947), В. А. Соколова, А. А. Жуховицкого, И. М. Туркельтауба (1953), Г. Г. Григорьева, М. И. Субботы и др. (1954) и других исследователей.

§ 2. Гидрогеологические исследования и наблюдения при колонковом бурении

Основной задачей гидрогеологических исследований и наблюдений при колонковом бурении является получение возможно более полного представления о гидрогеологическом режиме вскрываемой части разреза.

Как показывает практика исследований, колонковое бурение достаточным образом обеспечивает регистрацию водоносных горизонтов, позволяет произвести замеры статических уровней и пластовых температур и отобрать пробы на гидрохимический, газовый и микробиологический анализы. Благодаря ограниченности размера диаметра колонковых скважин не всегда удается надлежащим образом организовать опробование водоносных горизонтов путем откачек.

Для освещения гидрогеологических условий рассматриваемого разведочного на нефть и газ участка в процессе бурения скважины и после его окончания должны быть отмечены следующие явления:

1. Провалы бурового инструмента в процессе бурения.
2. Колебания уровня буровой жидкости в процессе проводки скважин.
3. Самоизлив воды из скважины и его производительность.
4. Поглощение промывочной жидкости и его размеры.
5. Наблюдения за состоянием глинистого раствора и его соленостью.
6. Характер выделения газа из скважины в процессе бурения.
7. Опробование откачкой производительности водоносного пласта или группы пластов.
8. Замеры положения статического уровня после остановки скважины.
9. Замеры температуры воды на забое или на устье скважины в случае перелива пластовых вод.
10. Отбор проб воды, газа и проб на микробиологический анализ.
11. Конструкция скважины и интервалы установленных цементных мостов.

Сведения о всех случаях провалов бурового инструмента заносятся в буровой журнал сменным буровым мастером, а в обязанность гидрогеолога входит контроль за обязательным выполнением этого наблюдения. Провалы бурового инструмента часто сопровождаются частичным поглощением бурового раствора или полной потерей циркуляции, но эти явления могут происходить и при отсутствии провалов инструмента. При наличии поглощения необходимо регистрировать объем потерь промывочной жидкости, который принято выражать в *м³/сутки*.

Наблюдения за колебанием динамического уровня буровой жидкости и ее консистенции в процессе проводки скважины в ряде случаев позволяют уловить момент нахождения забоя скважины в пределах водоносного пласта. В случае наличия в последнем вод повышенной минерализации концентрация иона хлора в буровом растворе дает ощутимый скачок вверх тем больший, чем выше минерализация пластовых вод.

В процессе проводки скважин на ее устье в некоторых случаях может наблюдаться выделение газа (свободного или спонтанного). Помимо обязательного отбора пробы газа, необходимо по возможности точнее произвести определение количества выделяющегося газа. При незначительном дебите газа, а в некоторых случаях и свободного перелива вод, рекомендуется производить эти замеры с помощью газоотделителя системы ВСЕГЕИ, изготовление которого возможно в любой механической мастерской. Схема такого газоотделителя представлена на рис. XII-23. При значительном притоке газа можно пользоваться газоотделителями типа нефтяных трапов, описанных в руководстве А. И. Жукова, Б. С. Чернова и др. [1954].

Опробование водоносного горизонта откачкой производится с целью установления производительности скважины и удаления из последней остатков глинистого раствора и технической воды перед отбором проб на химический, газовый и микробиологический анализы. При откачках обычно производят значительное понижение уровня воды в скважине, в процессе восстановления которого ведутся наблюдения за приближением динамического уровня к статическому. Контроль за положением статического уровня хорошо осуществляется с помощью графика восстановления уровня, где на оси абсцисс откладывается масштаб времени производства наблюдений, а на оси ординат — положение динамического уровня на каждом данном отрезке времени. По результатам восстановления уровня сразу после прекращения откачки можно с некоторым приближением

судить о производительности скважины при данном понижении. В случае возникшего перелива скважины положение статического уровня определяется путем наращивания обсадной колонны выше устья скважины или с помощью манометра, устанавливаемого на устье скважины.

Пробы воды и газа для различного вида анализов, включая и микробиологический анализ, отбираются согласно существующим методикам.

За последние два десятилетия значительное развитие получил метод газокерновой съемки, о котором мы уже упоминали при перечислении видов исследований в процессе гидрогеологических маршрутных и площадных съемок. Основное теоретическое положение этого метода базируется на том, что мигрирующие из залежи вверх по разрезу углеводороды оставляют на пути своего перемещения следы или воздействуют различным образом на породу, содействуя ее изменению. Поэтому при проведении структурно-картировочного бурения рекомендуется производить геохимическое исследование керна, шлама и глинистого раствора на присутствие в нем горючего газа, особенно тяжелых углеводородов. Одновременно можно провести работы по содержанию в керне и шламе микроколичеств нефти и битумов. Отбор шлама и керна производится послойно через 1—2 *м* вскрываемого разреза, а наблюдение за содержанием углеводородных газов в глинистом растворе осуществляется через незначительные интервалы времени, сокращающиеся на участках разреза, где появляются проницаемые коллекторы.

Послойное изучение концентраций углеводородных газов и особенно тяжелых углеводородов позволяет определить с достаточной степенью достоверности приуроченность аномалийно высоких содержаний углеводородных газов к определенным участкам вскрытого разреза, что дает возможность оценить степень его газонефтенасыщенности и косвенно судить о перспективах более глубоких нижних стратиграфических участков разреза, еще не вскрытых колонковым бурением. О методике производства газокерновой съемки и газового каротажа глинистого раствора достаточно подробно говорится в работе Г. Г. Григорьева, М. И. Субботы и др. (1954).

В качестве еще одного вида геохимических исследований следует упомянуть люминесцентно-битуминологический метод исследования керна и шлама, который может быть проведен как в лаборатории непосредственно около буровой, так и в специальной стационарной лаборатории. С методикой люминесцентного анализа читатель может познакомиться в специальном руководстве В. Н. Флоровской [1957]. Результаты люминесцентно-битуминологического анализа после их окончания должны быть рассмотрены в комплексе с результатами гидрогеологических исследований и газокерновой съемки.

§ 3. Гидрогеологические исследования и наблюдения при разведочном бурении и бурении опорных скважин

В процессе нефтеразведочных работ, помимо установления факта наличия или отсутствия нефти и определения общего солевого состава воды, необходимо изучить основной комплекс прямых и косвенных показателей нефтегазоносности разреза, позволяющий установить степень перспективности разведочного участка и наметить пути дальнейших исследований. Специфика гидрогеологических исследований и наблюдений в глубоких скважинах определяется способом бурения с применением глинистого раствора, характером крепления и конструкцией скважины и зна-

чительными глубинами залегания опробуемых горизонтов, достигающих 2000—3000 *м* и более.

Наблюдения в процессе бурения роторных скважин за состоянием глинистого раствора в ряде случаев не дают результата, так как создаваемое на устье противодавление начинает превышать пластовое давление и пласт не отдает воду, а поглощает буровую жидкость. Проявление пласта в таких условиях становится возможным только при наличии высокого или аномально высокого пластового давления, приводящего к выбросу буровой жидкости из ствола скважины или по техническим причинам, в результате постепенного выпадения минеральных частиц в осадок, приводящего к облегчению глинистого раствора.

После окончания проводки скважины и соответствующего оборудования ее ствола и устья уточняются все сведения о конструкции скважин, цементации затрубного пространства и призабойной зоны и результатах проверки их герметичности и производится каротирование ствола скважины в пределах вероятно перспективной части разреза. В задачу каротажных работ входит установление по разрезу положения водонасыщенных, нефтенасыщенных и газонасыщенных пластов, позволяющее наметить объекты испытания конкретно по каждой скважине. Испытание намеченных интервалов производится снизу вверх, с обязательной изоляцией ранее опробованного горизонта. Если интервал опробования не дал притока жидкости в скважину или последний оказался очень незначительным (менее 1 $м^3$/*сутки*), то иногда делается исключение и испытание следующего интервала производится без установки цементного моста над первым интервалом испытания. Если колонна оказывается спущенной не до забоя скважины, то нижнюю часть разреза испытывают открытым стволом.

Перед испытанием скважины, а в случае наличия колонны по всему стволу, перед ее перфорацией или торпедированием, обычно скважину прорабатывают и промывают до чистой воды, а затем уже приступают к вскрытию очередного интервала опробования.

Возбуждение пласта после его вскрытия в обычной практике нефтеразведочных работ производится с помощью тартания или свабирования, а после получения притока осуществляется весь комплекс исследований и наблюдений, предусматривающий возможно более полное освещение термодинамических и физико-химических условий испытуемого объекта. В случае получения незначительного притока при испытании интервала, представленного породами карбонатного состава, последние подвергаются кислотной обработке, а затем пескоструйной перфорации, сочетание которых обычно дает хорошие результаты.

При получении достаточно интенсивного притока жидкости скважину прокачивают до установления постоянства химического состава пластовых вод, обычно достигаемого путем извлечения воды в количестве 2—4 объемов ствола скважины. Производительность данного объекта испытания определяется методом восстановления динамического уровня в течение первых 30—40 *мин* после откачки, с последующим расчетом количества поступившей в скважину воды при данном понижении уровня, а при переливке или фонтанировании — объемным методом. Наблюдение за восстановлением динамического уровня до положения, близкого к статическому, может происходить от нескольких суток до 20—25 дней.

В последние годы вместо наблюдений за восстановлением статического уровня применяется методика замера пластового давления и температуры при помощи глубинных манометров, снабженных максимальными термометрами.

Для определения пластовых давления и температуры опробуемого горизонта применяются глубинные манометры различных систем, рабочая характеристика которых рассматривается в главе XII. Следует отметить, что точность определения давления залежи на основе гидрогеологических расчетов (по восстановлению статического уровня) более высокая, чем по данным непосредственных замеров манометрами. При достаточно точно установленных статических уровнях и удельных весах воды в пьезометрических скважинах можно определить давление залежи с точностью до 0,1 *ат*, чего нельзя еще добиться при существующих конструкциях глубинных манометров.

Температурные замеры, помимо максимальных термометров, производятся методом термокаротажа, дающего представление о температурном режиме по всему стволу скважины, доступному для спуска аппаратуры. Однако наличие термокаротажной диаграммы не исключает необходимости производства замеров температуры с помощью максимальных термометров, которые должны явиться контролем термокаротажных исследований, поскольку последние в силу различных технических условий могут давать значительные отклонения от истинного значения пластовых температур. При неустановившемся тепловом режиме положение точек замеров температур относительно глубины произведенных замеров будет располагаться на графике не узкой полосой, а носить несколько разбросанный характер. Поэтому построение таких кривых будет являться контролем достоверности произведенных замеров температур по разрезу скважины.

Весьма существенным фактором, используемым при определении перспектив нефтегазоносности водоносных комплексов является давление насыщения (упругость) растворенных газов, которое в настоящее время служит единственным надежным показателем присутствия поблизости залежей газа и в меньшей степени нефти. Основное значение имеет отношение величины давления насыщения растворенных газов к величине гидростатического давления в водоносном комплексе ($p_г : p_в$). При отношениях, близких к 1, на участке опробуемого пласта можно предполагать присутствие газовой залежи. Однако в случае значительной недонасыщенности пластовых вод растворенными газами еще нельзя утверждать об отсутствии поблизости газовых залежей, так как в некоторых районах значительно недонасыщенные газом пластовые воды располагаются рядом с крупными газовыми залежами, примером чему может служить месторождение Газли.

По представлениям А. А. Карцева (1963), В. А. Корценштейна [1963] и других исследователей при недонасыщенности вод газом ($p_г < p_в$) важное поисковое значение приобретает рост давления насыщения растворенных газов в направлении ловушек. Такая закономерность указывает на наличие в данных ловушках газовых залежей. Как косвенный показатель высокую газонасыщенность пластовых вод (особенно при наличии тяжелых углеводородов) можно использовать и для прогнозной оценки присутствия нефтяных залежей. Резкий дефицит упругости растворенных газов в общем случае следует рассматривать как неблагоприятный признак возможного существования поблизости как газовых, так и нефтяных залежей. Методика определения давления насыщения газа подробно рассмотрена в работах И. К. Зерчанинова [1962], А. А. Карцева (1963), В. Н. Корценштейна [1963] и др.

Отбор проб воды и растворенного газа может производиться различными способами. На первых этапах развития нефтяной гидрогеологии отбор проб обычно производился путем подъема из призабойной зоны пластовой воды с помощью желонки и последующего извлечения из нее растворенных газов вакуумной бутылью (бутыль Савченко). В случае перелива

или фонтанирования скважины пробы могут быть отобраны непосредственно на устье скважины.

За последние два-три десятилетия широкое признание получили метод отбора проб с помощью глубинных пробоотборников различных систем (ПД-03, ПД-3М, телескопический пробоотборник системы Е. В. Симонова, пробоотборник системы В. Е. Горояна, пробоотборники ПРИЗ-I и ПРИЗ-II конструкции Б. А. Рогова и И. К. Зерчанинова и др.). Использование перечисленных пробоотборников позволяет получить глубинные пробы воды и растворенного газа с теми свойствами, которыми они обладали в пластовых условиях. Методика производства отбора глубинных проб растворенного газа и последующего его перевода в вакуумную бутыль (при малой газонасыщенности) и в обычную бутылку (при высокой газонасыщенности) рассматривается в работах И. К. Зерчанинова [1962], В. П. Савченко [1941], А. А. Черепенникова [1951] и других исследователей. Пробы пластовых жидкостей рекомендуется отбирать только при помощи глубинных пробоотборников, так как только в этом случае обеспечивается высокое их качество.

Каждую пробу воды или газа следует снабжать подробным описанием условий отбора, метода ее извлечения, даты и фамилии лица, производившего отбор пробы. Если по интересующей нас разведочной площади существует достаточное количество отобранных проб, то при опробовании новой скважины можно ограничиться отбором одной пробы воды (газа), так как достоверность анализа проконтролируется путем сравнения с анализами по другим скважинам разведываемой структуры. При отсутствии таковых необходимо произвести отбор не менее 2—3 проб, чтобы избежать случайности и иметь уверенность в достоверности полученных гидро- и газохимических данных.

Опробование опорных скважин должно производиться в строгом соответствии с инструкцией по проводке опорных скважин и камеральной обработке материалов опорного бурения, составленной ВНИГРИ (1958).

Методика отбора проб на микробиологический анализ рассматривается в работах Т. Л. Гинзбург-Карагичевой (1926), М. С. Гуревича (1956), Е. Н. Дутовой (1956), Л. Е. Крамаренко (1956), Г. А. Могилевского (1953), Э. А. Рейнфельда (1953) и других исследователей.

§ 4. Гидрогеологические исследования и наблюдения при проходке нефтяных шахт

Практика осуществления гидрогеологических исследований и наблюдений на нефтяных шахтах Ухтинского района Тимано-Печорской геологической провинции показывает, что в процессе проходки шахт и сложной системы горизонтальных подземных горных выработок необходимо вести непрерывные гидрогеологические наблюдения.

При прохождении вертикальных горных выработок (рабочие и вентиляционные стволы и муфты) в задачу гидрогеолога входит наблюдение за притоками воды из всех встреченных водоносных горизонтов и изменением их дебита во времени. Одновременно производятся замеры температуры пластовых вод и периодически отбираются пробы воды для химического и газового анализа.

При проходке горизонтальных выработок требования к осуществлению гидрогеологических исследований и наблюдений повышаются. По данным бурения наземных скважин и горизонтальных опережающих скважин гидрогеолог уточняет обстановку гидрогеологического режима в части пласта, где проходятся горные выработки.

В процессе проведения горнопроходческих работ выясняются условия залегания ближайших водоносных горизонтов, их мощность, степень водообильности, вероятная водоотдача пласта при его встрече с горными выработками, система трещиноватости и возможность катастрофических прорывов больших масс подземных вод.

По мере проходки горных выработок ведется непрерывное наблюдение за поступлением пластовых вод в выработки и изменением их химического состава во времени. Последнее облегчает установление источников поступления в горные выработки подземных вод и уточняет возможность гидравлической связи между соседними водоносными горизонтами.

Как показывает практика гидрогеологических наблюдений на шахтах Ярегского нефтяного месторождения Ухтинского района, основным источником поступления подземных вод являются не воды, заключенные в поровом пространстве пласта, а те огромные скопления подземных вод, которые сосредоточены в сложной системе тектонических трещин. Последние группируются в несколько систем трещин, имеющих вполне определенную ориентировку в пространстве. Значительная часть трещин открыта и содержит крупные запасы подземных вод.

Специфика работ в подземных условиях налагает на маркшейдера, геолога и гидрогеолога обязанность вести тщательную инструментальную привязку положения тектонических трещин, особенно водоотдающих, с замерами основных элементов их залегания. При этом фиксируются следующие проявления: 1) детали морфологии разломов и их характер; 2) мощность и характер зоны околотрещинного дробления; 3) материал, выполняющий трещины; 4) наличие признаков, свидетельствующих о прошлой миграции по трещинам воды, нефти и газа; 5) наличие и характер водо-, нефте- и газопроявлений по трещинам в момент их обследования и их изменения во времени (по данным повторных обследований).

Основной документацией выявленных в процессе подземного картирования тектонических трещин служит маркшейдерский план каждого горизонта нефтешахты масштаба 1 : 1000 или 1 : 500, на который наносятся все системы тектонических трещин. Особым знаком следует выделять системы трещин, зарекомендовавших себя как высоководообильные трещины.

Более подробное рассмотрение мероприятий по осуществлению гидрогеологических исследований и наблюдений при проходке и эксплуатации подземных горных выработок приводится в работах Г. В. Богомолова и А. И. Силина-Бекчурина (1955), А. Я. Кремса [1955, 1964] и др.

§ 5. Гидрогеологические исследования и наблюдения в процессе эксплуатации нефтяных и газовых месторождений

Особую сложность и многообразие гидрогеологические исследования и наблюдения приобретают во время подготовки и ввода в эксплуатацию нефтяных и газовых залежей. Основной задачей гидрогеологических исследований этого переходного периода является обобщение всех имеющихся гидрогеологических данных с целью уточнения методики наиболее рациональной разработки залежи.

Неоценимое значение при решении этого вопроса приобретают гидрогеологические сведения, дающие представление о пространственной выдержанности водонапорной системы, оконтуривающей нефтяную (газовую) залежь; удаленности залежи от областей питания и разгрузки водоносного комплекса или горизонта и возможности существования свободной

или затрудненной гидравлической связи с этими областями; степени проницаемости законтурной части пласта, определяющей возможность проявления водонапорного режима; возможности существования или возникновения гидравлической связи с ближайшими по разрезу соседними водоносными горизонтами и ряда других вопросов, позволяющих наметить мероприятия по выработке наиболее рационального режима эксплуатации всего месторождения (залежи) или только отдельных его участков.

В пределах разреза, содержащего нефтяную или газовую залежь, присутствует большое количество водоносных горизонтов, которые классифицируются по условиям их пространственного местоположения относительно залежи (см. главу IX, том 1).

В процессе разработки залежи нефти (газа) законтурные воды получают дополнительные возможности своего перемещения по пласту в сторону нефтяной залежи, активность которого в значительной степени контролируется степенью проницаемости пласта как в пределах залежи, так и на значительном удалении от последней. О степени свободы перемещения законтурных вод в сторону залежи можно судить по результатам опытной эксплуатации, в процессе которой ведутся наблюдения за падением пластового давления на различных участках залежи и за ее пределами по мере извлечения нефти, с обязательным учетом размеров залежи.

При выборе режима эксплуатации нефтяной залежи приходится считаться со значениями давления насыщения растворенных в нефти газов. Если последнее близко к значению пластового давления, то данная залежь должна разрабатываться при ограниченном отборе нефти, постоянно контролируемом отношением $p_г/p_в$.

Особое внимание в своих исследованиях гидрогеолог должен уделять гидрохимической корреляции водоносных горизонтов. Основным условием при этом является установление гидрохимической зональности всего изучаемого разреза и выявление наиболее характерных диапазонов изменения различных компонентов, свойственных в отдельности каждому горизонту. Коррелирующее значение могут иметь как общая минерализация, так и содержание любого иона. Наиболее часто корреляция проводится по общей минерализации, сульфат-иону и различным микрокомпонентам.

При наиболее простом антиклинальном строении ловушки распределение в ней воды, нефти и газа происходит согласно гравитационному фактору. Более легкий из них — газ — занимает сводовую часть структуры, ниже располагается нефть, а еще ниже — пластовые законтурные воды. Наблюдаемые в некоторых случаях отклонения от такой закономерности находят себе объяснение в неоднородности литологического состава пласта в пределах структуры и избирательной способности заполнения сводовой части структуры нефтью. Нефть стремится занять более проницаемые участки пласта-коллектора, а плохопроницаемые участки остаются насыщенными пластовыми водами, заполнившими ловушку еще до образования нефтяной или газовой залежи. В случае отсутствия ощутимого движения жидкости по пласту положение газо-нефтяного, газо-водяного и водо-нефтяного контакта будет горизонтальным. При наличии движения залежь нефти (газа) может сместиться на крыло в сторону движения подземного потока и водо-нефтяной контакт примет в связи с этим наклонное положение. В процессе разработки залежи наблюдается продвижение законтурных вод (языки обводнения) или подошвенных вод (конусы обводнения).

При эксплуатации нефтяной залежи с газовой шапкой в условиях затрудненного водонапорного режима может произойти прорыв газа к открытому интервалу скважины. Предотвратить прорыв газа или

преждевременное обводнение залежи можно путем ограничения отбора жидкости или временно полного прекращения эксплуатации. Избежать необходимости применения таких крайних мер поможет систематическое наблюдение за газовым фактором, содержанием воды в извлекаемой нефти и изменением ее химического состава.

В некоторых случаях обводнение скважины может произойти из-за прорыва верхних (нижних) вод вследствие нарушения цементного кольца в затрубном пространстве. Источник обводнения такого характера может быть установлен либо с помощью резистивиметра, либо путем гидрохимической корреляции смежных водоносных горизонтов.

В сильно обводненных скважинах в процессе их эксплуатации может наблюдаться изменение степени минерализации пластовых вод, чаще всего направленное в сторону ее уменьшения.

Более детальные гидрохимические наблюдения следует проводить при осуществлении искусственного заводнения пласта, для которого чаще всего используются пресные воды из ближайшего поверхностного водотока или из неглубокой скважины. Учащенный отбор контрольных проб воды на химический анализ (определяется содержание хлора и содержание сульфатов) позволяет проследить за темпом и путями перемещения по пласту закачиваемой воды и оценить эффективность вторичного метода поддержания пластового давления.

В процессе эксплуатации нефтяной (газовой) залежи некоторые законтурные скважины используются в качестве наблюдательных гидрогеологических (режимных) скважин, в которых периодически производятся наблюдения за положением статического уровня, замеряются пластовые температуры и отбираются пробы воды и растворенного газа.

Начальный период эксплуатации нефтяных залежей обычно осуществляется фонтанным способом, в дальнейшем — с помощью компрессора, а при истощении пластовой энергии и сокращении производительности скважин — глубинными насосами. На каждом из этих этапов периодически осуществляется исследование скважин, в процессе которого уточняется продуктивность скважины, степень ее обводненности, изменение во времени величины газового фактора при различных режимах работы скважины и другие наблюдения.

Многочисленные и разнообразные задачи, возникающие в процессе эксплуатации нефтяных или газовых месторождений, свидетельствуют о необходимости тщательного производства гидрогеологических исследований и наблюдений, в значительной мере обеспечивающих выбор наиболее рациональной разработки для каждого промысла и наибольшую продолжительность его срока эксплуатации.

Характер наблюдений после окончания эксплуатации месторождения в основном сохраняется таким же, как и в законтурных скважинах действующих месторождений, с периодическими наблюдениями за положением статического уровня, замерами пластовой температуры, отбором проб воды и свободного и растворенного газов.

В. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ УСЛОВИЙ СБРОСА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ГЛУБОКИЕ ВОДОНОСНЫЕ ГОРИЗОНТЫ

Гидрогеологические исследования для установления условий сброса промышленных сточных вод в глубокие подземные толщи, выбор и оценка благоприятных для этой цели структур, методика поисково-разведочных

работ для обоснования подземного сброса промстоков, рекомендации и наблюдения за эксплуатацией установок по сбросу промстоков — все это вместе взятое представляет новое направление в гидрогеологических исследованиях, которое еще не разработано и по существу находится в стадии разрешения.

§ 1. Общие сведения

Проблема охраны рек и водоемов, а также пресных, бальнеологических и промышленных подземных вод от загрязнения и разубоживания имеет первостепенное значение.

Многие отрасли народного хозяйства (химическая, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, металлургическая и др.) имеют в виде технологических отходов вредные промышленные стоки. Главной причиной загрязнения и заражения пресных подземных вод является недопустимый сброс вредных промышленных стоков в водоемы и водотоки, гидравлически связанные в зоне активного водообмена с основными водоносными горизонтами. В результате загрязнения промышленными стоками в водоемы, водотоки и подземные воды проникают такие соединения, как фенолы и их хлорпроизводные, органические кислоты, некоторые азотсодержащие соединения. В частности, загрязнение подземных вод промышленными стоками предприятий химической промышленности характеризуется в ряде случаев большой биохимической устойчивостью и ядовитостью (заводы синтетического каучука, анилинокрасочной и сульфатцеллюлозной продукции).

Количество промышленных стоков на многих предприятиях при существующей технологии производства достигает сотен и тысяч $м^3/сутки$. Так, например, для переработки 1 $т$ сырой нефти требуется до 75 $м^3$ воды, для производства 1 $т$ вискозного шелка — 1200 $м^3$ воды и т. д.

Для удаления промышленных сточных вод, загрязняющих поверхностные и подземные воды, применяются следующие методы.

1. Введение замкнутой схемы производственно-технического водоснабжения предприятия.

2. Применение технологии, позволяющей свести к минимуму количество промышленных стоков (вплоть до полного устранения), очищать их или обезвреживать.

3. Сброс промышленных стоков в море, для чего иногда может потребоваться проведение каналов или трубопроводов длиной в десятки и сотни километров.

4. Отвод промышленных стоков в испарительные бассейны. Это мероприятие может быть осуществлено только в условиях засушливых районов при большой испаряемости и малом количестве атмосферных осадков.

5. Устройство накопителей и сброс промышленных стоков в реки в период паводка. В данном случае загрязнение поверхностных вод полностью не устраняется, но в ряде случаев удается снизить до допустимого минимума содержание в речной воде солей или вредных веществ, вносимых промышленными стоками.

6. Сброс промышленных стоков в глубокие, надежно изолированные водоносные горизонты.

Последний метод удаления промышленных стоков может быть надежной, а в некоторых случаях и эффективной мерой борьбы с загрязнением поверхностных и подземных вод.

В Советском Союзе имеется некоторый опыт успешного сброса в глубокие водоносные горизонты попутных нефтяных вод и отходов нефтеперерабатывающих заводов. Сброс производится непосредственно на

промыслах Башкирнефти, Ишимбаевнефти, Куйбышевнефти, Ставропольнефти. После предварительной обработки жидкие отходы нефтяной промышленности нагнетаются в глубокие водоносные горизонты через буровые скважины. Поглощающая способность отдельных скважин достигает 1000—4000 *м*³/*сутки*.

Имеется также небольшой опыт сброса промышленных стоков в глубокие подземные толщи на некоторых предприятиях Московской, Рязанской и других областей, где вредные сточные воды в небольшом количестве, до 1000 *м*³/*сутки*, закачиваются в водоносные горизонты зоны затрудненного водообмена через одиночные скважины или группы их. Поглощающая способность отдельных скважин достигает здесь 500—1000 *м*³/*сутки*.

Сброс промышленных стоков в глубокие водоносные горизонты в зарубежных странах применяется так же, как и в СССР, преимущественно для нефтепромысловых вод и для жидких отходов отдельных предприятий химической промышленности. Примером подземного сброса в США может служить завод Дюпон в Техасе, где жидкие отходы производства нейлона сбрасываются в толщу песков мощностью 150 *м*, залегающую на глубине 1300 *м* (Хенкель, 1955). Закачка промышленных стоков производится в две скважины; средняя приемность каждой из них за три года эксплуатации — 420 *м*³/*сутки*. Промышленные стоки перед закачкой подвергаются предварительной обработке (нейтрализация до значения *p*H = 7,5—8,0 и осаждение твердых частиц диаметром более 12 *мк*).

Большое количество, до 12 млн. *м*³ в год, промышленных стоков калийного предприятия им. Эрнста Тельмана, расположенного в бассейне реки Верра (ГДР), сбрасывается в горизонт трещиноватых доломитов верхнего цехштейна мощностью 20—25 *м* (Дейбель, 1954). Поглощающие скважины вскрыли доломиты на глубине от 160 до 500 *м*. Приемистость скважин на участках неглубокого залегания доломитов высокая, более 1000 *м*³/*сутки*, но сильно уменьшается при увеличении глубины их залегания.

В 1941 г. после закачки, начиная с 1925 г., общего количества 65 млн. *м*³ отмечено вытеснение на поверхность пластовых вод доломитов (увеличение дебита источников, появление новых источников, местами подъем уровня грунтовых вод), вызванное нарушенностью водоупорных пород в кровле горизонта.

Несмотря на недостаточную изолированность горизонта доломитов, сброс в них промышленных стоков имеет в данных условиях положительное значение, так как вытесняемые пластовые воды имеют в два-три раза меньшую минерализацию (удельный вес 1,01), чем закачиваемые рассолы. Поэтому даже при высоком расходе вытесняемых на поверхность пластовых вод в результате подземного сброса уменьшается количество солей, поступающих в поверхностные водотоки. Подземные же воды района, в том числе и грунтовые, засолены и для питья непригодны.

Результаты полевых исследований на опытной базе Калифорнийского университета (Берклей) по очистке радиоактивных промышленных стоков описываются в работах Эвинга (1959), Кауфмана и др. (1961). Сущность метода очистки заключается в использовании реакции ионного обмена радиоактивных элементов, содержащихся в промышленных стоках, при их движении в водоносном горизонте от нагнетательной (поглощающей) скважины к водозаборной. По мере продвижения в водоносном горизонте, заключающем мелкозернистые и глинистые пески, промышленные стоки последовательно освобождаются от изотопов Cs^{137} и Sr^{90} и в очищенном виде, по мнению авторов, могут снова быть использованы как оборотная вода в технологическом процессе предприятия.

§ 2. Основные требования, предъявляемые к выбору поглощающих горизонтов (коллекторов) для сброса промышленных стоков

Опыт сброса в глубокие водоносные горизонты промышленных стоков пока невелик и относится преимущественно к стокам отдельных химических и нефтеперерабатывающих предприятий с суточным расходом, не превышающим нескольких сотен кубических метров.

Проблема подземного сброса большого количества промышленных стоков с расходом до 10 000 $м^3$/*сутки*, а иногда и более (жидкие отходы содовых заводов, калийных предприятий и др.) значительно сложнее и находится в настоящее время в стадии разрешения. Однако для отдельных объектов можно рассчитывать на положительные результаты, что подтверждается, в частности, опытом искусственного заводнения нефтяных пластов, методика и техника которого аналогичны закачке промышленных стоков в подземные толщи.

Осуществление сброса промышленных стоков в подземные толщи и получение положительного эффекта от данного способа удаления промышленных стоков возможны при выполнении следующих условий.

1. Наличие поглощающих горизонтов (коллекторов), заключающих подземные воды, непригодные для хозяйственно-технических нужд, и не представляющих ценности в промышленном и лечебном отношении.

2. Достаточные водопроводимость и емкость поглощающих горизонтов, т. е. достаточно высокая проницаемость слагающих их пород, значительное распространение по площади и мощности.

3. Надежные водоупорные толщи, изолирующие поглощающие горизонты от горизонтов, заключающих воды хозяйственно-технического, промышленного или лечебного значения.

4. Устранение или сведение к минимуму кольматации поглощающего горизонта в призабойной зоне. Кольматация может иметь место за счет взвешенных частиц и коллоидов, содержащихся в закачиваемой воде, осадков, выпадающих при взаимодействии ее с пластовой водой, а также за счет переноса вглубь тонких частиц, находящихся в проницаемых породах (преимущественно в недостаточно освоенных скважинах).

Сброс промышленных стоков в «сухие» проницаемые пласты, залегающие в зоне аэрации и дренируемые реками или имеющие связь с другими водоносными горизонтами, как правило, недопустим. Это почти всегда влечет за собой выход закачиваемых сточных вод на поверхность и поступление их в поверхностные водотоки и горизонты подземных вод, имеющие значение для бытового и технического водоснабжения.

Сброс в глубокие подземные толщи земной коры вредных стоков как средство борьбы с загрязнением подземных вод в принципе может быть применен во многих районах нашей страны, где имеются благоприятные для этой цели геолого-гидрогеологические условия.

При постановке исследования для подземного сброса промышленных стоков следует руководствоваться следующими соображениями.

1. Сравнительно благоприятные условия для подземного сброса вредных стоков имеют место в областях платформ и пологой складчатости при развитии мощных толщ осадочных пород, заключающих регионально выдержанные водоносные горизонты, перекрытые мощными толщами непроницаемых пород.

Надежно изолированные поглощающие горизонты приурочены к зоне затрудненного водообмена и залегают обычно на глубинах в несколько

Таблица VIII-В-1

Примерная классификация и характеристика водоносных горизонтов (коллекторов) для возможного сброса в них промышленных стоков, по Н. И. Плотникову

Типы	Подтипы	Классы	Примеры	Характеристика коллектора (средние значения)		
				Эффективная пористость, трещиноватость, %	Коэффициент проницаемости, *дарси*	Поглощающая способность отдельных скважин, $м^3/сутки$
I Пористые	1. Рыхлые, несцементированные	Крупнопористые	Крупно- и среднезернистые пески, гравий, галечники с гравием и песком	До 20—30	От 10—20 до 100 и более	До 1000—2000, реже до 5000
		Мелкопористые	Мелко- и тонкозернистые пески	До 30—35	0,01—1,0, реже 2—5	До 300—1000
	2. Плотносцементированные	Не подразделяются	Песчаники, опоки, гравелиты	3—7, реже до 10	От 0,01—0,5 до 5—8, реже 10—15	До 300—500
II Трещинные	Трещинные	Не подразделяются	Трещиноватые, некарбонатные скальные породы	От 0,002 до 1—3	Обычно менее 1, реже 1—3	100—1000, реже до 2000
	Трещинно-закарстованные		Карбонатные породы — известняки, доломиты, мрамор	От 0,005—0,05 до 10—15	От 0,5—3,0 до 10 и более	2000—5000, иногда 8000—10 000
III Порово-трещинные	Не подразделяются		Слабометаморфизованные, третичные и мезозойские мергели и пористые известняки и песчаники	Слабо изучены		100—1000

сотен метров от поверхности, нередко на глубине более 1000 *м* и только в отдельных случаях на глубине около 200—300 *м*.

Области развития сильно дислоцированных пород, особенно при наличии разрывов и интенсивной трещиноватости, для подземного сброса промышленных стоков неблагоприятны вследствие локального распространения водоносных горизонтов и недостаточной надежности изолирующих водоупоров.

2. Наиболее перспективны для подземного сброса промышленных стоков мощные горизонты песчаников и песков, а также карстовые и кавернозные горизонты в карбонатных породах. Однако необходимо учитывать, что на значительной глубине проницаемость пород большей частью уменьшается, что нередко может быть препятствием для сброса промышленных стоков, особенно в большом количестве.

Пористые песчаники имеют на глубине проницаемость обычно порядка сотых и десятых долей дарси; пески — до 1—2, иногда более 2—3 *дарси*.

Карстовые и кавернозные горизонты в карбонатных породах могут иметь высокую водопроницаемость, однако на глубине эти горизонты обычно очень непостоянны и представляют только небольшую часть общей мощности толщ известняков и доломитов. Нередко толщи карбонатных пород мощностью в сотни метров в зоне затрудненного водообмена сплошь представлены слабопроницаемыми породами. Особенно сильно понижается проницаемость пород на глубине в области депрессий.

3. Большое значение для подземного сброса могут иметь районы разведанных и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений вследствие детальной изученности глубоких зон и возможности использования ранее проведенных скважин. Кроме того в отдельных районах намечается использование промышленных стоков для искусственного заводнения нефтяных пластов.

4. Подземный сброс небольших объемов вредных стоков может быть осуществлен в искусственно созданные подземные емкости, например, в районах распространения мощных соленосных отложений. К таким районам может быть отнесена Урало-Эмбенская область соляных куполов, южная часть Иркутского амфитеатра, некоторые соленосные районы Средней Азии и европейской части Союза. В практике создания хранилищ в соленосных отложениях методом подземного выщелачивания через буровые скважины известны примеры, когда емкости отдельных камер достигали 300—400 тыс. $м^3$.

Используя различные данные из практики промысловой нефтяной геологии, а также гидрогеологических работ, в табл. VIII-В-1 приводится примерная классификация и характеристика коллекторов — водоносных горизонтов применительно к сбросу в них жидких промышленных сточных вод.

§ 3. Содержание и методика гидрогеологических работ, проводимых для установления условий сброса промышленных стоков в глубокие горизонты

Гидрогеологические исследования, проводимые для установления условий сброса промышленных сточных вод в глубокие горизонты, предусматривают следующие виды работ.

1. Изучение геологического строения и гидрогеологических условий района, где намечается подземный сброс, с целью выявления возможных поглощающих горизонтов и общей их оценки.

2. Исследование опытных скважин для установления их приемистости и определения гидрогеологических параметров проницаемых пластов, намеченных для сброса.

3. Лабораторные исследования: определения физических и водных свойств проницаемых пород и влияния на них фильтрующихся сточных вод; иногда также определение физических свойств и проницаемости водоупорных пород, образующих почву и кровлю поглощающих горизонтов.

Кроме того, может возникнуть необходимость в специальных физико-химических исследованиях: изучении взаимодействия промстоков и пластовых вод, разработке методов борьбы с коррозией, отложением осадков в трубах и т. п.

4. Гидрогеологические расчеты, в результате которых устанавливается необходимое число поглощающих скважин, ожидаемая их приемистость и необходимое давление при закачке, а также обосновывается отсутствие угрозы загрязнения за счет закачиваемой воды вод, пригодных для использования.

Основные положения методики исследований для подземного сброса промышленных стоков следующие.

1. Изучаемая территория должна распространиться на несколько десятков, а иногда на 100—300 *км* от объектов, промышленные стоки которых намечается сбрасывать в глубокие водоносные горизонты. Обобщаются материалы всех геологических и гидрогеологических исследований, проведенных на указанной территории, в первую очередь, данные глубокого бурения (опорного, разведочного на нефть и газ и т. д.).

При недостаточной изученности территории необходимо бурение опорных гидрогеологических скважин.

2. Для опытных гидрогеологических работ служат или ранее проведенные глубокие скважины, или специальные разведочно-эксплуатационные скважины (предусматривается в дальнейшем использовать их для закачки промстоков). Исследуемые горизонты выделяются по данным каротажа и изучения кернового материала.

Вскрытие горизонтов производится для неустойчивых пород путем перфорации труб наиболее мощными кумулятивными или торпедными перфораторами при значительном числе отверстий на 1 *м* (не менее 20—30). В случае устойчивых пород поглощающего горизонта исследование скважин ведется при открытом стволе. Изоляция исследуемых горизонтов от вышележащих должна производиться весьма тщательно.

Опытным работам предшествует освоение скважин, имеющее целью очистить призабойную зону от глинистого раствора и бурового шлама, т. е. тонких частиц, и повысить проницаемость пород в этой зоне. В зависимости от характера пород и их проницаемости применяются интенсивные прокачки, чередующиеся с промывкой и кратковременными нагнетаниями, повторная перфорация, кислотная обработка, гидроразрыв и торпедирование, иногда также может быть рациональным оборудование многозабойных скважин [Григорян, 1958].

После освоения скважины и прекращения выноса взвешенных частиц (содержание не выше 3—5 *мг/л* для мелкопористых пород) производится пробная откачка, желательно не менее чем при трех различных режимах, и наблюдения над восстановлением уровня после откачки. По данным откачки определяются удельный дебит, водопроводимость пласта, коэффициенты проницаемости и фильтрации, а также коэффициент пьезопроводности. В процессе откачки отбираются пробы для химического анализа воды.

Опытная закачка производится после окончания откачки. Желательно закачивать в скважину промышленные сточные воды или воду,

близкую по химическому составу. При затруднительности указанного вследствие удаленности предприятия от опытной скважины, необходимости сложной подготовки промстоков для закачки т. д. производится закачка пресной воды, очищенной от взвешенных частиц, но учитывается возможность некоторого искажения результатов за счет более низкой вязкости пресной воды и в ряде случаев также за счет ее взаимодействия с глинистым материалом пород поглощающего горизонта.

Опытная закачка производится первоначально при двух-трех различных режимах в течение непродолжительного времени. Затем проводится длительная закачка (в течение срока до 2—3 мес.) при режиме, соответствующем эксплуатационным условиям.

По данным опытной закачки определяются приемистость скважины при различных давлениях и ее изменение во времени, а также гидрогеологические параметры пласта (повторно), кроме того, устанавливается необходимый режим эксплуатационной закачки.

Приемистость скважины при закачке может быть значительно меньше, чем ее величина, соответствующая удельному дебиту при откачке, что объясняется перегруппировкой частиц породы в призабойной зоне при отсутствии возможности их выноса, а также воздействием закачиваемой воды на глинистый материал. Это явление некоторыми исследователями именуется «эффектом обратного клапана».

Определение скорости распространения закачиваемой воды может быть произведено при наличии наблюдательной скважины, отстоящей на 20—50 *м* от опытной. Кроме того наблюдательные скважины (в том числе удаленные от опытной на 500—1000 *м*) дают возможность наиболее надежно определить коэффициент пьезопроводности и уточнить коэффициент проницаемости.

3. Гидрогеологические расчеты производятся для установления условий проведения эксплуатационной закачки имеющегося количества промышленных стоков и позволяют определить давление на устье и его изменение во времени для одной или группы взаимодействующих поглощающих скважин при постоянном суммарном расходе промстоков.

Кроме того в необходимых случаях производятся расчеты времени распространения закачиваемых промышленных стоков до участков, где пласт не имеет надежной изоляции, определение количества воды, проникающей в смежные горизонты при недостаточно надежных изолирующих водоупорах, определение скорости оттеснения пресных вод в краевой зоне пласта.

По своему назначению и содержанию гидрогеологические исследования для обоснования подземного сброса промышленных стоков разделяются на предварительную (поисковую) и детальную стадии.

Предварительной стадией работ при минимальных затратах сил, средств и труда предусматривается принципиальное решение вопроса возможности сброса стоков в конкретных условиях района изучаемого объекта. При получении благоприятных результатов на стадии поисковых работ представляется возможным перейти к детальной стадии исследований, назначением которой является обоснование гидрогеологических параметров для проектирования промышленного подземного сброса вредных стоков предприятия.

В стадии предварительных исследований должны быть решены следующие основные задачи.

1. Изучены литолого-структурные и общие гидрогеологические условия площади в целом, в пределах которой обнаружены водоносные горизонты для возможного подземного сброса промышленных стоков.

2. Представлена достаточно обоснованно сравнительная оценка гидрогеологических условий отдельных горизонтов, рекомендуемых для подземного сброса промышленных стоков.

3. Обоснован выбор рабочего пласта-коллектора для будущей эксплуатации и последующего детального изучения.

4. Составлены по результатам работ совместно с проектной организацией выводы по технико-экономическому обоснованию подземного сброса вредных промышленных стоков для данных конкретных условий.

Для поисково-разведочных работ должны быть получены плановое задание от заинтересованной организации о необходимости подземного сброса вредных промышленных стоков и данные, характеризующие промышленные стоки: их химический состав, содержание в них вредных и ядовитых компонентов, ежесуточное количество сточных вод, сбрасываемых промышленным предприятием, условия транспортировки сточных вод к будущим нагнетательным скважинам и т. д.

В состав предварительной стадии работ должны входить следующие основные виды гидрогеологических исследований.

1. Сбор, систематизация и обобщение геологических, гидрогеологических и геофизических материалов по району будущих исследований; в первую очередь должны быть изучены и обобщены имеющиеся по району материалы глубокого бурения и региональных мелкомасштабных геофизических работ.

2. Составление в предварительном виде на основании анализа обобщенных материалов предыдущих работ прогнозной геолого-структурной карты и профилей по району будущих исследований и выделение на прогнозной карте перспективных водоносных горизонтов для подземного сброса промстоков.

3. Бурение единичных поисковых структурных и поисково-разведочных скважин с целью предварительной разведки прогнозной площади в целом и сравнительной оценки отдельных горизонтов или его частей. Поисково-структурные и поисково-разведочные скважины рекомендуется располагать по магистральным профилям с таким расчетом, чтобы бурением осветить всю прогнозную площадь. На большой площади и при выборе нескольких водоносных горизонтов для подземного сброса промышленных стоков желательно расположить поисково-структурные скважины по двум или трем линиям взаимно пересекающихся магистральных профилей.

4. Предварительное гидрогеологическое качественное и количественное опробование вскрытых водоносных горизонтов путем изучения керна и различных видов каротажа, изучение коллекторских свойств водовмещающих горных пород и предварительное определение основных расчетных гидрогеологических параметров с помощью опытных откачек и нагнетаний для одиночных скважин, а также лабораторных исследований кернового материала. Производятся также анализы проб воды.

5. В результате выполнения перечисленных выше работ должны быть изучены:

а) распространение и эффективная мощность горизонтов, статический уровень воды и величина пластового давления в естественных условиях;

б) литология, структура и текстура водоносных горных пород;

в) эффективная пористость или трещиноватость;

г) коэффициенты проницаемости и фильтрации, проводимость пласта;

д) коэффициент пьезопроводности;

е) приемистость скважин;

ж) химический состав подземных вод.

6. Предварительное пробное нагнетание воды в одиночные скважины с целью изучения сравнительной характеристики приемистости пластов-коллекторов, а также обоснование выбора конструкции фильтров.

7. Камеральная обработка материалов и составление совместно с проектной организацией проектных соображений по возможному захоронению промышленных стоков, с технико-экономическим обоснованием и предварительно выбранной технологической схемой нагнетания.

После рассмотрения заинтересованными организациями результатов предварительной стадии поисково-разведочных работ, утверждения проектных соображений, выбора рабочего пласта-коллектора, а также технологической схемы нагнетания можно приступить к стадии детальных исследований. В состав *детальных исследований для подземного сброса* должны входить следующие основные виды гидрогеологических работ.

1. Бурение разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин с размещением их по площади детальной разведки применительно к принятой технологической схеме нагнетания промышленных стоков для подземного их сброса с целью более детального изучения гидрогеологических условий выбранной площади в целом и рабочего пласта-коллектора.

2. Разведочные геофизические работы — различного вида каротаж гидрогеологических скважин (электрокаротаж, гамма-каротаж, кавернограмма, резистивиметрический и другие виды) с целью детального изучения литологического разреза и предварительной оценки коллекторских свойств водоносных горизонтов.

3. Опытные полевые гидрогеологические работы с целью детального изучения коллекторских свойств выбранного рабочего пласта-коллектора и определения необходимых расчетных гидрогеологических параметров (коэффициентов проводимости, пьезопроводимости, упругоемкость пласта и др.).

Эти определения производятся по данным опытных откачек и нагнетаний в гидрогеологических скважинах по общепринятой методике; опытное нагнетание с различным режимом давления является одним из основных видов гидрогеологических исследований.

4. Лабораторные исследования по определению химического состава пластовых вод, исследование кернового материала с целью определения проницаемости и детального изучения процессов химического взаимодействия с промышленными стоками, в том числе изучение возможного естественного обезвреживания стоков при длительной их закачке.

5. Опытные работы по закачке реальных или имитированных стоков или, в крайнем случае, пресной воды, выбор оптимальной конструкции фильтров и предварительное изучение режима нагнетания при будущей эксплуатации.

6. Камеральные работы, составление отчета с рекомендациями по технологической схеме нагнетания в условиях длительной эксплуатации пласта-коллектора и методике стационарных наблюдений за режимом нагнетания, с характеристикой исходных гидрогеологических данных для последующих расчетов по режиму нагнетания промышленных стоков.

В зависимости от сложности гидрогеологических условий, ответственности проектируемого подземного сброса, а также объема промышленных стоков, подлежащих подземному сбросу, состав и объем разведочных работ в перечисленном выше комплексе может быть сокращен.

§ 4. Гидрогеологические расчеты, связанные с подземным сбросом промышленных стоков

Установление условий подземного сброса промышленных стоков с количественной характеристикой приемистости поглощающих скважин, а также скорости распространения стоков в пределах поглощающего горизонта требует обоснованного прогноза гидродинамической схемы, ожидаемой при закачке промышленных стоков в подземные толщи. В первую очередь необходимы определения гидрогеологических параметров, являющихся исходными величинами для гидрогеологических расчетов.

Основными расчетными величинами (гидрогеологическими параметрами) являются коэффициент фильтрации (водопроницаемости), или коэффициент проницаемости, эффективная мощность водоносного горизонта, водопроводимость пласта, коэффициент пьезопроводности, эффективная пористость (трещиноватость или закарстованность) пород. Значения гидрогеологических параметров входят во все расчетные формулы, применяемые при решении различных вопросов по сбросу промышленных стоков. Степень достоверности результатов проводимых расчетов всецело определяется степенью точности средних величин гидрогеологических параметров. Наиболее достоверные результаты по определению параметров обеспечиваются проведением комплекса полевых опытно-фильтрационных работ, которыми наиболее полно выявляются гидрогеологические особенности исследуемых водоносных горизонтов в естественных условиях. Это особенно существенно для неоднородных пластов, не поддающихся точной оценке даже при тщательном отборе большого числа образцов для лабораторных определений проницаемости и пористости даже при проведении полного комплекса каротажных работ. Для трещиноватых пород полевые опытные работы являются единственным способом получения надежных гидрогеологических параметров.

Основными параметрами, позволяющими оценить коэффициент приемистости поглощающих скважин без учета его изменения в зависимости от времени, являются коэффициент проницаемости пород поглощающего горизонта, мощность водоносного пласта. Для определения давления, необходимого для закачки определенного расхода жидкости, должно быть, очевидно, известно положение статического уровня или пластовое давление.

Основным параметром для гидрогеологических расчетов, учитывающим упругий режим, кроме указанных выше, является коэффициент пьезопроводности, который может быть определен как по данным откачек или нагнетаний, так и рассчитан на основе значений коэффициентов проницаемости горных пород, сжимаемости жидкости и пористой среды, абсолютной вязкости жидкости и пористости (трещиноватости) горных пород. Величина эффективной пористости или коэффициента трещиноватости (закарстованности) необходима также для расчета действительной скорости движения подземных вод и промышленных стоков при закачке в пористые или трещиноватые породы.

В приводимых ниже основных расчетных формулах для определения гидрогеологических параметров приняты следующие обозначения:

K — коэффициент проницаемости горных пород;
$K_ф$ — коэффициент фильтрации;
$K_д$ — коэффициент действительной скорости движения подземных вод;
Q — дебит откачки (нагнетания) одиночной скважины;
q — коэффициент приемистости скважины;
H — высота пьезометрического уровня напорного водоносного горизонта, считая от его подошвы;

$S_с$ — понижение пьезометрического уровня в опытной скважине;
$S_н$ — то же в наблюдательной скважине;
$\Delta p_с$ — депрессия давления в опытной скважине при нагнетании или самоизливе (перепад давления);
$\Delta p_н$ — то же в наблюдательной скважине;
M — мощность напорного водоносного горизонта;
$M_э$ — эффективная мощность напорного водоносного горизонта;
W — водопроводимость пласта;
R^* — приведенный радиус депрессии;
R — радиус депрессии (контура питания) при установившемся движении подземных вод;
$r_с$ — радиус водоприемной части выработки;
$r_н$ — расстояние наблюдательной скважины от опытной;
μ — абсолютная вязкость жидкости;
γ — вес единицы объема жидкости;
n — пористость (коэффициент трещиноватости или закарстованности) пород водоносного пласта;
$n_э$ — эффективная пористость породы;
a — коэффициент пьезопроводности пласта;
$\beta_ж$ — коэффициент сжимаемости жидкости;
$\beta_с$ — коэффициент сжимаемости пористой среды;
t_i — продолжительность откачки (нагнетания) при заданном режиме;
T — общая продолжительность откачки (нагнетания);
$T_{пр}$ — приведенная продолжительность опытной или эксплуатационной откачки (нагнетания);
Ei — интегральная показательная функция.

Определение коэффициента проницаемости и коэффициента фильтрации при установившемся движении подземных вод методом откачек и нагнетаний

При движении жидкости согласно закону Дарси значение коэффициента проницаемости методом откачки определяется по формуле Дюпюи

$$K = \frac{0{,}366\, Q\mu\, (\lg R - \lg r_с)}{M_э S_с \gamma}. \qquad \text{(VIII-В-1)}$$

В формуле (VIII-В-1) приняты следующие размерности: K — *дарси*; Q — *см³/сек*; μ — *спз*; R, $r_с$, $S_с$, $M_э$ — *см*; γ — *кг/см³*.

При определении коэффициента проницаемости методом нагнетаний или при самоизливе множитель $S_с\gamma$ в знаменателе формулы Дюпюи заменяется депрессией давления $\Delta p_с$ в *ат* (*кГ/см²*), т. е.

$$\Delta p_с = S_с \gamma. \qquad \text{(VIII-В-2)}$$

При не вполне установившемся движении подземных вод радиус депрессии R в формуле Дюпюи заменяется условным радиусом контура питания, именуемого приведенным радиусом депрессии R^*.

Связь между коэффициентом фильтрации и коэффициентом проницаемости определяется зависимостью

$$K_ф = 0{,}864\, K \frac{\gamma}{\mu}. \qquad \text{(VIII-В-3)}$$

Размерности параметров в формуле (VIII-В-3) следующие: $K_ф$ — *м/сутки*, K — *дарси*; γ — *кг/см³*, μ — *спз*.

Общепринятая практика пробных и опытных откачек (нагнетаний) предусматривает проведение их при не менее чем двух-трех различных режимах (ступенях), что дает возможность построить график зависимости дебита от понижения или депрессии давления, называемой в практике исследования нефтяных скважин индикаторной кривой (рис. VIII-11).

При движении воды, подчиняющемся закону Дарси, индикаторные линии, т. е. зависимости $Q = f(S_c)$ и $Q = f(\Delta p_c)$, характеризуются линейной зависимостью, следовательно, расчеты коэффициента проницаемости возможно производить для одного режима понижения (или депрессии давления), соответствовавшего точке индикаторной линии, существенно не отклоняющейся от общей зависимости.

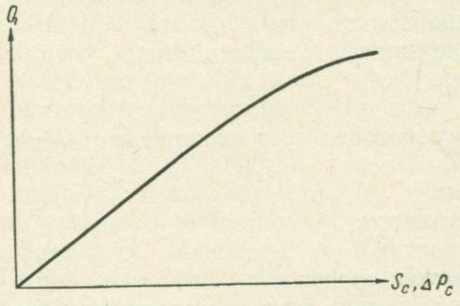


Рис. VIII-11. Кривые зависимости $Q = f(S_c)$ и $Q = f(\Delta p_c)$.

О наличии отклонений от закона Дарси можно судить по форме индикаторной линии, которая для напорного горизонта переходит из прямой в кривую, обращенную выпуклостью к оси координат, отвечающей значениям расхода откачки (нагнетания). Однако необходимо учитывать, что небольшие отклонения индикаторной линии от прямой могут иметь место не только за счет неприменимости закона Дарси, но также вследствие других причин, как-то: потери напора при движении жидкости по стволу скважины, пескования скважины, изменения температуры жидкости и ее минерализации, газового фактора и т. д., которые необходимо учитывать вводом соответствующих поправок.

Определение коэффициента проницаемости и коэффициента фильтрации при неустановившемся движении подземных вод методом прослеживания за восстановлением уровня (давления) после откачки (нагнетания)

Методы определения коэффициента проницаемости и коэффициента фильтрации, а также других параметров по данным восстановления уровня (пластового давления) после откачки или нагнетания основаны на приближенных зависимостях теории упругого режима.

Преимущество этого метода исследования заключается в возможности определения так называемого эффективного коэффициента проницаемости значительной зоны водоносного горизонта, слабо отражающего состояние пород в призабойной зоне (закомальтированность или нарушенность) [Щелкачев, 1959]. Кроме того, этот метод позволяет судить о коэффициенте пьезопроводности пласта (см. ниже). Сопоставление эффективного коэффициента проницаемости водоносного горизонта с коэффициентом проницаемости, рассчитанным по формуле Дюпюи (VIII-В-1), дает возможность судить о состоянии призабойной зоны пласта и выявить необходимость проведения мероприятий по дополнительному освоению скважин для увеличения ее приемистости.

Сущность метода заключается в прослеживании за восстановлением забойного давления, считая, что перед прекращением откачки (нагнетания) движение подземных вод было установившимся, т. е. перед остановкой скважины значения S_c или Δp_c во времени оставались постоянными.

По данным наблюдений строится кривая восстановления забойного давления в координатах Δp_c (или S_c и $\lg t$, по уклону прямолинейного участка которой определяются параметры пласта и скважины (рис. VIII-12).

Определение параметров по зависимости теории упругого режима возможно при наличии следующих условий: водоносный пласт до начала разработки и при эксплуатации находится в условиях упругого режима, движение жидкости к скважине или от скважины плоскорадиальное и подчиняется линейному закону Дарси, пласт однороден по проницаемости, пористости, упругости и постоянен по мощности, кровля и подошва пласта непроницаемы и горизонтальны, жидкость однородна по вязкости и упругости, объемная упругость пласта и жидкости подчиняются зависимостям закона Гука.

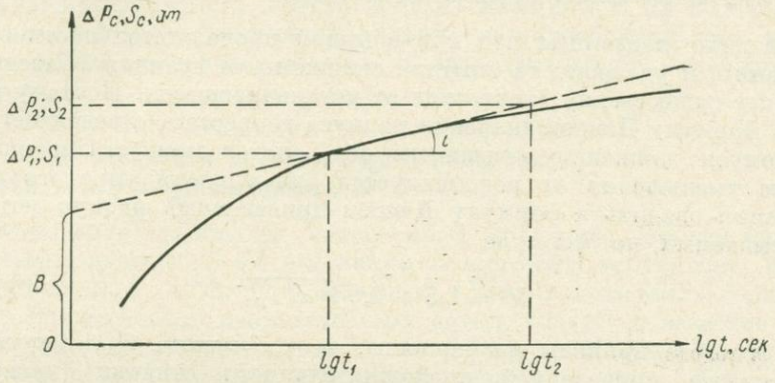


Рис. VIII-12. Кривая зависимости восстановления забойного давления от логарифма времени.

Коэффициент проницаемости в данном случае определяется по формуле

$$K = \frac{0{,}183\, Q\mu}{iM_э} = \frac{1{,}83\, Q\,\mu}{i'\,\gamma M_э}, \qquad \text{(VIII-B-4)}$$

где $i = \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$ — угловой коэффициент прямолинейного участка кривой $\Delta p_c = f(\lg t)$.

На графике VIII-12 значения Δp_c в $кГ/см^2$ $(ат)$.

$i' = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$ — угловой коэффициент прямолинейного участка кривой $S_c = f(\lg t)$.

На графике VIII-12 значения S_c в $м$.

Остальные размерности в формуле (VIII-B-4) следующие: K — $дарси$, Q — $см^3/сек$, $M_э$ — $см$, γ — $г/см^3$.

Коэффициент фильтрации рассчитывается по формуле (VIII-B-3).

Определение радиуса депрессии и приведенного радиуса депрессии

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА ДЕПРЕССИИ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Для определения радиуса депрессии артезианских скважин при установившемся движении подземных вод нет удовлетворительных формул. Обычно для этой цели используются формулы Зихардта и Кусакина, причем в последней взамен мощности водоносного горизонта

подставляется величина пьезометрического напора от подошвы горизонта. Формула Зихардта обычно дает заниженные значения радиуса депрессии.

Достоверное определение значений радиуса депрессии устанавливается по результатам откачек или нагнетаний при наличии наблюдательных скважин и рассчитывается по выражению, основанному на формуле Дюпюи

$$\lg R = \frac{S_c \lg r - S_н \lg r_c}{S_c - S_н} = \frac{\Delta p_c \lg r_н - \Delta p_н \lg r_c}{\Delta p_c - \Delta p_н}. \qquad \text{(VIII-В-5)}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО РАДИУСА ДЕПРЕССИИ ПРИ НЕ ВПОЛНЕ УСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Движение подземных вод при обычной продолжительности откачки (нагнетания) и удаленности опытной скважины от границы области питания может существенно отличаться от установившегося. Поэтому подстановка в формулу Дюпюи значения радиуса депрессии, отвечающего установившемуся движению подземных вод, может привести к ошибкам. С целью уменьшения их рекомендуется для условий упругого режима фильтрации вводить в формулу Дюпюи приведенный радиус депрессии, рассчитываемый по формуле

$$R^* = 1{,}5 \div 2{,}0\sqrt{aT_{пр}}. \qquad \text{(VIII-В-6)}$$

В формуле приняты размерности: a — *м²/сутки*, $T_{пр}$ — сутки.

Величина приведенной продолжительности откачки (нагнетания) определяется по приближенной формуле

$$T_{пр} = \frac{\sum Q_i t_i}{Q}, \qquad \text{(VIII-В-7)}$$

где Q_i, t_i — дебиты и длительность откачки (нагнетания) при режимах, предшествовавших расчетному, и расчетном режиме;

Q — дебит откачки (нагнетания) при расчетном режиме.

Определение состояния призабойной зоны водоносного горизонта

Для определения состояния призабойной зоны, вызываемого выносом песка в ствол скважины с образованием каверн или обрушением пород вышележащих толщ, кольматацией призабойной зоны механическими примесями или за счет образования осадков и других причин, применяются зависимости, основанные на сопоставлении данных исследования скважин по зависимости установившегося режима фильтрации и неустановившегося движения подземных вод при упругом режиме. На основании этих зависимостей рассчитываются приведенный радиус водоприемной части скважины, фактор повреждения пласта, по Томасу, и коэффициент C, входящий в формулу Дюпюи и характеризующий дополнительные сопротивления призабойной зоны.

Приведенный радиус водоприемной части скважины рассчитывается по формуле

$$\lg r_c' = \lg R^* - \frac{\Delta p_c}{2i} = \lg R^* - \frac{S_c}{2i'}. \qquad \text{(VIII-В-8)}$$

Величина фактора повреждения пласта, по Томасу, определяется зависимостью

$$\varepsilon = 1 - \frac{2i \lg \frac{R^*}{r_c}}{\Delta p_c} = 1 - \frac{2i' \lg \frac{R^*}{r_c}}{S_c}. \qquad \text{(VIII-B-9)}$$

Коэффициент C, характеризующий дополнительные гидравлические сопротивления призабойной зоны, рассчитывается по формуле

$$C = 2{,}3\left(\lg \frac{R^*}{r_c'} - \lg \frac{R^*}{r_c}\right) = 2{,}3\left(\lg r_c - \lg r_c'\right). \qquad \text{(VIII-B-10)}$$

Если $\varepsilon > 0$, $C > 0$ и $r_c' < r_c$, то это указывает на засорение или пониженную проницаемость пласта вблизи скважины и на необходимость мероприятий для увеличения проницаемости призабойной зоны водоносного горизонта и, следовательно, производительности нагнетательной скважины.

Определение мощности поглощающего водоносного горизонта и его водопроводимость

Определение мощности водоносного горизонта производится по каротажным данным и на основании геолого-литологического разреза, устанавливаемого другими способами. Для водоносных горизонтов, заключающих прослои непроницаемых пород, следует в качестве расчетного значения мощности, называемой эффективной мощностью, принимать суммарную мощность проницаемых слоев.

Неточности в установлении мощности водоносного пласта не влияют на результаты определения приемистости скважин при установившемся движении, так как при этих расчетах, так же как и при расчетах коэффициента проницаемости, принимается одна и та же величина мощности. Это связано с тем, что в зависимости для обоих видов расчетов входит произведение коэффициента проницаемости на мощность пласта, характеризующее водопроводимость последнего. При ошибке в сторону завышения мощности величина коэффициента проницаемости получается заниженной и наоборот, но произведение обеих величин остается неизменным.

Однако неправильное определение мощности влияет на величину коэффициента пьезопроводности, вычисляемого по формуле (VIII-B-14), и следовательно, на результаты расчетов для условий упругого режима.

Водопроводимость пласта представляет произведение коэффициента фильтрации (водопроницаемости) на эффективную мощность пласта

$$W = K_\Phi M_э. \qquad \text{(VIII-B-11)}$$

Для слоистых пластов и толщ суммарная водопроводимость представляет сумму водопроводимостей проницаемых слоев:

$$W_s = \sum_{i}^{n} K_{\Phi i} M_i = K_{\Phi.\,ср} M_э, \qquad \text{(VIII-B-12)}$$

где значение $K_{\Phi.\,ср}$ представляет средний взвешенный коэффициент фильтрации, т. е.

$$K_{\Phi.\,ср} = \frac{\sum_{i}^{n} K_{\Phi i} M_i}{\sum_{i}^{n} M_i}. \qquad \text{(VIII-B-13)}$$

Величина водопроводимости пласта входит во все формулы для определения притока воды к скважинам и, следовательно, характеризует водообильность водоносного горизонта.

Определение коэффициента пьезопроводности пласта

Основным параметром, характеризующим упругий режим, является коэффициент пьезопроводности, который может быть рассчитан на основании значений коэффициента проницаемости, вязкости, пористости и сжимаемости воды и пористой среды, выражаемой зависимостью

$$a = \frac{K}{\mu (n\beta_ж + \beta_c)}. \qquad \text{(VIII-B-14)}$$

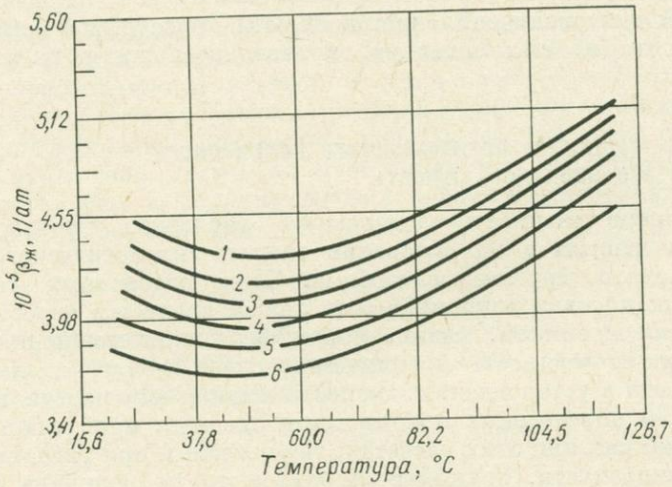


Рис. VIII-13. График изменения коэффициента сжимаемости чистой негазированной воды.

Кривые *1—6* соответствуют давлениям: *1* — 7 *ат*; *2* — 140 *ат*; *3* — 211 *ат*; *4* — 281 *ат*; *5* — 351 *ат*; *6* — 422 *ат*.

Размерности параметров в формуле (VIII-B-14) следующие: a — *см*^{2}/*сек*, K — *дарси*, μ — *спз*, n — в долях единицы, $\beta_ж$ и β_c — 1/*ат*.

Недостатком данного способа определения коэффициента пьезопроводности является то, что величина коэффициента сжимаемости пористой среды может быть определена только в результате довольно сложных лабораторных работ, большей частью же она принимается ориентировочно по данным исследований пород в других районах со сходными пластовыми условиями (метод аналогии).

Величина коэффициента сжимаемости жидкости рассчитывается с учетом ее минерализации, температуры и давления в пластовых условиях следующим образом:

а) Сжимаемость чистой воды, не содержащей растворенного газа — $\beta''_ж$, определяется по графику Джонса—Додсона—Стендинга для средних значений пластового давления и температуры данного горизонта (рис. VIII-13).

б) Сжимаемость минерализованной воды (промышленные стоки), не содержащей растворенного газа, определяется по формуле В. Н. Мамуны

$$\beta'_ж = \beta''_ж - 716 \cdot 10^{-10} \frac{G}{\gamma}, \qquad \text{(VIII-B-15)}$$

где G — минерализация воды (промышленных стоков), *г/л*;

γ — объемный вес воды (промышленных стоков) в пластовых условиях, *г/см*^{3}.

в) Сжимаемость минерализованной воды, содержащей растворенный газ, рассчитывается по формуле

$$\beta_{ж} = \beta'_{ж}(1 + 0{,}05\, S_{в}), \qquad \text{(VIII-B-16)}$$

где $S_{в}$ — газовый фактор.

Определение коэффициента сжимаемости жидкости данным способом приводится в работе В. Н. Щелкачева (1959).

Более надежно коэффициент пьезопроводности пласта определяется по данным опытных гидрогеологических работ, т. е. для условий естественного залегания водоносных пород. Сущность метода заключается в измерении понижения пьезометрического уровня (депрессии давления) при откачках (нагнетаниях).

Имеются несколько вариантов расчета коэффициента пьезопроводности по данным откачки (нагнетания) при наличии или отсутствии наблюдательных скважин.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В ОПЫТНОЙ СКВАЖИНЕ

1) Расчет коэффициента пьезопроводности по данным наблюдений за понижением пьезометрического уровня (депрессии давления) в начальный период откачки (нагнетания) при постоянном дебите производится методом подбора a по формуле

$$\frac{\Delta p_{c_1}}{\Delta p_{c_2}} = \frac{S_{c_1}}{S_{c_2}} = \frac{\mathrm{Ei}\left(-\frac{r_c^2}{4at_1}\right)}{\mathrm{Ei}\left(-\frac{r_c^2}{4at_2}\right)}. \qquad \text{(VIII-B-17)}$$

При значениях аргумента интегральной показательной функции $\frac{r_c^2}{4at} < 10^{-2}$ формула (VIII-B-17) может быть заменена приближенным выражением (VIII-B-18), позволяющим определить величину коэффициента пьезопроводности, не прибегая к методу подбора,

$$\lg a = \frac{S_{c_1} \lg \frac{2{,}25\, t_2}{r_c^2} - S_{c_2} \lg \frac{2{,}25\, t_1}{r_c^2}}{S_{c_2} - S_{c_1}}. \qquad \text{(VIII-B-18)}$$

При нагнетании и для самоизливающихся скважин значения S_{c_1} и S_{c_2} в формуле (VIII-B-18) заменяются соответственно величинами Δp_{c_1} и Δp_{c_2}.

Главным препятствием для применения этого способа является трудность поддержания строго постоянного дебита при откачке или нагнетании, а также необходимость особо точных измерений понижения пьезометрического уровня или депрессии давления.

2) Определение коэффициента пьезопроводности по данным восстановления уровня или давления после откачки (нагнетания) при $\frac{r_c^2}{4at} < 10^{-2}$ производится по формуле

$$\Delta p_c = S_c \gamma = \frac{Q}{4\pi KM}\left(\ln \frac{2{,}25\, a}{r_c^2} + \ln t\right). \qquad \text{(VIII-B-19)}$$

В данном случае строится график восстановления уровня (давления) в координатах Δp; S и $\lg t$ (см. рис. VIII-12) и построением определяется отрезок B, отсекаемый продолжением средней прямолинейной части этой линии на оси ординат, согласно формуле (VIII-В-19), равный

$$B = \frac{Q\mu}{4\pi KM} \ln \frac{2{,}25\, a}{r_c^2}. \qquad \text{(VIII-В-20)}$$

Определив из формулы (VIII-В-20) $\ln a$ и переходя к десятичным логарифмам, получаем окончательную зависимость для расчета величины коэффициента пьезопроводности пласта:

$$\lg a = \frac{5{,}46\, KM}{Q\mu} B - \lg \frac{2{,}25}{r_c^2}. \qquad \text{(VIII-В-21)}$$

Коэффициент пьезопроводности может быть рассчитан и по формуле (VIII-В-18), поскольку последняя характеризует также восстановление уровня после опыта, доведенного до стадии установившегося движения. В этом случае не требуется графическое определение отрезка B, а в формулу (VIII-В-18) подставляется вместо S_{c_1} и S_{c_2} величины понижения или повышения пьезометрического уровня (депрессии давления), считая от динамического уровня в конце опыта и отвечающие двум точкам прямолинейного отрезка зависимости Δp и $\lg t$. Результаты расчета обоими способами тождественны.

Определение коэффициента пьезопроводности изложенным способом возможно также по данным измерения пьезометрического уровня (давления) не при полной остановке скважины, а при переходе ее с определенного момента времени после установившегося режима откачки (нагнетания) на другой режим с дебитом Q_1, неизменным во времени, большим или меньшим первоначального дебита Q. При расчете в формуле (VIII-В-17) в данном случае вместо величины Q подставляется разность дебитов Q и Q_1.

Определение a по графику восстановления уровня (давления) в одиночной скважине может быть весьма неточным, так как в формулу (VIII-В-20) должен входить не фактический радиус скважин, а приведенный радиус, учитывающий характер вскрытия пласта и состояние призабойной зоны, что в рыхлых породах определить весьма затруднительно [Щелкачев, 1959]. В устойчивых породах при открытом стволе скважины этот метод дает удовлетворительные результаты.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ ПО ДАННЫМ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ УРОВНЯ В НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ

1) Расчет коэффициента пьезопроводности по данным наблюдений за измерением понижения пьезометрического уровня (депрессии давления) в начальный период откачки (нагнетания) в опытной и наблюдательной скважинах производится методом подбора a по формуле

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_н} = \frac{S_c}{S_н} = \frac{\mathrm{Ei}\left(-\frac{r_c^2}{4at}\right)}{\mathrm{Ei}\left(-\frac{r_н^2}{4at}\right)}. \qquad \text{(VIII-В-22)}$$

При значениях аргумента показательной функции $\frac{r_н^2}{4at} < 10^{-2}$ формула (VIII-В-22) может быть заменена приближенным ее выражением

(VIII-В-23), позволяющим определить величину коэффициента пьезопроводности, не прибегая к методу подбора.

$$\lg a = \frac{S_н \lg \frac{2{,}25\,t}{r_с^2} - S_с \lg \frac{2{,}25\,t}{r_н^2}}{S_н - S_с}. \qquad \text{(VIII-В-23)}$$

При нагнетании или для самоизливающей опытной скважины значение S заменяется соответственно величинами Δp.

2) Определение коэффициента пьезопроводности по данным наблюдений за измерением понижения пьезометрического уровня (депрессии давления) при откачке (нагнетании), проводимой при постоянном понижении (противодавлении), производится по формуле

$$a = \frac{r_н^2}{4C^2 t}, \qquad \text{(VIII-В-24)}$$

где C — функция отношения $\frac{p_н}{p_с}$ или $\frac{S_н}{S_с}$, определенная по графику (рис. VIII-14).

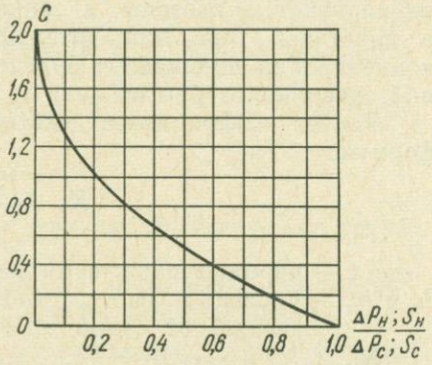


Рис. VIII-14. График для определения коэффициента $C = f\left(\frac{\Delta p_н}{\Delta p_с}\right) = f\left(\frac{S_н}{S_с}\right)$, входящего в формулу (VIII-В-24).

3) Определение коэффициента пьезопроводности по данным наблюдений за понижением пьезометрического уровня (депрессии давления) в начальный период откачки (нагнетания) при постоянном дебите производится методом подбора a по формуле

$$\frac{\Delta p_{н_2}}{\Delta p_{н_1}} = \frac{S_{н_2}}{S_{н_1}} = \frac{\mathrm{Ei}\left(-\frac{r_н^2}{4at_2}\right)}{\mathrm{Ei}\left(-\frac{r_н^2}{4at_1}\right)}. \qquad \text{(VIII-В-25)}$$

Эта формула применима также для случая наблюдения за восстановлением уровня после остановки опытной скважины, работающей перед остановкой при установившемся режиме (время t_1 и t_2 отсчитывается от момента остановки откачки или нагнетания).

4) Определение коэффициента пьезопроводности по данным наблюдений после остановки опытной скважины в случае ее непродолжительной работы, т. е. неустановившемся характере притока воды в скважину при откачке (нагнетании), производится по формуле

$$\frac{\Delta p_{н_2}}{\Delta p_{н_1}} = \frac{S_{н_2}}{S_{н_1}} = \frac{\mathrm{Ei}\left[-\frac{r_н^2}{4a(T+t_2)}\right] - \mathrm{Ei}\left(-\frac{r_н^2}{4at_2}\right)}{\mathrm{Ei}\left[-\frac{r_н^2}{4a(T+t_1)}\right] - \mathrm{Ei}\left(-\frac{r_н^2}{4at_1}\right)}. \qquad \text{(VIII-В-26)}$$

В рассматриваемом случае коэффициент пьезопроводности также определяется методом подбора, причем t_1 и t_2 отсчитываются от момента остановки опытной скважины и время T представляет продолжительность периода откачки (нагнетания).

Определение коэффициента действительной скорости движения подземных вод

Определение коэффициента действительной скорости опытным путем для глубокозалегающих водоносных горизонтов, характеризующихся очень малыми естественными скоростями движения подземных вод, следует производить в процессе откачки или нагнетания.

Опыты по определению коэффициента действительной скорости заключаются во введении индикаторов — при откачке в наблюдательную скважину, а при нагнетании — в опытную скважину, и определении времени t прохождения индикатором расстояния между этими скважинами. В качестве индикаторов могут быть применены красящие вещества, радиоактивные изотопы, а также растворы солей, содержание которых в пластовой воде незначительно. Момент появления и последующая концентрация индикатора определяются при нагнетании в наблюдательной скважине, а при откачке — в опытной скважине.

Расчет коэффициента действительной скорости $K_д$ производится по формуле

$$K_д = \frac{r_н^2 (\ln r_н - \ln r_с)}{2t\,(h_с - h_н)}, \qquad \text{(VIII-B-27)}$$

где t — время прохождения индикатором расстояния $r_н$;
$h_с$ и $h_н$ — уровень воды в опытной и наблюдательной скважинах, отсчитываемый от одной плоскости сравнения.

Формула (VIII-B-27) отвечает условиям радиального распространения воды по горизонтальным трещинам или прослоям пористой среды при линейном законе фильтрации.

Если на основании геологических и гидрогеологических данных можно предполагать сосредоточенное движение воды между опытной и наблюдательной скважинами по каналу, форма которого близка к прямолинейной, величину коэффициента действительной скорости движения подземных вод правильней рассчитывать по формуле

$$K_д = \frac{r_н^2}{2t\,(h_с - h_н)}. \qquad \text{(VIII-B-28)}$$

При проведении опытов с индикаторами устанавливается два значения времени t, первое, отвечающее моменту появления индикатора, и второе — его максимальной концентрации. Соответственно могут быть рассчитаны две величины $K_д$ — максимальная и средняя. Применительно к подземному сбросу промышленных стоков рекомендуется определять максимальное значение $K_д$, отвечающее времени появления индикатора.

Приближенное определение коэффициента действительной скорости движения подземных вод для пористых пород производится расчетом по формуле

$$K_д = \frac{K_ф}{m_э} \quad \text{или} \quad K_д = \frac{K_ф}{m}. \qquad \text{(VIII-B-29)}$$

Определение коэффициента приемистости поглощающей скважины

Приемистость поглощающей скважины представляет расход закачиваемой жидкости, отвечающей давлению, при котором производится закачка. Проще пользоваться одной величиной — коэффициентом при-

емистости, равным расходу поглощаемой жидкости, приходящемуся на одну техническую атмосферу давления,

$$q = \frac{Q}{p - p_{ст}} = \frac{Q}{\Delta p_c}, \qquad \text{(VIII-B-30)}$$

где p — давление при закачке жидкости;
$p_{ст}$ — давление, отвечающее статическому уровню подземных вод.

Дополнительное давление на забое при закачке промышленных стоков в скважины со статическим уровнем, залегающем ниже поверхности земли, слагается из трех величин: давления столба закачиваемой жидкости, находящейся в скважине, давления, развиваемого насосом, и произведения разности удельных весов промышленных стоков и пластовой воды на высоту пьезометрического уровня водоносного горизонта

$$\Delta p_c = \gamma_{пр} h_{ст} + p_y + H(\gamma_{пр} - \gamma), \qquad \text{(VIII-B-31)}$$

где $\gamma_{пр}$ — удельный вес закачиваемой жидкости;
γ — удельный вес пластовой воды;
$h_{ст}$ — глубина статического уровня от уровня манометра до устья скважины;
p_y — давление закачиваемой жидкости по показанию манометра;
H — высота пьезометрического уровня над серединой пласта.

Величина коэффициента приемистости поглощающей скважины зависит, в первую очередь, от водопроводимости пласта. Кроме того, на коэффициент приемистости влияют следующие факторы: степень и характер вскрытия пласта буровой скважиной, т. е. степень гидродинамического совершенства скважины; вязкость закачиваемой жидкости; закон фильтрации, т. е. наличие линейной зависимости между расходом и давлением (закон Дарси) или отклонений от последней, вызывающих изменение коэффициента приемистости при увеличении давления; кольматация пород в зоне, окружающей скважину, которая может вызвать быстрое и значительное снижение коэффициента приемистости; искусственные мероприятия, имеющие целью увеличение приемистости поглощающих скважин, заключающиеся в создании зоны повышенной проницаемости пород вокруг скважины; взаимодействие поглощающих скважин при закачке промышленных стоков более чем в одну скважину.

Закачка воды в поглощающую скважину или в группу поглощающих скважин представляет собой неустановившийся процесс. Вследствие постепенного расширения зоны повышенного давления (опрокинутая депрессионная воронка — репрессия) и уменьшения градиентов давления коэффициент приемистости скважины закономерно падает в зависимости от времени. В глубокозалегающих водоносных горизонтах, полностью насыщенных водой, уменьшение величины коэффициента приемистости в зависимости от времени подчиняется закономерностям упругого режима водонапорных систем. Эти зависимости рассмотрены в работах В. Н. Щелкачева, И. А. Чарного, М. Маскета и ряда других авторов, преимущественно применительно к условиям эксплуатации нефтяных месторождений.

При закачке промышленных стоков в водоносные пласты, имеющие выходы на поверхность или связанные с другими водоносными горизонтами, коэффициент приемистости постепенно стабилизируется, а движение подземных вод и закачиваемой жидкости при неизменном режиме нагнетания становится весьма близким к установившемуся.

Схема расчета поглощающих скважин (одиночных и групповых установок)

Основной задачей гидрогеологических расчетов, связанных со сбросом промышленных сточных вод в подземные толщи, является определение суммарного дебита поглощающих скважин и необходимого давления нагнетания в процессе их эксплуатации, а также скорости распространения промышленных стоков в поглощающем горизонте.

Одиночные поглощающие скважины и установки по сбросу промышленных стоков эксплуатируются длительный период времени, исчисляемый несколькими десятками лет. Влияние их распространяется на значительные расстояния, движение закачиваемых стоков в начальный период эксплуатации имеет явно неустановившийся характер.

Расчеты установок и одиночных поглощающих скважин сводятся к определению их дебита и давления нагнетания во времени. Установки или реальные группы скважин для упрощения расчетов представляются в виде обобщенных систем — линейной, кольцевой и площадной. Методика расчетов обобщенных систем скважин в безграничном и ограниченном пластах разработана Ф. М. Бочевером (1961).

Применяется также схема сброса промышленных стоков, предусматривающая разгрузочные скважины, из которых производится откачка воды, что позволяет снизить давление закачки и создать стабильный ее режим. Рационально располагать поглощающие и разгрузочные скважины в виде двух параллельных линейных рядов. Расчет такой системы производится по зависимости Маскета — Лейбензона [Биндеман, 1963].

В основу расчетов принимаются величины гидрогеологических параметров, полученные в результате проведения опытно-фильтрационных работ с учетом данных каротажа и лабораторных определений пористости и проницаемости пород, а также расход промышленных стоков, подлежащих подземному сбросу.

Суммарный дебит установки, равный суммарному дебиту всех взаимодействующих скважин системы, определяется зависимостью

$$Q_{\text{сум}} = \frac{4\pi K_{\phi} U}{N}, \qquad \text{(VIII-B-32)}$$

где $U = M \cdot \Delta p_{\text{с}}$ — напорная функция;

$N = N_{\text{в}} + N_{\text{скв}}$ — гидравлическое сопротивление в любой точке пласта;

$N_{\text{в}}$ — внешнее сопротивление, испытываемое потоком жидкости (подземными водами и промышленными стоками) при движении от обобщенных систем скважин;

$N_{\text{скв}}$ — внутреннее сопротивление, зависящее от расстановки скважин внутри системы.

Применимость формулы (VIII-B-32) ограничена следующими условиями.

1. Однородность пластов или при небольшой неоднородности «приведенность» к ним путем осреднения коэффициента фильтрации.

2. Постоянство $Q_{\text{сум}}$ в течение всего периода закачки.

Внешнее гидравлическое сопротивление определяется по соответствующим графикам и формулам для линейной, кольцевой и площадной систем скважин в безграничных и ограниченных в плане пластах.

Внутреннее гидравлическое сопротивление в скважине определяется из зависимости:

$$N_{\text{скв}} = 2\beta \left[\ln \frac{r_{\text{р}}}{r_{\text{с}}} + \zeta_{\text{н}} \left(\frac{l}{M}; \quad \frac{M}{r_{\text{с}}} \right) \right], \qquad \text{(VIII-B-33)}$$

где $\beta = \dfrac{Q}{Q_{\text{сум}}}$;

$\zeta_{\text{н}}$ — гидравлическое сопротивление, обусловленное несовершенством скважины и определяемое по графику в зависимости от длины фильтра l, мощности пласта M и радиуса скважины $r_{\text{с}}$;

$r_{\text{р}}$ — приведенный радиус условной области влияния данной скважины в условиях взаимодействия, определяемый в зависимости от схемы расположения скважин по различным формулам.

Подробно гидрогеологические расчеты обобщенных систем скважин проведены в работе Ф. М. Бочевера (1961).

При расположении поглощающих скважин по окружности, равных расстояниях между ними и неограниченном пласте давление нагнетания $\Delta p_{\text{с}}$ может быть приближенно рассчитано по формуле М. Г. Сухарева, представляющей упрощенную им формулу Ван Эвердинга и Херста (1949):

$$\Delta p_{\text{с}} = \frac{0{,}0366\, Q_{\text{сум}} \gamma \left(0{,}5 \lg \dfrac{2{,}25\, at}{r_{\text{к}}^2} + \dfrac{1}{n} \lg \dfrac{r_{\text{к}}}{r_{\text{с}}} \right)}{K_{\text{ф}} M_{\text{э}}}, \qquad \text{(VIII-B-34)}$$

где n — число поглощающих скважин;

$r_{\text{к}}$ — радиус окружности, по которой расположены скважины;

γ — вес единицы объема промстоков, $г/см^3$.

Формула (VIII-B-34) дает достаточно точные результаты при $\dfrac{at}{r_{\text{к}}^2} > 10$.

В случае расположения поглощающих скважин не по окружности, а по контуру с близкой друг к другу длиной и шириной, этот контур может быть приведен к кругу, причем в зависимость (VIII-B-34) подставляется вместо $r_{\text{к}}$ приведенный радиус контура — $r_{\text{пр}}$, рассчитываемый по формуле

$$r_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \qquad \text{(VIII-B-35)}$$

где F — площадь контура.

Для вытянутого контура, в том числе для линейного ряда скважин небольшой длины, приведенный радиус рассчитывается по формуле

$$r_{\text{пр}} = \frac{P}{2\pi}, \qquad \text{(VIII-B-36)}$$

где P — периметр контура.

При расположении поглощающих скважин по прямой линии большого протяжения на равных расстояниях друг от друга в неограниченном пласте давление нагнетания рассчитывается по преобразованной формуле Маскета—Лейбензона [Биндеман, 1963]

$$\Delta p_{\text{с}} = \frac{0{,}0366\, Q\gamma}{K_{\text{ф}} M_{\text{э}}} \left(\lg \frac{\lambda}{2\pi r_{\text{с}}} + \frac{1{,}54 \sqrt{at}}{\lambda} \right), \qquad \text{(VIII-B-37)}$$

где λ — расстояние между скважинами линейного бесконечного ряда;

$1{,}13 \sqrt{at} = L_{\text{п}}$ — приведенная дальность действия линейного ряда скважин (рис. VIII-15).

Для линейного ряда нагнетательных скважин и параллельного ему ряда разгрузочных скважин (рис. VIII-16) расчет давления нагнетания Δp_c производится по несколько иной формуле Маскета—Лейбензона, предложенной для установившегося движения подземных вод, так как в данном случае неустановившийся режим имеет место очень непродолжительное время,

$$\Delta p_c = \frac{0{,}0366\,Q\gamma}{K\phi M_э}\left(\lg\frac{\lambda}{2\pi r_c}+\frac{2{,}73\,L}{\lambda}\right), \qquad \text{(VIII-B-38)}$$

где L — расстояние между рядами нагнетательных и разгрузочных скважин.

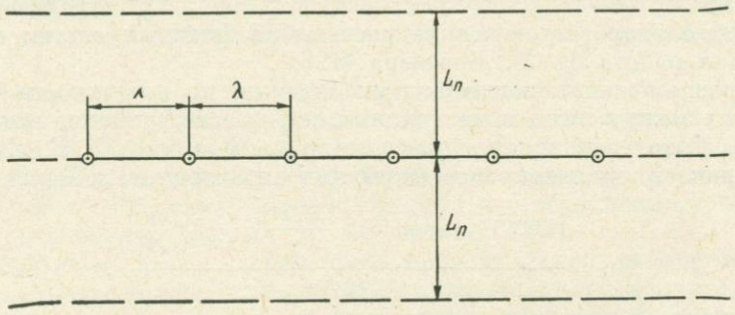


Рис. VIII-15. Схема линейного бесконечного ряда поглощающих скважин.

При проектировании системы нагнетательных скважин расчеты производятся обычно для нескольких вариантов числа и расположения скважин. Наиболее рациональным является вариант, при котором давление нагнетания является наивыгоднейшим, что предварительно рассчитывается по формуле А. П. Крылова (1962)

$$p_{нв} = \sqrt{\frac{C_{скв}\eta}{qT\omega C_{эн}}} - (p_{ст} - p_{пл} - p_{тр}), \qquad \text{(VIII-B-39)}$$

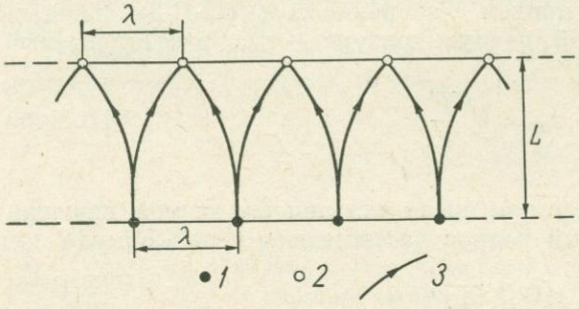


Рис. VIII-16. Схема расположения линейных рядов нагнетательных и разгрузочных скважин.

1 — нагнетательные скважины; *2* — разгрузочные скважины; *3* — линии тока.

где $p_{нв}$ — наивыгоднейшее давление нагнетания, *ат*;

$C_{скв}$ — стоимость одной нагнетательной скважины в рублях;

$C_{эн}$ — стоимость одного киловатт-часа энергии в рублях;

η — коэффициент полезного действия насосных установок ($\approx$0,5);

q — коэффициент приемистости нагнетательной скважины, *м³/сутки · ат*;

T — общий срок работы нагнетательной скважины, сутки;

ω — количество энергии, затрачиваемой на повышение давления на 1 *ат* для 1 *м³* закачиваемых промышленных стоков, ω — 0,027 *квч/м³ · ат*;

$p_{ст}$ — давление столба воды в скважине, *ат*;

$p_{пл}$ — пластовое давление (среднее на участке расположения нагнетательных скважин), *ат*;

$p_{тр}$ — потери давления на трение в трубах и арматуре (от насоса до забоя скважины), *ат*;

Приближенное определение продвижения раздела закачиваемых промышленных стоков и пластовой воды в пористом однородном пласте (предполагается равномерное и сплошное распространение их во все стороны по кругу от кольцевой системы скважин) производится по формуле

$$r = \sqrt{\frac{TQ_{сум}}{\pi h_э M_э} + r_к^2}, \qquad \text{(VIII-В-40)}$$

где $r_к$ — радиус кольцевой системы скважин.

Для случая равномерного и сплошного распространения промышленных стоков от линейной системы скважин продвижение раздела (без учета возможности образования отдельных «языков» за счет неравномерной эксплуатации отдельных скважин или фациальной изменчивости пород) во времени может быть определено по формуле

$$L = \frac{TQ_{сум}}{2lh_э M_э}, \qquad \text{(VIII-В-41)}$$

где l — длина линейной системы скважин.

Г. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

§ 1. Общие положения

Гидротехнические сооружения весьма разнообразны по назначению, типу и размерам и возводятся в различной гидрогеологической обстановке. Поэтому объем и содержание исследований варьирует в широких пределах.

Наиболее сложны и ответственны исследования для высоконапорных плотин на больших реках и связанного с ними комплекса других гидросооружений (здания гидроэлектростанций, шлюзы, дамбы, водосбросы и т. д.).

Гидрогеологические исследования для водохранилищ, в зависимости от подпора и природных условий могут иметь больший или меньший объем. Так, для водохранилищ, не вызывающих опасений в отношении фильтрации и при отсутствии объектов, которым угрожает подпор грунтовых вод, можно ограничиться мелкомасштабной геологической и гидрогеологической съемкой или маршрутными исследованиями. В других же случаях необходимы детальные исследования на значительной площади.

Гидрогеологические исследования для водопроводящих гидросооружений (каналы, тоннели) наиболее детально проводятся на участках, где возможна значительная фильтрация, большие водопритоки при строительстве и т. п., а также в местах со сложным геологическим строением.

Основные задачи гидрогеологических исследований для гидротехнического строительства следующие.

1. Оценка потерь на фильтрацию в районе плотин и других водонапорных сооружений, а также из водохранилищ, каналов и напорных бассейнов.

2. Установление влияния фильтрации на устойчивость гидросооружений и горных пород на участках их возведения.

3. Определение подпора грунтовых вод (преимущественно в верхнем бьефе гидросооружений) в местах, где имеются или будут построены объекты, подтопление которых грунтовыми водами может быть нежелательным или опасным.

4. Определение притока воды в строительные котлованы.

5. Оценка агрессивного действия подземных и поверхностных вод на бетон и другие материалы (Нормы агрессивности, вода—среда; 1954; Алекин, 1954).

§ 2. Состав и объем гидрогеологических исследований для различных видов гидросооружений по стадиям проектирования

Гидрогеологические исследования для стадии технико-экономического доклада (ТЭДа)

Для обоснования технико-экономического доклада производятся сбор и обобщение имеющихся литературных и фондовых материалов по геологии и гидрогеологии обширного района, охватывающего проектируемые гидроузлы, водохранилища и трассы каналов по всем намечаемым вариантам.

Главное внимание уделяется местам предполагаемых сооружений, неблагоприятным участкам территории затопления и водораздельным участкам, сложенным водопроницаемыми породами, через которые возможна фильтрация в ближайшие долины. На таких участках исследования производятся в более крупном масштабе.

Основным видом работ в данной стадии является комплексная съемка, проводимая в следующих масштабах.

а) Для районов гидростроительства на крупных равнинных реках 1 : 200 000 или 1 : 500 000.

б) Для районов горных рек при сложном геологическом строении 1 : 100 000 и 1 : 200 000.

Съемка предусматривает полный комплекс наблюдений над водопунктами и других работ, подробно рассмотренных в главе I и в ряде других руководств [Овчинников, 1955].

Главное внимание уделяется сильнопроницаемым и мощным четвертичным образованиям и толщам закарстованных и сильнотрещиноватых пород.

В хорошо изученных районах комплексная съемка может быть заменена рекогносцировкой или маршрутными исследованиями.

Геологоразведочные работы в стадии ТЭДа производятся в небольшом объеме. Кроме мелких выработок, необходимых для обоснования съемки, проводятся отдельные буровые скважины для определения мощности, литологии и проницаемости аллювиальных и других четвертичных отложений на участках, намечаемых для возведения водонапорных сооружений, и в других местах, где через эти образования может происходить значительная фильтрация. Из скважин производятся кратковременные откачки, а также отбор образцов для лабораторных определений водопроницаемости и других водных свойств. Иногда проводятся отдельные сравнительно глубокие гидрогеологические скважины преимущественно для определения водопроницаемости коренных закарстованных или сильнотрещиноватых пород.

Материалы гидрогеологических исследований, проводимых в стадии ТЭДа, должны давать общее представление о значении гидрогеологи-

ческих факторов для строительства и эксплуатации гидросооружений и водохранилищ, а также служить для сопоставления отдельных вариантов гидроузлов, намечаемых в этой стадии.

Детальные гидрогеологические исследования для стадий проектного задания и технического проекта

Детальные исследования проводятся на участках, намеченных для строительства гидросооружений, на неблагоприятных участках водохранилищ, по трассам каналов и тоннелей. Исследования заключаются в детальной гидрогеологической съемке и проходке скважин и других разведочных выработок, которые служат не только для решения геологических задач, но также и для проведения опытных фильтрационных и других гидрогеологических работ.

Исследования для плотин и других водонапорных сооружений. В стадии проектного задания детальная гидрогеологическая съемка производится на участках возможного расположения створов плотин, нередко на двух-трех сопоставляемых участках.

Масштабы гидрогеологической съемки рекомендуются от 1 : 1000 до 1 : 10 000 в зависимости от сложности геологического строения района [Белый, Биндеман и др., 1950; Попов, 1951]. Чаще всего съемка производится в масштабе 1 : 2000 или 1 : 5000.

При съемке в районах развития скальных и полускальных пород детально изучаются трещиноватость, разломы и другие тектонические нарушения, устанавливается их связь с выходами подземных вод и выявляются зоны, наиболее опасные в отношении сосредоточенной фильтрации.

Разведочные и опытные фильтрационные работы в этой стадии производятся в значительном объеме с целью определения водопроницаемости пород основания плотины и береговых примыканий, а также ее изменения по вертикали и в горизонтальном направлении. По данным геологоразведочных и опытных работ устанавливаются также мощность внешней зоны разрушенных выветриванием пород и глубина залегания практически водопроницаемых пород.

В стадии технического проекта проводятся детальные исследования по выбранным створам гидросооружений, проходятся дополнительные скважины и другие выработки и производятся в большом объеме опытные фильтрационные работы. Указанные работы проводятся в этой стадии не только по основному створу плотины, но также по двум, а иногда и трем-четырем параллельным створам. Расстояние между створами зависит от ширины основания плотины и сложности геологического строения участка. Обычно оно не превышает 200—300 *м*. Расстояния между скважинами основного створа меняются чаще всего от 50 до 200 *м*, а между скважинами параллельных створов — в 2,0—2,5 раза больше.

В состав опытных работ входят откачки из одиночных скважин, кустовые откачки и для трещиноватых пород — также нагнетания, поинтервальные и суммарные.

Для рыхлых пористых пород кустовые откачки служат для наиболее точного определения водопроницаемости.

Для скальных и полускальных трещиноватых пород в связи с их фильтрационной неоднородностью кустовые откачки имеют более существенное значение и, кроме того, служат для определения коэффициента действительной скорости движения подземных вод (см. § 3). Схема опытных кустов обычно двухлучевая, причем один из взаимно перпендикулярных

лучей ориентируется в направлении нижнего бьефа. Реже применяется трех- и четырехлучевая схемы (см. главу III).

При изучении водопроницаемости аллювиальных отложений поймы и более высоких террас в случае небольшой ширины долины обычно на протяжении между руслом и ее бортом закладываются два опытных куста. В широких долинах число кустов может быть увеличено до четырех-пяти.

Заложение гидрогеологических кустов в аллювиальных отложениях русла нерационально вследствие незначительных размеров зоны депрессии и технической трудности бурения.

Для изучения трещиноватых пород обычно закладываются один или два куста в основании бортов долины, а в широких долинах дополнительные опытные кусты на пойме или надпойменных террасах.

Опытные кусты следует располагать на участках, наиболее неблагоприятных в отношении фильтрации, а также в местах будущих строительных котлованов и выемок, в которые возможны значительные водопритоки.

Поинтервальные нагнетания в одиночные скважины производятся для трещиноватых пород посредством тампонирующих приборов. Они позволяют установить изменение водопроницаемости с глубиной, фиксировать трещиноватые зоны и отдельные крупные трещины и оценить их водопроводимость. В ответственных случаях (высокие плотины) поинтервальные нагнетания проводятся при постоянном интервале длиной 4—5 *м* (см. § 3). При небольшом подпоре и благоприятных гидрогеологических условиях поинтервальные нагнетания можно производить при переменной длине испытуемого интервала.

Суммарные нагнетания и наливы желательно проводить в скважины, заданные на береговых примыканиях. Эти опыты дают среднюю водопроницаемость всей или большей части толщи трещиноватых пород, в том числе и зоны аэрации.

В стадии технического проекта может возникнуть необходимость в опытных кустовых откачках или нагнетаниях для определения взаимосвязи между водоносными горизонтами, для трещиноватых пород — в опытных цементационных работах или в опытной битумизации [Трупак, 1949; Шрейбер, 1964].

Стационарные гидрогеологические наблюдения организуются иногда еще в стадии ТЭДа, в стадии же проектного задания и технического проекта являются обязательными и продолжаются на период строительства и эксплуатации гидросооружений. Данные этих наблюдений позволяют установить гидравлическую связь между рекой и водоносными горизонтами и взаимосвязь последних друг с другом, что имеет значение для установления условий ожидаемой фильтрации. Кроме того, получаемые данные по гидрохимическому режиму имеют значение для оценки агрессивности подземных вод. Эти работы имеют большое значение для прогноза выщелачивания легкорастворимых минералов (чаще всего гипса, иногда галита и других галоидных солей), которые могут быть распространены в породах основания плотины и береговых примыканий в дисперсном виде, в форме включений, прослоев или более или менее мощных пластов и залежей. Наличие водорастворимых минералов может быть серьезным противопоказанием, усложняет гидрогеологические исследования и требует особенно детального и тщательного их проведения для возможности обоснованного прогноза. Примером гидроузлов на больших реках, в основании которых залегают породы, подверженные выщелачиванию, могут служить Камская ГЭС в районе Перми (в основании залегают

гипсы и ангидриты) и проектируемый Соликамский гидроузел (на глубине 80—120 *м* имеется мощная толща галоидных солей).

Наблюдательные скважины для стационарных гидрогеологических наблюдений располагаются по оси плотины и на параллельных створах в пределах террас и бортов долины. Расстояния между скважинами на террасах близ реки обычно 50—100 *м*, на более удаленных участках постепенно увеличиваются до 200—500 *м*. У оси плотины должен быть оборудован водомерный пост и при отсутствии вблизи метеорологических станций — метеостанция третьего разряда.

Для стационарных наблюдений в период строительства и эксплуатации наиболее рациональна схема расположения наблюдательных скважин, показанная на рис. VIII-17.

Гидрогеологические исследования для водохранилищ проводятся обычно двумя этапами.

На первом этапе дается общая оценка надежности водохранилища в отношении фильтрации и намечаются участки дальнейших детальных исследований, проводимых для оценки потерь на фильтрацию и получения данных для прогноза подпора грунтовых вод.*

Работы первого этапа — обобщение материалов и комплексная геологическая и гидрогеологическая съемка. Масштабы съемки обычно 1 : 50 000 или 1 : 100 000.

Съемка должна охватывать всю затопляемую площадь и распространяться на 0,5—2,0 *км* в сторону. Кроме того, съемкой охватываются водораздельные участки, где возможны значительные потери на фильтрацию. В хорошо исследованных районах и для большинства водохранилищ на больших реках в платформенных областях съемка может быть заменена маршрутными исследованиями для всей или большей части освещаемой территории.

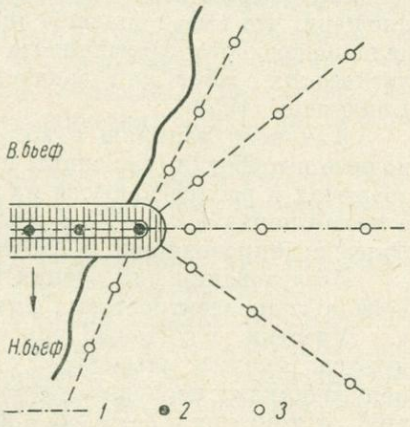


Рис. VIII-17. Схема расположения наблюдательных скважин для изучения режима подземных вод после постройки плотины.

1 — ось плотины; *2* — наблюдательные скважины на плотине; *3* — наблюдательные скважины на берегу.

Детальные исследования второго этапа заключаются в основном в проведении разведочных и опытных гидрогеологических работ, а также стационарных наблюдений на отдельных участках площади затопления и водоразделов. Только для водохранилищ, где возможна вертикальная фильтрация, т. е. в области развития сильнопроницаемых пород в зоне затопления с глубоким залеганием грунтовых вод или безводных пород, перекрытых недостаточно мощными и водоупорными четвертичными образованиями, приходится детально исследовать всю чашу или большую ее часть. Детальные исследования проводятся обычно в масштабе 1 : 25 000, а при сложных условиях — 1 : 10 000.

Разведочные гидрогеологические скважины на водораздельных участках проводятся по поперечникам, расстояние между которыми в зависимости от сложности гидрогеологических условий меняется от 0,2

---

* Вопросы инженерно-геологического характера: переработка берегов, устойчивость косогорных участков и т. п., а также изучение твердого стока в настоящем руководстве не рассматриваются.

до 5,0 *км*, составляя чаще всего 1—2 *км*. На каждом поперечнике закладываются 2—4 выработки, доводимые по возможности до выдержанного водоупора. Скважины служат для определения водопроницаемости пород путем откачек и наливов (для зоны аэрации), а также лабораторными методами.

Стационарные гидрогеологические наблюдения на водоразделах проводятся обычно по одному-двум створам при числе наблюдательных скважин на створе две-три.

В закарстованных породах для стационарных наблюдений оборудуются все имеющиеся гидрогеологические скважины. В данном случае режимные наблюдения дают возможность получить косвенным путем средний коэффициент водопроницаемости толщи этих пород на большой площади, что имеет большое значение, поскольку непосредственное определение среднего коэффициента фильтрации по данным опытных гидрогеологических работ для закарстованных толщ затруднительно [Белый, Биндеман, 1950].

Для водохранилищ с возможной вертикальной фильтрацией разведочные выработки (скважины и шурфы) проводятся в четвертичных образованиях и распределяются на площади затопления равномерно, по сетке с шагом порядка 0,5—1 *км* и сгущаются лишь на участках развития наиболее водопроводящих и неоднородных пород.

Исследования для оценки фильтрационных потерь из напорных бассейнов гидроэлектростанций такие же, как для водохранилищ.

Участки, изучаемые для прогноза подпора грунтовых вод, исследуются также в масштабе 1 : 10 000—1 : 25 000. Скважины бурятся по поперечникам, перпендикулярным к берегу водохранилища, отстоящим друг от друга на 0,3—1 *км*, и доводятся до водоупора. Расстояния между скважинами 0,5—2 *км*. Фильтрационные свойства пород определяются лабораторными методами и путем откачек, а для зоны аэрации — наливов.

Гидрогеологические исследования для каналов в стадии проектного задания проводятся в масштабе от 1 : 25 000 до 1 : 50 000, охватывая полосу обычно шириной 0,5—2,0 *км* вдоль намечаемых вариантов трассы канала. Опытные фильтрационные работы проводятся в этой стадии в небольшом объеме. В основном это откачки из скважин или шурфов, а для зоны аэрации — инфильтрация в шурфах, доведенных до проектной отметки дна канала, или наливы в скважины.

Для пород с невысокой проницаемостью оценка их водных свойств производится лабораторными методами или визуально.

В стадии технического проекта исследования проводятся в масштабе 1 : 2000—1 : 10 000 вдоль выбранной трассы, при расстоянии между скважинами 0,5—1,0 *км*.

Кроме того, на участках со сложными гидрогеологическими условиями или неблагоприятных в отношении фильтрационных потерь и других явлений, кроме выработок, задаваемых на трассе, проводятся 2—4 дополнительные скважины или шурфа по поперечнику, нормальному к трассе. Эти поперечники располагаются в 2—3 раза реже, чем скважины на трассе.

Определение фильтрационных свойств горных пород производится в стадии технического проекта теми же методами, что в стадии проектного задания.

Во всех гидрогеологических скважинах измеряется глубина залегания грунтовых вод и устанавливаются возможные его колебания, для чего организуются режимные наблюдения.

Для прогноза потерь на фильтрацию из каналов необходимо установить положение зоны дренирования горизонтов, по которым может проис-

ходить отток фильтрующейся воды, и определить водопроводимость горизонта на всем протяжении от канала до границы этой зоны.

В ответственных случаях для надежного определения фильтрационных потерь создаются опытные участки каналов — котлованы с поперечным сечением, соответствующим профилю канала, заполняемые водой.

Гидрогеологические исследования для тоннелей заключаются в комплексной съемке масштаба от 1 : 5000 до 1 : 10 000, которая при сложных гидрогеологических условиях должна охватывать не только узкую полосу вдоль трассы, а более или менее широкую площадь. Это необходимо для того, чтобы установить геологическое строение и гидрогеологические условия всего массива, пересекаемого тоннелем.

Опытные фильтрационные работы (откачки или наливы и нагнетания) проводятся вдоль трассы тоннеля на участках, где возможны значительные водопритоки. Расстояния между гидрогеологическими скважинами от 200 до 500 *м*. Скважины углубляются на 10—15 *км* ниже намеченной отметки заложения тоннеля. Особое внимание обращается на гидрогеологические условия и водообильность зон тектонических нарушений и контактов различных пород.

В стадии технического проекта на участках развития сильно водообильных горизонтов или зон, пересекаемых тоннелем, организуются стационарные гидрогеологические наблюдения.

Существенное значение для тоннелей имеют наблюдения над водопритоком и режимом подземных вод в период строительства.

Гидрогеологические исследования для определения притока воды в строительные котлованы и проектирования искусственного водопонижения должны охарактеризовать водоносные горизонты и зоны, могущие обводнять котлован, а также напорные горизонты, из которых могут произойти прорывы воды или плывунов на дне котлована.

Наиболее существенной частью исследований в данном случае являются опытные фильтрационные работы — откачки из одиночных скважин, а в ответственных случаях (для крупных котлованов) также кустовые откачки.

Для опытов используются преимущественно скважины, проведенные ранее для изучения основания сооружений.

С целью получения исходных данных для проектирования крупных водопонизительных установок проводятся длительные откачки как из одиночных скважин, так и групповые. В задачи этих работ входят проверка результатов гидрогеологических расчетов водопонизительных установок и выяснение рациональности принятого оборудования водопонизительных скважин (фильтры, насосы и пр.).

§ 3. Методика гидрогеологических исследований для гидротехнического строительства

Гидрогеологическая съемка производится согласно существующим руководствам и инструкциям [Белый, Биндеман и др., 1950; Овчинников, 1955], а также рекомендациям, изложенным в главе I. Особенности съемки для гидростроительства: тесная увязка гидрогеологических и инженерно-геологических данных (последние в руководстве не рассматриваются); детальное изучение литологии, микротектоники и трещиноватости, установление закономерностей, определяющих водопроницаемость пород и степень ее изменчивости.

При детальной съемке, а также при разведочных и опытных работах на участках плотин должны быть выявлены и изучены слои и зоны, где

возможна интенсивная сосредоточенная фильтрация, следствием которой могут быть суффозия, вынос материала из трещин и т. п.

Задачей изучения химического состава подземных и поверхностных вод является прежде всего оценка их агрессивности.

По данным гидрогеологической съемки или маршрутных исследований, а также обобщения имеющихся материалов составляются: 1) гидрогеологические карты и профили, содержание которых зависит от масштаба исследований, степени изученности и сложности геологического строения района, а также от роли гидрогеологических факторов для проектируемых сооружений; 2) гидрогеологическая характеристика всего района с более подробным описанием участков, намечаемых для строительства гидросооружений.

Проходка гидрогеологических скважин ведется обычными методами, широко применяется колонковое бурение, обеспечивающее наиболее полную документацию и более простую и надежную установку тампонирующих приборов для производства нагнетаний. Колонковое бурение применяется в скальных и полускальных породах, а также в глинистых толщах. Глинистая промывка при проходке горизонтов, опробуемых путем откачки, нежелательна. Конечный диаметр колонковых скважин, предназначенных для нагнетаний, должен быть не менее 76 *мм*.

Для проведения стационарных наблюдений над двумя или тремя водоносными горизонтами в одной скважине разработана конструкция комбинированных фильтров [Белый, Нейштадт, Конярова, 1953].

Опытные гидрогеологические работы производятся в соответствии с изложенным в главе III, но сокращается продолжительность опытов, задачей которых является только определение коэффициента водопроницаемости. Так, проектная продолжительность откачек из одиночных скважин при исследованиях для гидростроительства — от 3 до 6 смен для напорных горизонтов и от 9 до 12 смен для безнапорных. Продолжительность кустовых откачек должна быть в 1,5—3,0 раза больше, чем из одиночных скважин.

Продолжительность нагнетаний и наливов принимается согласно таблице III-А-1.

Обработка данных опытных гидрогеологических работ заключается в построении хронологических графиков, графиков зависимости между дебитом и понижением уровня при откачках (или повышением уровня или давления на устье при наливах и нагнетаниях), а также графиков восстановления уровня или давления с обычным и логарифмическим масштабом времени. Расчеты коэффициентов фильтрации и других параметров производятся по зависимостям, приведенным в главе XII, том 1.

По данным поинтервальных нагнетаний строятся эпюры водопроницаемости, чаще всего на них показывается удельное водопоглощение.

По данным опытных фильтрационных работ и лабораторных определений водопроницаемости строятся фильтрационные профили (рис. VIII-18), а иногда также карты водопроницаемости. На профили наносятся фактические данные опытных работ, показываются зоны пород различной проницаемости. При построении профилей необходимо учитывать литологию, тектонику и т. д.

Определение коэффициента действительной скорости движения подземных вод производится для трещиноватых пород на участках плотин. Указанный коэффициент представляет скорость движения воды по трещинам при градиенте, равном единице, и дает возможность рассчитать скорость $v_д$ в породах оснований плотины и береговых примыканий при градиентах, возникающих после создания подпора. Расчет $v_д$ производится по следующим формулам.

При линейном законе фильтрации

$$v_д = K_д J = K_д \frac{H}{L}. \qquad \text{(VIII-Г-1)}$$

При квадратичном законе фильтрации

$$v_д = K_{д,к} J = K_{д,к} \sqrt{\frac{H}{L}}, \qquad \text{(VIII-Г-2)}$$

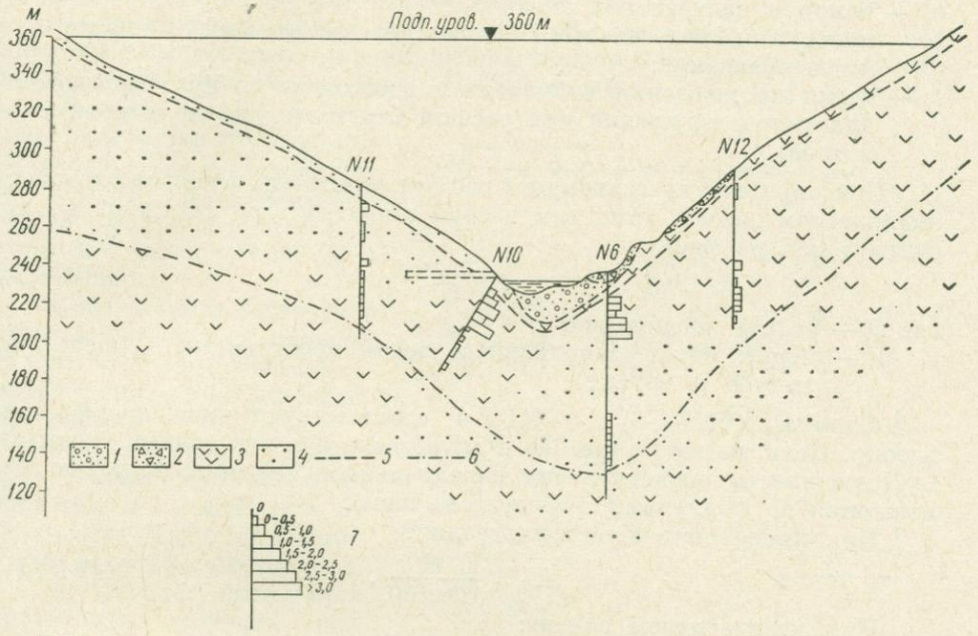


Рис. VIII-18. Фильтрационный профиль по оси высоконапорной плотины на р. Рион у с. Намохвани.

1 — галечники (аллювий); *2* — суглинки со щебнем (делювий); *3* — порфиритовые туфобрекчии (лейас); *4* — порфиритовые туфы (лейас); *5* — верхняя граница зоны проницаемых пород; *6* — нижняя граница водопроницаемых пород; *7* — удельное водопоглощение, *л/мин · м*.

где $K_д$ и $K_{д,к}$ — коэффициенты действительной скорости, соответственно при линейном и квадратичном законе фильтрации;

J — градиент напора;

H — подпор, создаваемый плотиной;

L — длина пути движения воды (величина L берется для сильно водопроводящих трещин и самых коротких путей движения воды из верхнего бьефа в нижний).

$K_д$ или $K_{д,к}$ определяется в процессе нагнетания или откачки на опытном кусте. При нагнетании индикатор вводится в опытную (центральную) скважину и улавливается в наблюдательных скважинах, обычно ближайших к опытной. Время появления индикатора и максимальной его концентрации фиксируется так же, как при определении действительной скорости для естественных потоков подземных вод (см. главу III).

Расчет $K_д$ или $K_{д,к}$ производится по следующим формулам.

При линейном законе фильтрации [Биндеман, 1951]

$$K_д = \frac{\left(r^2 - r_c^2\right)\left(\ln r - \ln r_c\right)}{2t\left(h_c - h\right)}. \qquad \text{(VIII-Г-3)}$$

При квадратичном законе [Керкис, 1936]

$$K_{д,к}=\frac{r^2-r_c^2}{2t}\sqrt{\frac{\frac{1}{r_c}-\frac{1}{r}}{h_c-h}}. \qquad \text{(VIII-Г-4)}$$

Обозначения в приведенных формулах следующие:

r — расстояние между центральной и наблюдательной скважинами;*

r_c — радиус центральной скважины;

h_c — напор в центральной скважине;

h — напор в наблюдательной скважине, отсчитываемый от той же плоскости сравнения;

t — время прохождения индикатором расстояния r (при исследовании для гидросооружений для расчета берется время появления индикатора).

При определении величины t следует учитывать время прохождения индикатором насоса, арматуры и труб в центральной скважине t_1, рассчитываемое по формуле

$$t_1=\frac{Q}{V}, \qquad \text{(VIII-Г-5)}$$

где Q — расход нагнетания;

V — общий объем заполненного водой пространства в насосе, арматуре и трубах.

Формулы (VIII-Г-3) и (VIII-Г-4) соответствуют плоскорадиальному потоку. Если же геологические и гидрогеологические данные указывают на возможность движения воды параллельными струями, то расчет производится по формулам, приведенным ниже.

При линейном законе фильтрации:

$$K_д=\frac{r^2}{t\,(h_c-h)}. \qquad \text{(VIII-Г-6)}$$

При квадратичном законе:

$$K_{д,к}=\frac{r^{3/2}}{t\,(h_c-h)}. \qquad \text{(VIII-Г-7)}$$

Эти формулы дают меньшие значения $K_д$ и $K_{д,к}$, чем зависимости для радиального потока.

При определении коэффициента действительной скорости в процессе откачки индикатор вводится в наблюдательную скважину и улавливается в центральной. Расчеты производятся по тем же формулам после изменения знака величины (h_c-h).

Индикатор следует вводить при режиме, близком к установившемуся.

Откачки—нагнетания производятся, как указано в главе III и подробней в статье Е. Е. Керкиса [1956]. Эти опыты целесообразно производить на участках плотин при сильнонеоднородных породах, а также при развитии многолетней мерзлоты, в случае, если последняя должна оттаивать в основании сооружений и т. п.

Определение гидравлической связи между горизонтами путем кустовых откачек или нагнетания производится, как указано в главе III.

Опытные цементационные работы производятся для выяснения условий создания цементационных противофильтрационных завес. При проведении этих работ должны быть установлены расход цемента и рациональная консистенция раствора, необходимость введения инертных или активных добавок, оптимальный режим цементации (изменение во времени давления и консистенции цементного раствора), рациональная схема расположения цементационных скважин и расстояние между ними (зави-

* Для наклонных трещин и трещиноватых зон расстояние r измеряется не по горизонтали, а вдоль трещин.

сит от условий распространения закачиваемого раствора), эффективность цементации и технико-экономические показатели.

Опытные участки выбираются в характерных пунктах и состоят из основных цементационных (инъекционных) и контрольных скважин. Схемы расположения скважин показаны на рис. VIII-19. Расстояние между цементационными скважинами для завес в основании плотин от 1 до 5 *м* устанавливается по данным опыта.

Нагнетание цементного раствора производится по интервалам, изолируемым посредством тампонирующих приборов снизу вверх — «восходящие зоны» или сверху вниз — «нисходящие зоны».

Давление при цементации изменяется в широких пределах — от 0,5—1,0 до 50—100 *ат* — в зависимости от проницаемости пород и степени и характера их трещиноватости.

Консистенция раствора — отношение количества цемента (*кг*) к объему воды (*л*) — может меняться в широких пределах.

Рекомендуется принимать среднюю консистенцию раствора в зависимости от удельного водопоглощения согласно следующим данным.

В начале нагнетания применяются наиболее жидкие консистенции цементного раствора 1 : 10—1 : 8, независимо от водопроницаемости пород, затем более густые.

Продолжительность опыта обычно от 2 до 8 *ч* (для средних удельных водопоглощений). Опыт производится до «отказа», т. е. резкого падения расхода раствора (удельное поглощение раствора — 0,01—0,005 *л/мин · м*).

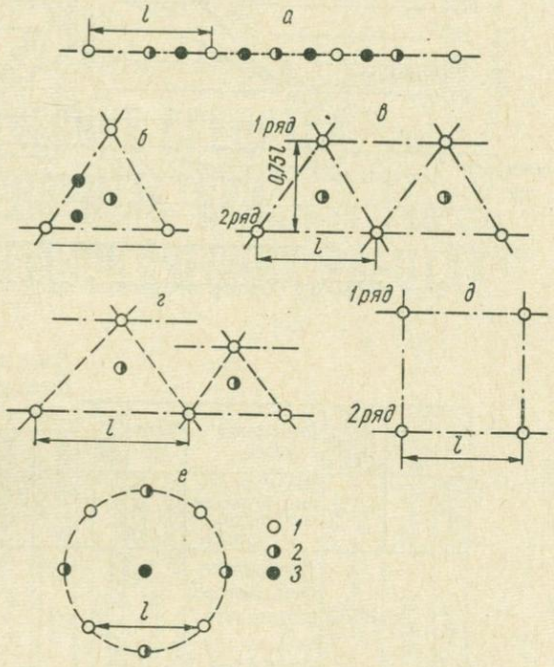


Рис. VIII-19. Схемы опытных цементационных участков.

1 — основные цементационные скважины; *2* — контрольные скважины I порядка; *3* — то же II порядка; *l* — расстояния между основными скважинами.

Давление и консистенция раствора при опыте устанавливаются в зависимости от поглощения последнего. При больших расходах увеличивают содержание цемента в растворе и, если этого недостаточно, вводят инертные добавки (песок, зола, молотый шлак и т. п.).

Удельное водопоглощение, *л/мин · м*	0,01	0,01—0,05	0,05—0,2	0,2—1	1
Консистенция	1 : 10—1 : 8	1 : 8—1 : 5	1 : 5—1 : 2	1 : 2—1 : 1	1 : 1—1 : 0,4

После цементации основных скважин бурятся и опробуются нагнетанием по зонам контрольные скважины. Если опробование последних показывает недостаточное уменьшение проницаемости пород, то они цементируются, а затем бурятся и опробуются новые скважины между ранее зацементированными. Данные опытной цементации изображаются на хронологическом графике (рис. VIII-20) и сводном разрезе цементационной скважины (рис. VIII-21).

Более подробные сведения имеются в литературе [Белый, Биндеман и др., 1950; Трупак, 1949].

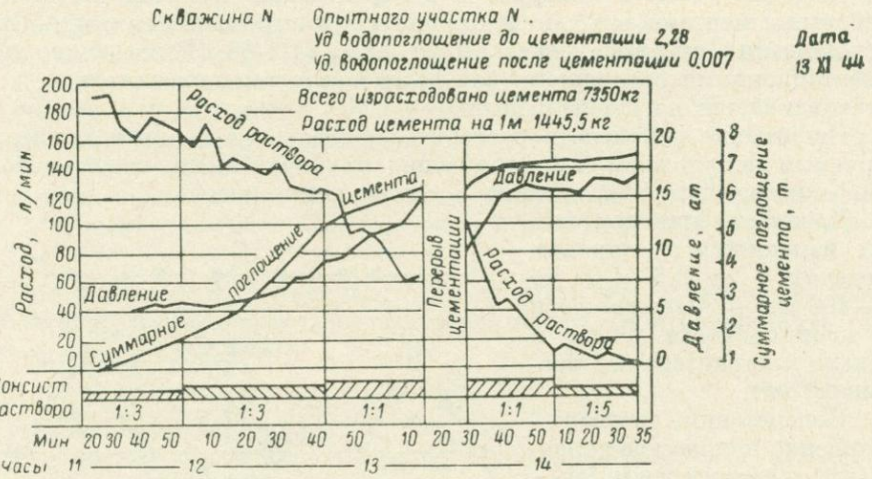


Рис. VIII-20. Хронологический график опытной цементации.

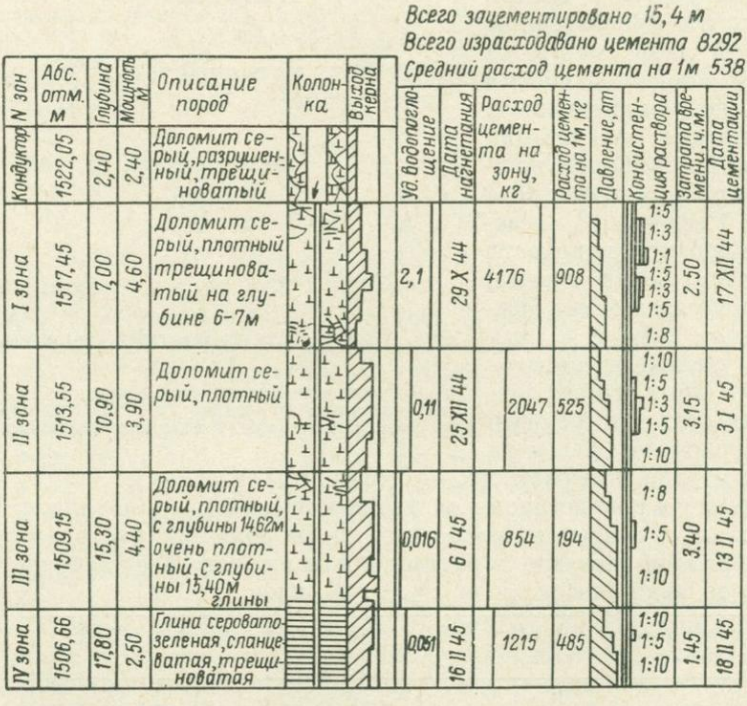


Рис. VIII-21. Сводный разрез цементационной скважины.

Для высокопроницаемых пород, например закарстованных или сильнотрещиноватых карбонатных, цементация может оказаться малоэффективной или характеризоваться очень большими расходами цемента. В таких случаях может быть применена битумизация [Шрейбер, 1964], причем предварительно она производится в опытном порядке.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТАХ

БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ, НАСОСЫ И ДВИГАТЕЛИ ПРИ БУРЕНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

ГЛАВА IX

§ 1. Установки вращательного бурения

При бурении с целью гидрогеологического изучения месторождений полезных ископаемых применяются установки шпиндельного типа (табл. IX-1). При проходке скважин с целью водоснабжения, осушения, а также на термальные воды при глубине более 1500 *м* находят применение установки роторного и турбинного бурения (табл. IX-2). Установки вращательного бурения весьма различны по конструкции; они изготовляются шпиндельными и роторными, переносными, самоходными, полупередвижными, стационарными — блочными и крупноблочными.

При бурении скважин инженерно-геологического назначения и проходке шахтных колодцев используются специализированные установки, обеспечивающие бурение «всухую», с продувкой воздухом, реже с промывкой водой или глинистым раствором (табл. IX-3).

§ 2. Реактивно-турбинные буровые установки (РТБ)

Реактивно-турбинные установки предназначены для бурения гидрогеологических скважин диаметром 588, 722, 920, 1020 и 2080 *мм*, глубиной 1000 *м*.

Реактивно-турбинные буры в зависимости от необходимого диаметра состоят из двух, трех или четырех параллельно расположенных турбобуров.

Установки реактивно-турбинного бурения комплектуют, в основном, следующим серийно-выпускаемым оборудованием: буровая вышка (ВМ-28 или ВМ-41), кронблок (КБ1-130), талевый блок (ТБ1-130), вертлюг (ШВ4-150), буровая лебедка с редуктором (РД2-2) и электродвигателем, ротор (Р560-Ш8), бурильные трубы, буровые насосы (У8-3 или 4МГР-3), квадратная штанга, глиномешалка (МГ2-4 или Г2-П2-4), передвижные компрессоры (ЗИФ-ВКС-5), оборудование очистки промывочного раствора.

Нестандартным оборудованием являются реактивно-турбинные буры.

Реактивно-турбинный бур состоит из следующих основных частей: грузов, верхнего и нижнего ниппелей, переводника, турбобура и долота.

Бурение скважин диаметром 2080 *мм* производится в два этапа; первоначально разбуривается скважина диаметром 1020 *мм*, а затем производится ее расширение.

Показатели	Стацио				
	БК-150	ЦКБ БСКЗ-150	ЗИФ-300М	ЗИФ-650А	ЗИФ-1200А
Глубина бурения, *м*	150	150	300	650	1200
Начальный диаметр скважины, *мм* . .	240	76; 59	152	250	250
Начальный угол наклона скважины к горизонту, град	55—90	0—90	75—90	45—90	80—90
Скорость вращения шпинделя при прямом ходе, *об/мин*	6; 110; 200	0—550	102; 182; 237; 480	71; 153; 277; 470	67; 128; 238; 346
Подача инструмента	Рычажная и автоматическая				Гидра
Ход шпинделя, *мм*	300	550	430	500	600
Грузоподъемность лебедки, *т*	1,5	Нет	2,0	3,0	4,5
Количество насосов	1	1	1	1	2
Тип насоса	Н-75/15	УНБ10 или УНБ10Э	ЗИФ-Р-200/40	ЗИФ-Р-200/40	ЗИФ-Р-200/40
Производительность насоса, *л/мин* . .	75	50	200	200	200
Максимальное давление насоса, *кГ/см²*	15	15	40	40	40
Высота мачты, копра, *м*	—	—	18	22	24—26
Привод станка:					
тип двигателя . .	—	УД-2	Д-38	Д-54	—
мощность, *л. с.*	16	8	38	54	—
», *квт*	—	—	—	—	40
число оборотов, *об/мин*	—	3000	1450	1440	—
Вес агрегата, *кг*:					
с приводом от двигателя внутреннего сгорания	680	590	3250	4785	—
с приводом от электродвигателя	—	—	2800	3700	7500
Завод-изготовитель		им. Воровского		Барнаульский з-д геологоразведочного оборудования	

шпиндельного типа

парные			Самоходные		Передвижные
СБА-500	СБА-800	ВИТР-2000Э	СБУ-300-ЗИВ	ТСБУ-300-ЗИВ	ПБУ-300-ЗИВ
500	800	2000	300	300	300
152	152	300	132	132	132
45—90	60—90	90	90	90	60—90
103; 190; 280; 376; 695; 1023	42—800	75; 150; 265; 405	102; 182; 237; 480	127; 196; 306; 440; 686	102; 182; 237; 480
влическая					
400	500	800	400	400	400
2,0	3,5	6,0	2,0	2,5	2,0
1	1	2	1	1	1
ВИТР-100/30	ЗИФ-200/40	ЗИФ-Р-200/40 или 11ГРБ	ЗИФ-Р-200/40	ЗИФ-Р-200/40	ЗИФ-Р-200/40
100	200	225	200	200	200
30	40	63	40	40	40
22	24—26	32	9	13	9
—	А02-72-4	АК92-6	Д-38Б	Д-40Т	Д-38Б
—	—	—	38	40	38
—	30	75	—	—	—
—	1450	970	1500	1500	1500
—	—	10 700	12 500	9600	7500
1318	1970	—	—	—	—
		Барнаульский з-д геолого-разведочного оборудования	Машиностроительный з-д Барнаульский з-д геологоразведочного оборудования		

Показатели	Самоход		
	АВБ-3-100М	АВБ-ТМ	АВБ-400М
Глубина бурения, *м*	150	100	400—700
Начальный диаметр скважины, *мм*	190	190	300
Ротор:			
диаметр проходного отверстия, *мм*	76	76	385
максимальная статическая грузоподъемность стола, *кг*			
число оборотов ротора, *об/мин*	55; 102; 176; 340	44; 91; 166; 270	41; 82; 141; 253
Лебедка:			
максимальное натяжение каната, *кг*	1250	1250	5000
скорость навивки каната на барабан лебедки, *м/сек*	—	—	—
мощность, передаваемая на лебедку, *л. с.*	—	—	—
оснастка талевой системы	3×4	—	3×4
Грязевый насос:			
тип	ЗИФ-Р-200/40	ЗИФ-Р-200/40	ЗИФ-Р-200/40
количество	1	1	2
производительность, *л/сек*	3,33	3,33	3,33
давление, *кГ/см²*	40	40	40
Вышка:			
высота, *м*	8,8	8,8	12,4
грузоподъемность, *т*	1,25	1,25	12,0
Привод установки:			
тип двигателя	ЗИЛ-120/110	КДМ-46	ЯАЗ-204А; ЗИЛ-120/110
количество	1	1	2
мощность одного двигателя, *л. с.*	90	93	73
Вес буровой установки, *кг*	6450	14 830	—
Завод-изготовитель	Бакинский им. Кирова		Бакинский им. Кирова

Показатели	Кру	
	БЭУ-1	БУ-50БР
Глубина бурения, *м*	300	1200—3000
Начальный диаметр скважины, *мм*	400	—
Ротор:		
диаметр проходного отверстия, *мм*	410	360
максимальная статическая грузоподъемность стола, *кг*	—	50 000
число оборотов ротора, *об/мин*	115; 200	75—134
Привод:		
мощность привода, *л. с.*	—	—
» » *квт*	75	75
вес, *кг*	—	2500

роторного типа

Таблица IX-2

ные			Передвижные			
УРБ-2А	УРБ-2Б	УРБ-3АМ	УРБ-4ПМ	УРБ-4Ш	УРБ-5	УБВ-300
250 150	250 200	300—500 300	700—1200 350	1500 350	2000 350	300 400
150	250	250	360	—	360	410
100; 198; 300	75—321	5000 110; 190; 314	25 000 —	— 83; 152; 242	50 000 87; 135; 203; 304	20 000 85; 146; 241
2500	2500	2800	—	—	—	3600
0,68; 1,33; 2,0	—	1,02; 1,74; 2,9	—	0,28—1,31	0,32—1,66	1,36; 2,33; 3,85
— —	— —	— 3×4	— 3×4	— 3×4	— 3×4	— 3×4
11ГР 1 5,0 50	11ГР 1 5,0 50	11ГР 1 5,0 50	9МГР 2 16,1 100	9МГР 2 16,1 100	БН-150 2 9,3—18,3 76—150	9ГР 2 4,77—7,68 50—80
9,5 2,5	8,9 —	16 15,0	21 25	— —	28 40	18 25
ЗИЛ-120	Д-60-Т	Д-54	КДМ-100	КДМ-100	1Д6	КДМ-46
1 73 10 050	1 60 —	1 54 13 700	2 100 43 000	2 100 —	2 150 47 000	2 83 20 000
Кунгурский машиностроительный			Бакинский им. Л-та Шмидта	—	Кунгурский машиностроительный	—

Продолжение табл. IX-2

пноблочные					
БУ-75БР	БУ-75БРЭ	ЭД	3Д	4Э	6Э
2400 —	2400 —	5000 —	3000 —	5000 —	3000 —
450	450	520	520	520	520
75 000 До 173	75 000 До 165	200 000 До 300	130 000 До 187	200 000 42—248	130 000 63—175
246 — 2970	220 — 2970	300 — —	300 — —	— — —	— — —

Показатели	Кру	
	БЭУ-1	БУ-50БР
Лебедка:		
максимальное натяжение каната, *кг*	3500	71 000
скорость навивки каната на барабан лебедки, *м/сек*	0,16; 0,28; 0,46; 0,07	До 1,5
мощность, передаваемая на лебедку, *л. с.*	—	400
вес, *кг*	—	10 020
оснастка талевой системы	3×4	4×5
Грязевый насос:		
тип	9ГР	БН-150
количество	2	2
производительность, *л/сек*	4,77—7,68	9,3—18,3
давление, *кГ/см²*	50—80	76—150
мощность привода, *л. с.*	—	330
» » *квт*	55	—
Вышка:		
высота, *м*	15,6	31
грузоподъемность, *т*	20	50
Привод установки:		
тип двигателя	Электродвигатели АО-93-4 и АО-83-4	—
мощность одного двигателя, *квт*	75 и 55	—
Вес буровой установки, *кг*	21 700	95 300
Завод-изготовитель	Горловский з-д им. Кирова	

Таблица IX-3

Специализированные установки вращательного бурения

Показатели	ШАК-2	ТМ-850	ТМ-1300	ШКМ-1	БЭМ-600	КШК-30
Глубина бурения, *м*	40	100	100	8	30	30
Начальный диаметр скважин, *мм*	250	850	1300	1000	600	1230—1300
Скорость вращения бурового снаряда, *об/мин*	42; 87; 160; 270	9,6	10	13; 19; 29	10; 17; 19; 32; 33; 63; 108	10; 20
Мощность двигателя, *л. с.*	93	—	—	—	—	30
квт	—	28	55	—	—	—
Высота мачты, *м*	7,8	6,6	8,0	4,5	—	3,4
Вес установки, *кг*	12 820	5300	7800	—	1000 *	5500
База установки	Трактор С-100	Рамное основание		Автобус ГАЗ-63А	—	Прицеп У2-АП-3

* Вес только навесного оборудования.

пноблочные

БУ-75БР	БУ-75БРЭ	3Д	5Д	4Э	6Э
10 700	10 700	24 500	15 300	24 500	15 900
0,3—1,6	0,4—1,8	0,19—1,6	0,28—1,6	0,19—1,6	0,28—1,6
400×2	400×2	900	585	*квт* 320×2	*квт* 160×2
13 700	13 700	—	—	—	—
4×5	4×5	5×6	5×6	5×6	5×6
БН-150	БН-150	У8-3	У8-3	У8-3	У8-3
2	2	2	2	2	2
9,3—18,3	9,3—18,3	45	45	45	45
76—150	76—150	150	150	150	150
800	435	700	700	450	450
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
75	75	200	130	200	130
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
138 000	142 000	280 000	230 000	—	—
		Уральский завод тяжелого машиностроения			

Для реактивно-турбинных буров применяют специальные укороченные турбобуры Т31-9″:

Диаметр долота, *мм*	490
Расход промывочного раствора, *л/сек*	30—50
Скорость вращения вала, *об/мин*	490—810
Крутящий момент, *кГ·м*	90—300
Перепад давления, *ат*	26—85
Мощность, *л. с.*	61—324
Длина турбобура, *мм*	3500
Вес, *кг*	1100

Техническая характеристика реактивно-турбинных буров

	РТБ-588	РТБ-722	РТБ-920	РТБ5-1020	РТБ6-2080
Диаметр, *мм*:					
скважины	588	722	920	1020	2080
долота	269	346	445	490	490
Глубина бурения, *м*	1000	1000	1000		
Тип турбобура	Т31-9″	Т31-9″	Т31-9″		

§ 3. Установки ударно-механического бурения

Для бурения инженерно-геологических и гидрогеологических скважин (с целью водоснабжения, осушения, орошения, наблюдения за режимом подземных вод) применяются установки ударно-механического бурения как передвижные: БУКС-ЛГТ; 75-У; УКС-22М; УКС-30М, так и самоходные: БУ-20-2М; БУ-20-2У; БС-1М (табл. IX-4).

§ 4. Установки гидравлического бурения

При гидравлическом способе бурения порода на забое скважины размывается струей воды, поступающей по трубам от насоса (табл. IX-5) или водопровода. Фильтровая, или обсадная колонна труб при этом погружается в грунт, а шлам выносится на поверхность по затрубному пространству. Гидравлическое бурение может производиться: а) для погружения обсадных труб диаметром 600—1000 *мм* на глубину до 20 *м*; б) для погружения фильтровых колонн диаметрами 250—350 *мм* на глубину до 40 *м*; в) для погружения эжекторных иглофильтров диаметрами 75—100 *мм* на глубину до 20 *м* и легких иглофильтров диаметром 50 *мм* на глубину до 9 *м*. При гидравлическом бурении все операции по спуску и извлечению колонн обсадных или фильтровых труб производятся самоходными подъемными кранами, а при погружении легких эжекторных иглофильтров применяются треноги с лебедками, мачты или автокраны. Погружение легких иглофильтров производится насосными агрегатами установок ПВУ; ВА-2НДВ; ЛИУ-5; ЛИУ-3 (табл. IX-6), погружение эжекторных иглофильтров — насосами типа НДВ (табл. IX-5).

Передвижные водопонизительные установки типа ПВУ предназначены для водопонижения при строительстве фундаментов глубокого заложения. Легкие иглофильтровые установки ЛИУ-3, ЛИУ-5 используются для подземного осушения шахт. Применение иглофильтров возможно только для осушения обводненных пород, залегающих в подошве выработок; гидравлический способ установки исключает возможность их применения для осушения водоносных песков кровли выработки. В установках ЛИУ-3 и ЛИУ-2 удаление воздуха и откачка воды совмещены в одном насосе.

§ 5. Установки комбинированного бурения

В последние годы для бурения скважин инженерно-геологического и гидрогеологического назначения были разработаны специальные комбинированные установки (табл. IX-7). Такие установки обеспечивают проходку одной скважины различными способами: вращательным и ударно-механическим, вибрационным и гидравлическим и т. д. Некоторые современные буровые агрегаты имеют оборудование для проведения опытных откачек (установки типа УГБ). Установки комбинированного бурения наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым специфическим условиям гидрогеологических и инженерно-геологических работ к буровому оборудованию.

Таблица IX-4

Установки ударно-механического бурения

Показатели	БУКС-ЛГТ	75-У	УКС-22М	УКС-30М	БУ-20-2М	БУ-20-2У	БС-1М
Глубина бурения, *м*	30	120	300	500	200	200	300
Начальный диаметр скважин, *мм*	170	300	600	800	400	400	300
Вес бурового снаряда, *кг*	600	1000	1350	2500	850—1200	1200	2000—3000
Число ударов в минуту бурового снаряда о забой	Не регламентировано (с лебедки)	50	40; 45; 50	40; 45; 50	50—52	52—56	48—52
Высота подъема снаряда над забоем, *мм*	То же	450	350—1000	500—1000	90	1100	600—1200
Грузоподъемность барабанов, *кг*:							
инструментального	700	1500	2000	3000	1500	1500	2000
желоночного	—	1000	1300	2000	1000	1000	—
талевого	—	—	1500	3000	—	—	—
Тип двигателя	ОДВ-300В	—	А0-73-6	А0-93-8	А-72-6	—	—
Мощность:							
л. с.	6	18	—	—	—	—	—
квт	—	—	20	40	20	20	55
Грузоподъемность мачты, *кг*	1000	10 600	12 000	25 000	—	—	—
Высота мачты до головного ролика, *мм*	5000	10 420	13 500	16 000	12 300	—	15 000
Вес установки, *кг*	435	2445	7600	12 700	10 200	12 300	24 000
База установки	Автомобильный одноосный прицеп	На пневматических колесах			На гусеничном ходу		
Завод-изготовитель	им. Воровского	Новочеркас. з-д им. Никольского			Бузулукский им. Куйбышева		Барвенковский з-д горного оборуд.

Таблица IX-5

Характеристика насосных агрегатов

Марка	Производительность, $м^3/ч$	Полный напор, *м вод. ст.*	Число оборотов в *мин*	Мощность электродвигателя, *квт*	Внутренний диаметр патрубка, *мм*		Число колес	Вес, *кг*	Завод-изготовитель
					входного	напорного			
МС-50	40—50—70	110—105—70	2950	24	80	80	3	256	Лаптевский угольного машиностроения
МС-50	40—50—70	148—140—80	2950	32	80	80	4	294	
МС-50	40—50—70	185—175—100	2950	40	80	80	5	329	
МС-50	40—50—70	222—210—120	2950	48	80	80	6	377	
МС-50	40—50—70	259—245—140	2950	56	80	80	7	414	
4НДВ	150—180	104—97	2950	75	150	100	1	180	Ливгидромаш г. Ливны
5НДВ	150—180—216	33—31—28	1450	20—28—28	150	125	1	270	То же
5НДВ	150—180—216	40—38—34	1450	28—28—40	150	125	1	270	»
ЭВ-200×2	250—350—450	92,5—83—69	1450	125	250	200	2	1550	»
ЭВ-200×4	250—350—450	185—166—138	1450	250	250	200	4	2920	»

Таблица IX-6

Характеристика насосных агрегатов

Показатели	ПВУ-2	ЛИУ-3	ЛИУ-2	ЛИУ-5
Производительность, *м³/ч*	280	60	25—30	120
Полный напор, *м вод. ст.*	30	23	25	40
Вакуумметрическая высота всасывания, *м вод. ст.*	8,5	8	8	8
Высота всасывания, *м вод. ст.*	6	5,5	5	5,5
Полезная глубина понижения в один ярус, *м*	6,5	5	5	—
Мощность электродвигателя, *квт*	55	10	5,5 *	20
Вес насосного агрегата, *кг*	1730	362	292	670
Вес установки, *кг*	15 230	5500	2308	—
Количество иглофильтров на установку, *шт*	150	60	25	100

* Электродвигатель во взрывобезопасном исполнении (тип МА-142-1/4).

§ 6. Установки горизонтального бурения

Горизонтальные скважины используются в качестве дрен для водопонижения или водоснабжения. В зависимости от назначения и свойств пород они проходятся в основном двумя способами: без выемки пород (прокол) и с выемкой разрушенных пород. При проходке методом прокола скважина образуется за счет радиального уплотнения пород. Этот метод наиболее эффективен в связных грунтах при диаметре труб от 50 до 400 *мм*. При проходке скважин с выемкой разрушенных пород крепление скважин трубами может производиться одновременно с бурением и после углубки скважины.

Установки УГБ-1 и УГБ-2 (табл. IX-8) предназначены для горизонтального бурения скважин с одновременным креплением их стенок. Эксцентрично-сверлильные машины ЭСМ-3 и «Запорожье» обеспечивают последовательно механическую разработку и удаление грунта. Машины ГБ-1 и ГБ-2 используются для горизонтального бурения скважин гидромеханическим способом. Прокладываемая труба-кожух при бурении совершает вращательно-поступательное движение. Для подачи воды применяют насосы типа С-204, С-245 и другие. Для прокладки труб способом вибропрокола применяются установки УВП-1 и УВ-2.

§ 7. Двигатели

В современных буровых установках в качестве силового оборудования применяются главным образом электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, а в некоторых — дизель-генераторы.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) для привода буровых установок применяют в основном двух типов: 1) карбюраторные (бензин, лигроин); 2) дизельные (соляровое масло, дизтопливо). Достоинством ДВС является их независимость от внешних источников энергии, небольшой вес и экономное потребление топлива. Дизели Д38Б, Д-40М, Д-54 КДМ-46, ЯАЗ-204 и другие используются для привода буровых станков типа ЗИФ, для комплектования самоходных буровых установок типа УРБ, АВБ и т. д. Дизель ЯАЗ-204 запускается от стартера, а двигатели

Таблица IX-7

Буровые комбинированные установки

Показатели	БУК-75	СВУ-55М	МРБ-75	УГБ-50А	УГБ-150А	УГБХ-150Б	БЭС-150
Глубина бурения, *м*	75	—	80	—	—	—	—
при шнековом	—	—	—	50	150	150	—
при колонковом	—	—	—	50	300	300	150
при ударно-канатном	—	50	80	—	150	150	—
при вибрационном	—	30	—	—	—	—	—
Диаметр скважины, *мм*	273	168—273	245	190—230	196—350	196—410	150—400
Число ударов долота о забой в мин.	40—70	С лебедки	21—68	28; 47; 78	—	—	С лебедки
Наибольший вес ударного инструмента, *кг*	250	—	250	400	—	—	—
Число оборотов бурового инструмента в мин.	—	—	20; 40; 65	65; 115; 190	66; 98; 151; 224	60; 81; 97; 168	72; 155
Грузоподъемность лебедки, *т*	1,0	2,8	3,6	2,5	3,5	3,5	3,5
Мощность привода:							
л. с.	13	—	—	38	54	70	—
квт	—	38	14	—	—	—	50
Габариты установки, *мм*:							
длина	2030	8300	—	5850	—	—	—
ширина	2000	2500	—	2000	2350	2500	2640
высота	9850	3150	—	8200	4170	3700	3810
Вес установки, *т*	1,0	7,8	3,2	5,5	—	17,5	6,8
База установки	Рамное основание	Трактор ДТ-55	Рамное основание	Автомашина ГАЗ-63	—	На тракторе ТДТ-60	Автомашина МАЗ-901
Завод-изготовитель	Центральные механич. мастерские Гипропроекта, г. Углич	Новочеркасский з-д им. Никольского	—				

Таблица IX-8

Установки горизонтального бурения

Показатели	УГБ-1	УГБ-2	ЭСМ-3	Запорожье 400; 600; 800	ГБ-1	ГБ-2	УПВ-1	УПВ-2
Длина скважины, *м*	40	40	30	70—100	40	40	25—30	40
Диаметр прокладываемых труб, *мм*	920—1020	1220	720—1820	426—1420	108—630	108—720	200	400
Число оборотов рабочего инструмента, *об/мин*	5; 10; 10,8; 23; 32	5; 10,8; 23; 32	20—50	—	1,2—7,5	1,5—9	— —	— —
Тяговое усилие лебедки, *т* . .	До 8,0	До 8,0	1,5—3	3—5	—	—	0,75	2,4
Мощность двигателя:								
л. с.	55—60	55—60	—	—	30	52	—	—
квт	—	—	5—15	35	—	—	7	28
Вес машины, *т*	12,0	12,0	—	—	2,2	2,9	1,5	3,5

Д-54 и КДМ-46 — от специальных пусковых карбюраторных двигателей ПД-10 и П-46. Для привода тяжелых установок роторного бурения применяются четырехтактные двенадцатицилиндровые быстроходные двигатели В2-300, В2-300А, В2-400АТ и другие. Эти двигатели экономичны в работе, не требуют сложного ухода при эксплуатации, удобны для монтажа и демонтажа.

Электрические двигатели применяются при наличии источника электроэнергии. Привод буровых станков преимущественно осуществляется от короткозамкнутых асинхронных электродвигателей серии А напряжением 220/380 *в*. При питании от маломощных электростанций применяют электродвигатели с фазовым ротором и контактными кольцами со щетками.

ГЛАВА X

ФИЛЬТРЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Фильтром называется нижний участок буровой скважины, в пределах водоносного слоя закрепленный водопроницаемым устройством, предназначенным для пропуска воды из водоносного горизонта внутрь скважины и предохраняющий водоприемную часть скважины от завалов в результате оплывания и обрушения пород. Фильтры ставятся только в рыхлых, главным образом в песчаных породах. Фильтры не ставятся в устойчивых трещиноватых водоносных породах, а также при каптировании водоносных песков, залегающих под прочной водоупорной кровлей (мощные пласты глин, известняков, песчаников). При водоносном горизонте, сложенном рыхло-обломочными скальными породами, гравием, частично сцементированным песком, в качестве фильтра ставятся дырчатые трубы, защищающие скважину только от обрушения пород. Особые трудности при подборе фильтров имеют место при каптировании мелкозернистых песков.

В соответствии с гидрогеологическими условиями различают следующие виды оборудования водоприемной части скважин: фильтры для гравелистых крупно- и среднезернистых песков; фильтры для мелкозернистых песков; дырчатые фильтры для неустойчивых рыхло-обломочных пород; скважины без фильтров, каптирующие устойчивые трещиноватые породы; бесфильтровые скважины в песках.

По данным ВСЕГИНГЕО [Володько, 1963], скважины без фильтров составляют 22%, с дырчатой трубой 32%, с сетчатым фильтром в крупно- и среднезернистых песках 24%, и в мелкозернистых песках 22% от всех скважин.

На конструкцию фильтра, кроме характера водовмещающих пород, существенное влияние оказывает большое содержание в воде закисного железа, карбонатов кальция и агрессивность воды, вызывающие быструю коррозию стальных частей и кольматацию фильтрующей поверхности. Такие неблагоприятные условия, вызывающие быстрый выход из строя фильтров, отмечались во многих районах страны.

Для борьбы с агрессивным воздействием воды фильтры строят из антикоррозийных материалов (пластмассы, дерева) или стенки фильтров покрывают антикоррозийными покрытиями. Для предотвращения кольматации, эксплуатацию скважин следует вести при ламинарном движении воды в фильтре. Для продления срока службы таких скважин следует применять многослойные обсыпки, обеспечивающие большие размеры пор на стенках фильтра и, следовательно, медленное их зарастание.

§ 1. Фильтры для гравелистых, крупно- и среднезернистых песков (тонкостенные)

При каптаже водоносных горизонтов, сложенных гравелистыми породами, крупно- и среднезернистыми песками, при водах устойчивого химического состава наиболее часто ставятся дырчатые, щелистые и сетчатые фильтры с тонкими стенками.

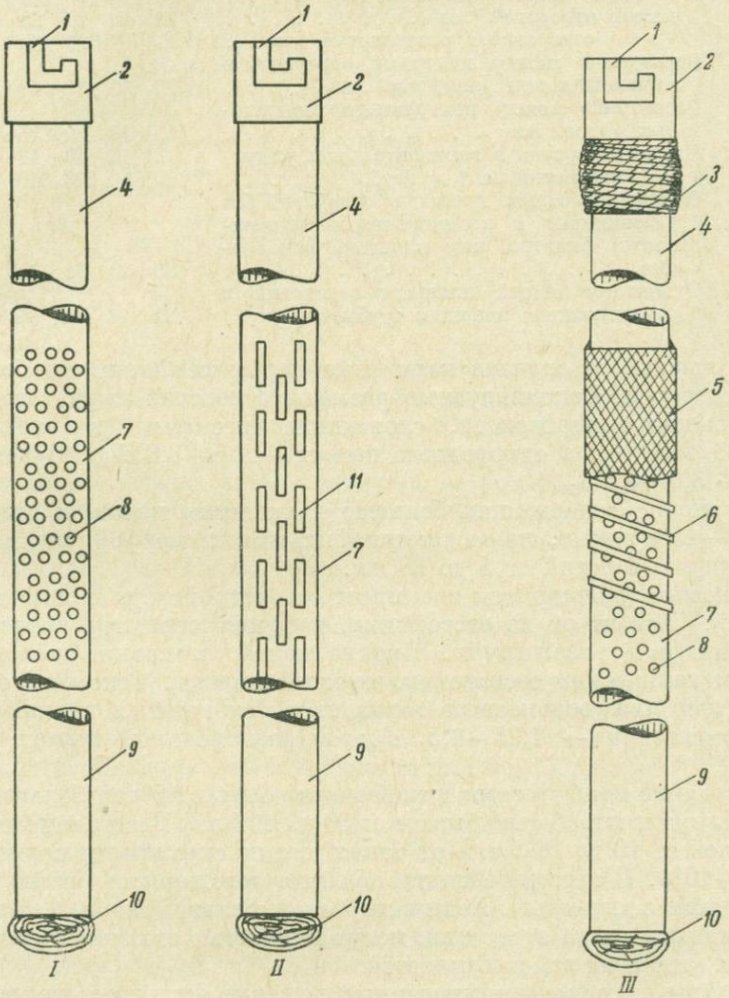


Рис. X-1. Схема устройства фильтров: *I* — дырчатого; *II* — щелистого; *III* — сетчатого.

1 — вырез для спускового ключа; *2* — муфта; *3* — сальниковая набивка; *4* — надфильтровая труба; *5* — фильтровая сетка; *6* — проволока; *7* — рабочая часть; *8* — круглые отверстия; *9* — отстойник; *10* — деревянная пробка; *11* — щели.

Дырчатый фильтр представляет собой перфорированную стальную, асбоцементную или из других материалов трубу (рис. X-1), устанавливаемую с проволочной обвивкой или без нее в скважины, эксплуатирующие гравелистые и крупнозернистые пески. Дырчатый фильтр, кроме того, может служить каркасом для других фильтров. Он состоит из отстойника, рабочей части и надфильтровой трубы. Рабочая часть фильтра представлена трубой с просверленными отверстиями, расположенными

по длине трубы в шахматном порядке. Отношение общей площади отверстий ко всей поверхности фильтрующей части трубы (скважность) должно составлять не менее 15%. Оптимальная скважность обычно принимается в пределах 20—25%.

Приводим стандартные размеры и расположение отверстий в каркасах фильтров, принятые всесоюзной конторой «Бурвод»:

Наружный диаметр каркаса, *мм*	89	114	168	219
Диаметр отверстий, *мм*	12	12	20	20
» отверстий в раззенковке, *мм* . .	16	18	26	30
Расстояние между центрами отверстий в горизонтальном ряду, *мм*	23	30	33	43
Расстояние между центрами горизонтальных рядов, *мм*	15	18	30	35
Число отверстий в горизонтальном ряду	12	16	16	16
» отверстий на 1 *м* трубы	800	880	533	640
Отношение общей площади отверстий без раззенковки к площади трубы (скважность) фильтра, или площадь фильтрации, %	32	30	31	30
Отношение общей площади отверстий в раззенковке к площади трубы, % . . .	50	48	53	65

В большинстве случаев каркасные трубы перфорируют без раззенковки отверстий. Рекомендуемые размеры отверстий дырчатого фильтра для водоносных горизонтов, сложенных песками (по техусловиям СН-III-56 1958 г.): в однородных песках — 2,5—3,0 d_{50}; в разнородных песках — 3,0—4,0 d_{50}.

Для пород, содержащих большое количество гравия и гальки и не более 10—15% песка, применяются фильтры из перфорированных труб с диаметром отверстий от 5 до 20 *мм*.

Щелистый фильтр так же прост по устройству, как и дырчатый (рис. X-2). Состоит он из отстойника, рабочей части, где располагаются щели, и надфильтровой трубы. Ширина щелей устанавливается в соответствии с механическим составом водоносной породы. Рекомендуемые размеры щелей для водоносных горизонтов, сложенных песками: в однородных песках — 1,25—1,5 d_{50}; в разнородных песках — 1,5—2,0 d_{50}.

Расстояние между осями щелей может быть в 10 раз больше ширины щелей. Длина щели обычно бывает от 30 до 100 *мм*. Расстояние между рядами щелей от 10 до 20 *мм*. При таких щелях скважность каркаса составляет 7—10%. Щелистый фильтр обладает некоторыми преимуществами по сравнению с дырчатым. Если в дырчатом фильтре зерна гравия или песка, накладываясь на отверстия, могут полностью его закупорить, то при щелистых фильтрах это исключается.

Фильтры щелевые штампованные дешевле фильтров из перфорированных труб. Они изготовляются обычно из стального листа с выштампованными на нем отверстиями. Для этого листы металла обрабатываются на штампах необходимого профиля. Проштампованный лист на вальцах сгибается в трубу и края свариваются при помощи автогенного или электросварочного аппарата. Получаются звенья длиной 2; 2,5 и 3 *м*. Эти звенья соединяются между собой при помощи муфт. Штампованные фильтры, несмотря на очевидные их преимущества, в СССР не производятся.

Каркасно-стержневой фильтр (рис. X-2) используется в разнообразных водоносных породах.

Каркасно-стержневой фильтр состоит из металлических стержней, опорных поясов жесткости, фильтрующей поверхности, соединительных

патрубков, предохранительных ребер и направляющих скоб. Стержни изготовляются из прутковой стали марки Ст. 3 или Ст. 5. Расстояние между стержнями 30—40 *мм*.

Опорные пояса жесткости изготовляются из фланцев или представляют собой металлические закладки между стержнями. В табл. X-1 приводятся расстояния между поясами в зависимости от диаметра стержней. На фланцы берется листовая сталь толщиной 10—12 *мм*. Внутренний диаметр фланцев принимается равным внутреннему диаметру соединительных патрубков, а внешний зависит от толщины стержней.

Таблица X-1

Диаметр стержней, *мм*	Расстояние между поясами, *мм*
10—12	200
14	300
16	350
18	400

Фильтрующие поверхности могут изготовляться из проволоки нержавеющей стали и из металлических и неметаллических сеток. Иногда (в трещиноватых породах, галечниках и т. п.) фильтрующая поверхность может быть образована одними металлическими вертикальными стержнями. Соединительные патрубки, снабженные стандартной резьбой, изготовляются из труб соответствующего диаметра длиной 250—350 *мм*.

В условиях средне- и мелкозернистых песков каркас обматывается проволокой или обшивается фильтровальной сеткой.

Сетчатый фильтр состоит из перфорированной трубы, обтянутой сеткой. Он наиболее эффективен в средне- и крупнозернистых водоносных песках. Во избежание коррозии сетчатый фильтр рекомендуется для водоносных горизонтов со слабоминерализованными водами. Для фильтра применяют латунные сетки галунного, киперного и квадратного плетения (рис. X-3). На рис. X-4 показана сетка из нержавеющей стали. Номер сетки подбирается посредством просеивания песка через сетку. Принимается сетка, пропускающая через отверстия 40—80% от веса пробы водоносного песка.

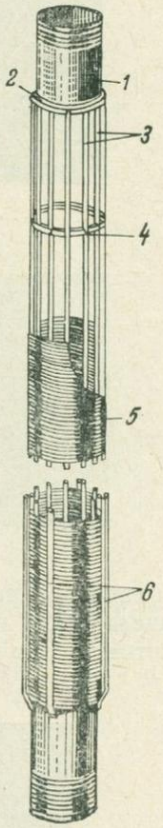


Рис. X-2. Каркасно-стержневой фильтр.

1 — соединительные патрубки; *2* — приварка стержней; *3* — металлические стержни; *4* — опорное кольцо; *5* — проволочная обмотка; *6* — предохранительные планки.

Рекомендуемые размеры отверстий сетчатого фильтра: в однородных песках — 1,5—2,0 d_{50}; в разнородных песках — 2,0—2,5 d_{50}.

Меньшие значения принимаются при мелкозернистых, большие — при крупнозернистых песках. Стальные сетки прочнее латунных и не образуют с каркасом гальванической пары. Ниже приводится количество сетки на 1 *м* фильтра разных диаметров.

Диаметр фильтра, *мм*	168	219	273	325	377
Количество сетки на 1 *м* фильтра, *м*²	0,6	0,75	0,9	1,1	1,3

Срок службы латунной сетки значительно короче срока службы обсадных труб, поэтому во время эксплуатации скважины фильтр

меняется 1—2 раза, что трудоемко и не всегда выполнимо, особенно при глубоких скважинах и длинных фильтрах. Сетчатые фильтры не пригодны для однородных мелкозернистых песков, так как мелкие сетки создают

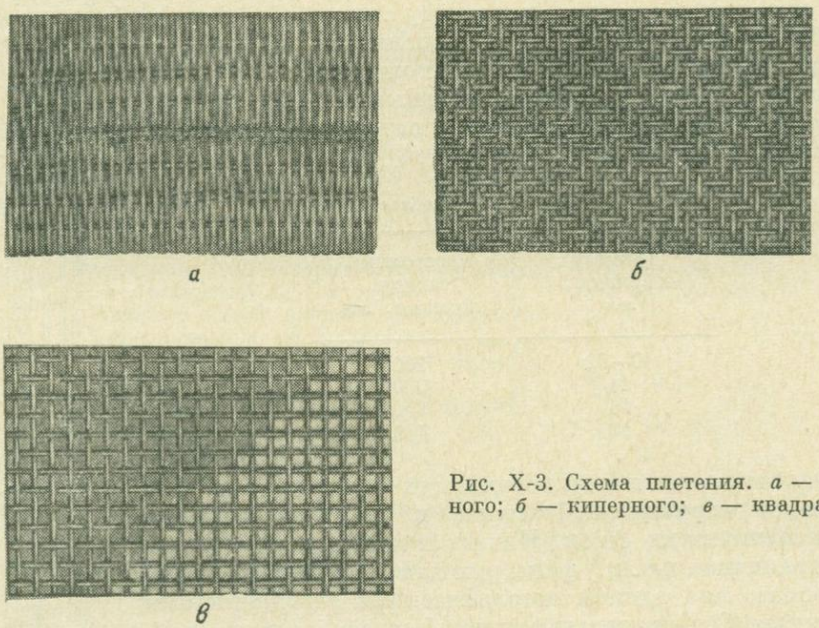


Рис. X-3. Схема плетения. *а* — галунного; *б* — киперного; *в* — квадратного.

большие сопротивления входу, крупноячеистая же сетка пропускает много песка и скважина будет постоянно песковать и заноситься песком. Сетчатые фильтры противопоказаны в слюдистых водоносных песках,

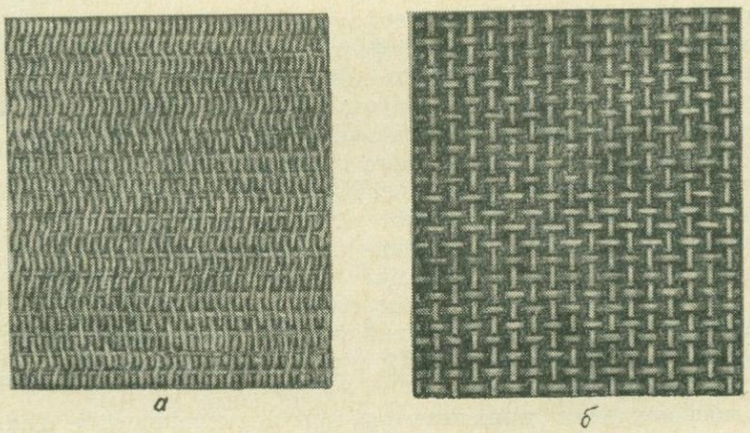


Рис. X-4. Сетки из нержавеющей стали плетения.
а — галунного; *б* — квадратного.

которые налипают на поверхности фильтра при откачке и делают его водонепроницаемым, и удалить слой песка можно только зубилом. При большой потере напора в большей степени нарушается бикарбонатное равновесие, которое наряду с гальваническим током между медной сеткой и трубой приводит к выпадению из воды железистых и кальциевых солей,

закупоривающих фильтр. Поэтому при стальных каркасах лучше ставить неметаллические сетки, а при металлических сетках каркасы из асбоцементных или винипластовых труб. В табл. X-2 приводятся характеристики гладких фильтрационных сеток.

Таблица X-2

Спецификация на гладкие фильтрационные сетки (ВТУЭ 145-41) (ширина полотна 500—1500 *мм*)

Номера сетки	Номинальное число нитей на 1 дюйм		Диаметр проволоки, *мм*		Размер ячейки, *мм*	Материал	Вес 1 $м^2$, *кг*
	Основа	Уток	Основа	Уток			
6/70	6	70	0,7	0,4	0,34	Латунь	3,79
7/70	7	70	0,6	0,4	0,34	Л-68	3,68
8/55	8	55	0,6	0,5	—	Л-68	4,46
8/70	8	70	0,6	0,4	—	Л-80	3,835
8/80	8	80	0,5	0,35	—	Л-80	3,3
10/70	10	70	0,5	0,4	0,32	Л-80	3,74
10/80	10	80	0,5	0,33	—	Л-80	3,05
10/90	10	90	0,45	0,3	0,27	Л-80	2,75
10/100	10	100	0,45	0,3	—	Л-80	2,68
12/90	12	90	0,45	0,3	0,27	Л-80	2,86
14/90	14	90	0,45	0,3	—	Л-80	3,1
14/100	14	100	0,45	0,28	0,23	Л-80	3,04
16/100	16	100	0,4	0,25	0,23	Л-80	2,825
18/130	18	130	0,32	0,22	0,17	Л-80	2,3
20/160	20	160	0,28	0,18	0,14	Л-80	2,0

Сетки из пластических масс — простые и гофрированные — имеют следующую характеристику:

Ширина полотна, *мм*	400—600
Толщина полотна, *мм*	0,5—0,75
Диаметр отверстий, *мм*	2,8
Скважность, %	54—55
Вес 1 $м^2$ сетки, *г*	380—400
Высота гофра (*мм*) при шаге 5 *мм*	1,8
Высота гофра (*мм*) при шаге 6 *мм*	2,5

Сеткой весом 1 *кг* можно покрыть площадь фильтра, равную 2,5 $м^2$. В условиях мелкозернистых песков сетки из пластмасс с перфорацией 2,8 *мм* обычно наматываются на каркас в два-три слоя.

Институт стекловолокна изготовляет следующие типы тканей для фильтровых сеток: «рогожка», «диагональ» и «сатин».

Показатели	«Рогожка»	«Диагональ»	«Сатин»
Ширина полотна, *мм*	600—1000	600—1000	600—1000
Толщина полотна, *мм*	0,28—0,32	0,33—0,40	0,75
Число ниток основы на 1 *см*	16	18—20	11
Число ниток утка на 1 *см*	10	14—15	6
Вес 1 $м^2$ ткани, *г*	190	320—350	726

Ткани из стекловолокна типа «рогожка» рекомендуются для мелкозернистых песков, типа «диагональ» — для среднезернистых песков и типа «сатин» — для разнозернистых и крупнозернистых песков.

Ткани из стекловолокна могут использоваться в водах любого химического состава. Намотка их производится по ребристой поверхности каркаса фильтра или по гофрированной сетке из пластмассы.

Ткань из стекловолокна и сетка из пластмассы крепятся к каркасу фильтра специальным клеем. При опускании фильтра в скважину фильтровальная поверхность предохраняется продольными деревянными или металлическими планками, которые крепятся к трубе проволокой (рис. X-5).

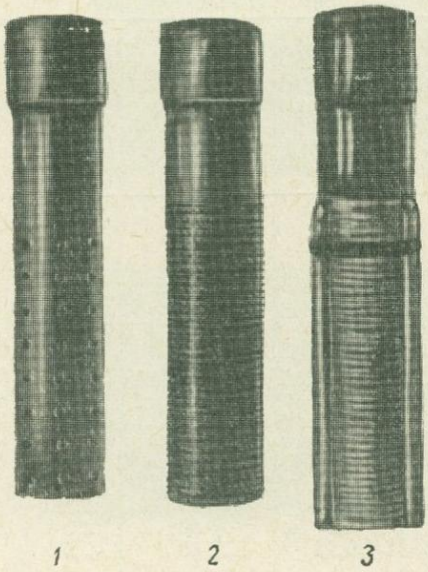


Рис. X-5. Обмотка тканей из стекловолокна на каркас фильтра.

1 — каркас фильтра; *2* — поверхность фильтра покрыта гофрированной сеткой из пластмассы; *3* — намотка ткани из стекловолокна по гофрированной сетке из пластмассы. Ткань из стекловолокна предохраняется продольными планками.

Колонна сетчатого фильтра состоит из надфильтровой трубы с сальником и муфтой, дырчатого каркаса, проволочной обмотки, сетки и отстойника с пробкой (рис. X-2). Наибольший диаметр всей колонны принимается на 50—100 *мм* меньше диаметра обсадной рабочей трубы.

Длина надфильтровой глухой трубы, на которой обычно устанавливается специальный сальник-тампон, должна быть не менее 1 *м*. Сальник-тампон служит для уплотнения кольцевого зазора между фильтровой и обсадной колоннами. Жесткий сальник изготовляется из пенькового каната, резины, асбеста, дерева, реже из свинца. Мягкий сальник делают из проолифенной парусины в виде «юбки», обращенной расширенной частью кверху. Твердые осадки из воды попадая в «юбку», прижимают ее к стенкам обсадных труб. Нередко сетчатый фильтр при посадке с подмывом чистой водой снизу обсыпается гравием или крупным песком. В этом случае сальник заменяется слоем крупного гравия, засыпанного в зазор между надфильтровыми и обсадными трубами. Фильтр в скважину опускается на штангах при помощи спускного ключа (рис. X-6) и устанавливается в центральной части скважин при помощи направляющего фонаря (рис. X-7). Иногда надфильтровая глухая труба выводится на поверхность земли и длина ее соответственно увеличивается. Длина водоприемной (рабочей) части фильтра зависит от мощности водоносного пласта и определяется по расчету. Длина отстойника принимается 1,5—3 *м*. Нижнее отверстие отстойника плотно забивается сухой пробкой из дерева твердой породы. Если в процессе откачки выносится песок, то отстойник постепенно заполняется песком, его необходимо своевременно чистить, иначе фильтр будет работать не на полную длину и даст меньшее количество воды.

Чтобы сетка имела большую площадь фильтрации, она не должна плотно прилегать к каркасу. Поэтому на сверленую часть каркаса накладывают продольные проволоки диаметром 3—4 *мм* (по окружности трубы ставят 8—15 таких продольных проволок) либо обвивают спиралью с шагом 15—25 *мм*.

Сетку на каркасной трубе крепят посредством пайки или сшивки. Сначала припаивают один край сетки, затем натягивают ее на каркас и припаивают второй край. Оба шва покрывают латунной пластинкой.

Верхние и нижние кромки сетки также припаивают к каркасу. Длину рабочей части фильтра (*м*) для мощных водоносных горизонтов согласно ТУ СН 14-57 определяют по формуле

$$l = \frac{Q\alpha}{d}, \qquad \text{(X-1)}$$

где Q — дебит скважины, $м^3/ч$;

d — наружный диаметр фильтра, *мм*;

α — приведенный ниже эмпирический коэффициент, зависящий от гранулометрического состава водоносных пород.

Порода	Коэффициент фильтрации K, *м/сутки*	Коэффициент α
Песок мелкий	2—5	90
» средний	5—15	60
» крупный	15—30	50
Гравий	30—70	30

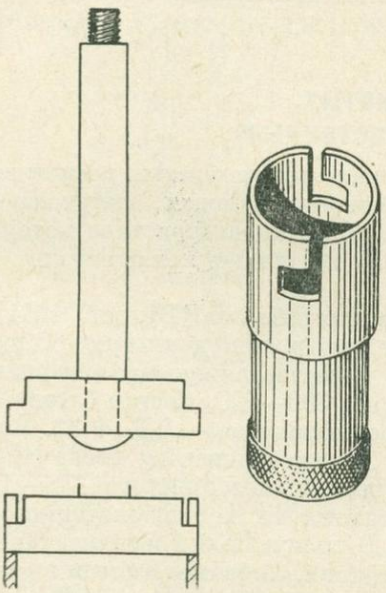


Рис. X-6. Ключ для спуска фильтра в скважину.



Рис. X-7. Направляющий фонарь.

Проволочный фильтр применяется в среднезернистых, гравелистых, крупнозернистых песках и галечниках. Он может быть широко использован и в качестве каркаса для фильтров гравийного типа.

Проволочный фильтр состоит из надфильтровой трубы, отстойника и рабочей части. Рабочую часть составляет перфорированная труба (металлическая или неметаллическая) с круглыми отверстиями. Скважность дырчатого каркаса доводится до 20—25%. Каркас покрывается спиральной обмоткой из проволоки нержавеющей стали диаметром 2—4 *мм*. Проволока располагается непосредственно на опорных стержнях или опорных ребрах диаметром 2—4 *мм*, изготовленных также из проволоки нержавеющей стали. Расстояние между витками определяется крупностью частиц водоносной породы. Для приближенного определения расстояния

между витками можно пользоваться рекомендуемыми размерами отверстий для дырчатого, щелистого и сетчатого фильтров. Может также применяться каркасно-стержневой фильтр. Количество проволоки (*кг*), потребной для обмоток 1 *м* стержневого фильтра в зависимости от диаметра проволоки и просвета между витками, приведено в табл. X-3.

Таблица X-3

Количество проволоки в (*кг*) для обмотки 1 *м* фильтра

Условный наружный диаметр фильтра, *мм*	Величина просвета между витками проволочной обмотки, *мм*														
	0,5	1,0			1,5				2,0				3,0		
	Диаметр проволоки, служащей для обмотки, *мм*														
	2	2	3	4	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4
168	4,9	4,2	7,1	10,3	3,5	6,4	8,8	12,0	3,1	5,8	8,5	10,6	2,2	4,8	6,8
219	6,4	5,2	9,3	13,0	4,7	8,3	11,9	15,6	4,0	7,5	10,9	12,7	3,3	6,4	9,5
273	7,7	6,5	11,1	12,5	4,0	10,0	14,5	19,2	4,8	8,8	13,3	18,6	3,7	7,0	10,8
325	9,1	7,4	13,0	18,5	6,5	11,6	16,8	22,2	5,2	10,4	15,4	21,2	4,6	8,7	12,7
377	10,5	8,8	14,8	21,2	7,5	13,2	19,4	25,6	6,6	11,9	17,6	24,6	5,3	10,0	14,5
Скважность, %	20,0	33,3	25,0	20,0	42,9	33,3	27,3	23,1	50,0	40,0	33,3	28,6	60,0	50,0	49,2

§ 2. Фильтры для мелкозернистых, глинистых песков (толстостенные)

Блочные фильтры. Для мелкозернистых глинистых песков все большее распространение, особенно в сельских районах, получают блочные фильтры из пористой керамики (рис. X-8), характеристика которых приведена в табл. X-4. Подбор типа блока по данным механического анализа песка производится по табл. X-5.

Могут применяться блоки из пористого бетона [Булдей, 1961]. Блоки изготовляются высотой 750—1500 *мм*, внутренний диаметр от 80 до 500 *мм*, толщина стенок от 10 до 100 *мм*. В качестве вяжущего материала рекомендуется пуццелановый цемент марки 300—400. Состав бетона (цемент, гравий) — 1 : 6; 1 : 7. Водоцементное отношение — 0,3—0,32. Крупность гравия для пористого бетона: для крупнозернистого песка 10—25 *мм*; для среднезернистого — 10—15 *мм*; для мелкозернистого — 5—15 *мм*.

Блоки на клее БФ-4 изготовляются из хорошоокатанного гравия с крупностью зерен 1,5; 2; 3; 4 *мм*. В просушенный и прогретый гравий добавляется 80 *г* клея БФ-4 на 1 *кг* гравия. Смоченная клеем в два приема смесь (с перемешиванием до видимых нитей клея) закладывается в пресс-форму и уплотняется. Блоки высотой 335—340 *мм* при толщине стенок в 25 *мм* помещаются в сушильный шкаф и выдерживаются 5—12 *ч* при температуре 120—160° С.

Блоки надеваются на дырчатый каркас с фланцами на концах (нижний приваренный, верхний подвижной), с резиновыми прокладками между блоками. Такие звенья длиной 3,0—3,5 *м* соединяются между собой на муфтах и опускаются в скважину.*

* Эти фильтры как не прошедшие длительных испытаний при эксплуатации водозаборных скважин и не получившие надлежащего опробования санитарных органов требуют дальнейшего изучения в отношении выбора состава клея и применения их в различных гидрогеологических условиях.

Фильтры из пористой керамики рекомендуются при устройстве временных водозаборных и водопонизительных скважин, а также для отбора небольших количеств воды в скважинах сельскохозяйственного водоснабжения и в других мелких объектах водопотребления (Гаврилко и др., 1966).

Гравийные фильтры состоят из каркасно-стержневого, дырчатого щелевого, проволочного или сетчатого фильтров с гравийной обсыпкой.

В зависимости от того, готовится ли фильтр на поверхности земли или образуется в скважине, применяется гравийно-кожуховый (рис. X-9), или корзиночный фильтр. В этом фильтре гравий

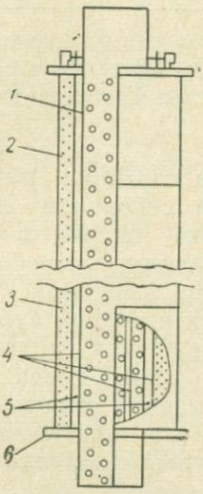


Рис. X-8. Схема звена пористого керамического фильтра.

1 — опорный перфорированный каркас; *2* — блоки пористого керамического фильтра; *3* — битумное или резиновое уплотнение; *4* — опорные стержни (ребра); *5* — крепление стержней точечной сваркой; *6* — нижний опорный фланец.

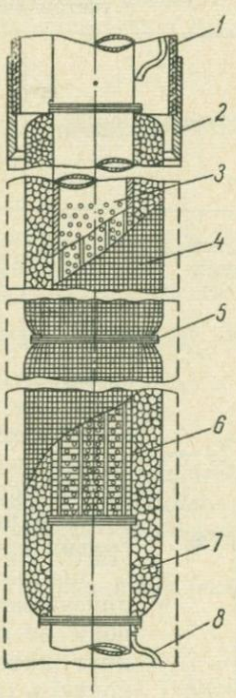


Рис. X-9. Гравийно-кожуховый фильтр.

1 — обсадная труба эксплуатационной колонны; *2* — башмак; *3* — каркас фильтра; *4* — наружный сетчатый кожух; *5* — проволочный пояс; *6* — проволочная обмотка с продольными прокладками; *7* — гравийный заполнитель; *8* — направляющий фонарь.

Таблица X-4

Размеры блоков из пористой керамики, выпускаемые Кучинским заводом керамических блоков *

Диаметр обсадных труб, *мм*		Диаметр блоков, *мм*		Толщина стенок блоков, *мм*	Диаметр каркаса фильтра, *мм*		Высота блока, *мм*	Вес блока, *кг*
Наружный	Внутренний	Наружный	Внутренний		наружный	внутренний		
108	99,5	80	50	15	—	—	330	1,5
108	99,5	92	64	14 2	57	49,5		2,5
127	118	110	80	15 2	73	65,5		3,2
146	137	116	76	20 2	73	65,5		4,5
146	137	126	82	22 2	73	65,5		5,2
168	155/140	138	76	31 2	73	65,5		7,5
168	156	140	100	20 2	89	81	500	5,5
219	205/194	165	120	22 2	112	—		7,2
219	205/194	186	138	24 2	127	116		8,8
273	255/249	230	175	25 2	168	154		12,1
273	255/249	234	180	27 2	168	154		12,7
325	307/301	288	232	28 2	219	203		16,4
377	357/353	340	280	30 2	273	255	340	15,0

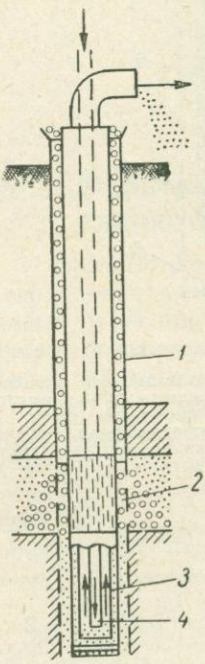
* Завод выпускает три номера блоков каждого из указанных в табл. X-8 диаметров.

Номер блока	1	2	3
Размер пор, *мк*	200±50	300±50	400±50

Таблица X-5

Подбор номера блока по данным механического анализа песка с учетом коэффициента неоднородности η

Тип водоносного песка	Средний размер частиц $d_{50\%}$, *мм*	Отношение размера пор к размеру частиц песка $\delta/d_{50\%}$		Размер основных пор блоков δ, *мм*	Номер блока
		$\eta<2$	$5>\eta>2$		
Среднезернистый	0,5—0,25	1—2	1—2	0,5—0,4	3
Мелкозернистый	0,25—0,1	1—2	2—3	0,4—0,3	2
Тонкозернистый	0,10—0,05	2—3	3—5	0,3—0,25	1
Глинистый	0,05	3—5	5	0,25—0,20	1



засыпается в кожух или корзинки на поверхности земли, и конструкцию в собранном виде опускают в скважину. Во втором случае в пробуренную в основном ударно-канатным способом скважину опускается каркас и производится его обсыпка с поверхности земли. При роторном бурении засыпку гравия проводят после обрушения заглинизированных в пределах водоносного слоя стенок и размыва призабойной полости усиленной откачкой до тех пор, пока из скважины не начнет поступать песок и вокруг каркаса не образуется засыпка уширенного контура (рис. X-10).

Гравийная обсыпка подбирается по гранулометрическому составу водоносного слоя. Соотношение среднего по весу диаметра зерен обсыпки к среднему диаметру зерна водоносного слоя принимается равным 5—10. Основные размеры гравийных фильтров приведены в табл. X-6.

Рис. X-10. Гравийный фильтр с уширенной водоприемной частью.

1 — обсадная труба; *2* — фильтр; *3* — водоподъемная труба; *4* — воздухопроводная труба эрлифта.

Таблица X-6

Основные размеры гравийных фильтров

Показатели	Каркас из перфорированной трубы с проволочной обмоткой				Каркас стержневой с проволочной обмоткой			
Наружный диаметр, *мм*:								
скважины	219	273	325	377	219	273	325	377
фильтра	185	235	285	335	185	235	285	340
патрубка	114	114—168	168—219	219—273	114	114—168	168—219	219
каркаса	123	123—177	177—230	230—284	125	125—185	185—234	234
Толщина обсыпки, *мм*	30	55—29	54—27,5	52,5—20,5	29	55—25	50—25,5	47,5
Объем обсыпки, $м^3$ на 1 *м* фильтра	0,02	0,05—0,025	0,05—0,02	0,06—0,03	0,018	0,04—0,02	0,045—0,25	0,05

Расчет водозахватной способности фильтров

Водозахватная способность фильтра $Q_{захв}$ определяется площадью поверхности фильтра F и допустимой входной скоростью v_{max}.

$$Q_{захв} = Fv_{max}.$$

Расчетная площадь F поверхности фильтра принимается по внешнему контуру обсыпки

$$F = \pi dl,$$

где d — внешний диаметр сетчатого, или блочного, фильтра по внешнему контуру обсыпки гравийного фильтра, *м*;
l — рабочая длина фильтра, *м*.

Величина допустимой скорости входа воды в фильтр определяется по формуле С. К. Абрамова.

§ 3. Бесфильтровые скважины

Устойчивость полости бесфильтровых скважин обеспечивается прочной кровлей из плотных глин, мергелей, мела и песчаника, мощностью свыше 10 *м*. Устойчивость кровли обеспечивается, кроме того, напором снизу, величина которого должна быть не менее 15 *м*.

По данным ВСЕГИНГЕО, в 62 проконтролированных бесфильтровых скважинах, напоры составляли:

Напор, *м*	Самоизливающиеся	Свыше 200	100—200	50—100	25—50	Менее 15	Нет данных
% скважин	37	3,3	11,2	30,6	11,3	3,3	3,3

Бесфильтровые скважины в подавляющем большинстве случаев эксплуатируют мелкозернистые водоносные пески. При разработке полости этих скважин башмак заглубляется в водоносный слой на 0,25—0,5 *м* и производится откачка эрлифтом, вибрационным насосом или отчерпывание желонкой. При откачке поддерживается постоянный динамический уровень. Полость глубиной 1,2—1,8 *м* формируется в течение 8—16 *ч*. Опытную откачку из бесфильтровых скважин следует начинать с небольших дебитов, постепенно увеличивая ее до максимального расхода. Расчет дебита и откосов бесфильтровых скважин производится, как для шахтного колодца, в напорных условиях с полушаровым дном (рис. X-11) по формуле Форхгеймера

$$Q = 2\pi KSr, \qquad \text{(X-2)}$$

где Q — дебит, *м³/сутки*;
K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
S — понижение уровня воды при откачке, *м*;
r — радиус полости, который можно определить по глубине ее h, исходя из формулы $r = h \operatorname{tg} \varphi$,
где φ — угол фильтрующего откоса под водой.

По опытам с мелко- и среднезернистым песком $\varphi \approx 30°$, а $\operatorname{tg} \varphi = 0{,}57$, тогда $r = 0{,}57\,h$. Подставив это значение r в формулу (X-2), получим:

$$Q = 3{,}6\,KSh. \qquad \text{(X-3)}$$

Допустимая скорость притока воды в полость определяется условиями устойчивости водоносного песка против вымыва:

$$v = Ki_{доп}, \tag{X-4}$$

где $i_{доп}$ — величина допускаемого градиента, при котором противодавление T не позволяет разрушить откос.

Величина противодавления определяется по формуле И. Ф. Володько

$$T = \xi i + (1 - \xi)\cos\alpha, \tag{X-5}$$

где ξ — отношение объема пор к объему скелета;

i — градиент в теле откоса;

α — угол между направлением движения подземных вод и осью скважины.

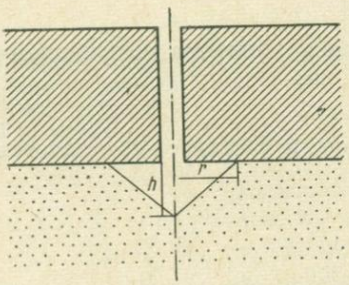


Рис. X-11. Схема водоприемной полости бесфильтровой скважины.

При $\xi = 1$ противодавление $T = i$, то есть T приобретает смысл гидравлического уклона, возникающего внутри скважины и «противодействующего» градиенту в теле откоса.

Расчеты по формуле (X-5) при пористости песка $n = 0{,}34$ и величине $\xi = \frac{0{,}34}{1-0{,}34}$ дали следующие подтвержденные опытными данными величины T:

α	0	45	60	75
T	1,026	0,62	0,444	0,229

При таких величинах противодавления T песчаное дно полости будет устойчиво. Однако градиенты обычно вначале откачки характеризуются большими величинами ($i \gg T$), поэтому скважины пескуют, а полость расширяется до тех пор, пока не будет достигнута такая площадь входа F, при которой

$$v = \frac{Q}{F}, \tag{X-6}$$

где Q — необходимый дебит, *м³/сутки*.

Устойчивость полости может быть повышена также за счет пригрузки. Площадь входа, равная площади боковой поверхности конуса, может быть рассчитана по формуле

$$F = \pi rc,$$

где c — образующая конуса.

$$c = \sqrt{r^2 + h^2} = \sqrt{(0{,}57\,h)^2 + h^2} = 1{,}55\,h. \tag{X-7}$$

Тогда величина F определяется:

$$F = 1{,}55\,\pi rh = 4{,}9\,rh, \tag{X-8}$$

где r — радиус полости;

h — высота полости.

Пример. При разработке полости в мелкозернистых песках на глубину 1 *м* при откачке с понижением 1 *м* был получен дебит в 36 *м³/сутки*. Определить размер полости при дебите 100 *м³/сутки* или величину пригрузки.

Коэффициент фильтрации песков определяется по формуле (X-3)

$$K = \frac{Q}{3{,}6\,Sh} = \frac{36}{3{,}6 \cdot 1 \cdot 1} = 10\ м/сутки.$$

Величина $r = 0{,}57h = 0{,}57$ *м*. По формуле (X-8) $F = 4{,}9 \cdot 0{,}57h = 2{,}79$ *м*^{2}. Скорость $v_1 = \frac{36}{2{,}79} = 13$ *м/сутки*. $i = \frac{v}{K} = \frac{13}{10} = 1{,}3$.

По формуле (X-5) $T = \varepsilon i + (1 - \varepsilon)\cos\alpha = 0{,}51 \cdot 1{,}3 + (1 - 0{,}51)\cos 30° = 1{,}09$, что по вышеприведенному не вызовет суффозии при фильтрации снизу вверх. При дебите 100 *м*^{3}*/сутки* скорость повышается до $\frac{100}{2{,}79} = 36$ *м*^{3}*/сутки*, а градиенты до $\frac{v}{h} = \frac{36}{10} = 3{,}6$. Для устойчивости полости необходимо противодавление $T_1 = 0{,}51 \cdot 3{,}6 - (1 - 0{,}51)\cos 30° = 1{,}83 + 0{,}43 = 2{,}27$ *т/м*^{3}, при допустимом по предыдущей таблице T около 0,87. Величина пригрузки следовательно будет $T_1 - T = 2{,}27 - 0{,}87 = 1{,}4$ *т/м*^{3}.

Объем разрыхленной части, на которую должна относиться пригрузка, определится из предположения, что разрушение происходит по поверхности полушара — $2\pi r^2$. При $Q = 100$ *м*^{3}*/сутки*, $v_1 = 13$ *м/сутки*. Площадь входа $F = \frac{100}{13} = 7{,}7$ *м*^{2} $= 2\pi r^2$, откуда $r = \sqrt{\frac{7{,}7}{6{,}28}} = 1{,}23$ *м*.

$$Q = \frac{2}{3}\pi r^3.$$

Объем разрыхленной части $Q = \frac{2}{3} 3{,}14 \cdot 1{,}23^3 = 3{,}74$ *м*^{3}. Пригрузка равна $1{,}4 \times 3{,}74 = 5{,}18$ *т*. При объемном весе гравия 1,6 и площади дна 2,79 *м*^{2} высота слоя засыпки должна быть $\frac{5{,}18}{2{,}79 + 1{,}6} = \frac{5{,}18}{4{,}46} = 1{,}16$ *м*.

При отсутствии пригрузки полость расширится до радиуса 1,23 *м* при глубине $h = \frac{1{,}23}{0{,}57} = 2{,}1$ *м*.

Рекомендуемые виды оборудования водоприемной части скважин применительно к различным водосодержащим породам приведены в табл. X-7.

Таблица X-7

Рекомендуемые типы фильтров

Водосодержащая порода	Рекомендуемая водоприемная часть скважин	Способы приспособления фильтра к местным условиям
Скальные и полускальные устойчивые породы	Фильтра не требуется	Скважинами проходится по возможности вся трещиноватая зона
Полускальные неустойчивые породы. Щебень. Галечник с песком. Уплотненный песок	Фильтры из перфорированных труб. Щелевые фильтры. Фильтры из продольных проволок	Диаметр отверстий $2{,}5—4{,}0\ d_{50}$ Ширина щели $1{,}25—20\ d_{50}$, где d_{50} — средний по весу размер частиц породы
Пески средне- и крупнозернистые	Сетчатые фильтры	Сетка должна пропускать около 40—80% пробы песка
Пески крупнозернистые неплывучие, местами сцементированные	Каркасно-проволочные и другие фильтры с проволочной обвивкой	Расстояние между витками проволоки 1—2 *мм*
Пески мелко- и тонкозернистые	Блочные и гравийно-обсыпные фильтры	$\frac{D}{d_n} = 5—10$, а $\frac{D_1}{D_2} \approx 5$, где d_n — диаметр зерен водоносного песка; D_1 — диаметр зерен первого от породы слоя засыпки; D_2 — то же второго слоя
Водоносные пески, залегающие под прочной водоупорной кровлей	Бесфильтровые скважины	Скважины должны эксплуатироваться при постоянной водоподаче и небольших понижениях

ГЛАВА XI

НАСОСЫ И ВОДОПОДЪЕМНИКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТАХ

§ 1. Водоподъемное оборудование для откачки мутной воды

Эрлифты могут длительное время без остановки и ремонта поднимать значительные количества мутной воды на высоту до 60—80 *м* и более.

Подъем воды производится (рис. XI-1) воздухом, нагнетаемым в воду по воздухопроводной колонке *3* при помощи компрессора *1*. Эмульсия из смеси воды и воздуха меньшего по сравнению с водой удельного веса поднимается по водоподъемной колонке *5*.

Оборудование скважин может быть выполнено по одной из схем, показанных на рис. XI-2.

Эрлифты (рис. XI-1) требуют погружения воздухопроводной трубы на глубину, определяемую по формуле,

$$l = kh, \tag{XI-1}$$

где l — глубина погружения воздухопроводной трубы, *м*;

k — коэффициент, равный отношению глубины погружения смесителя (форсунки) H к высоте подъема воды h, обычно изменяется 1,9 ÷ 3,0;

h — расстояние от динамического уровня до точки излива эмульсии, *м*.

Нижний конец водоподъемной трубы опускается на 3—5 *м* ниже форсунки. На нижний конец смесителя, расположенного внутри водоподъемных труб, привертывается открытая труба того же диаметра длиной 1,5—2,0 *м*.

Удельный расход воздуха определяется по формуле

$$q_в = \frac{h}{23\eta \lg \frac{h(k-1)+10}{10}}, \tag{XI-2}$$

где $q_в$ — удельный расход воздуха, $м^3$ на 1 $м^3$ воды;

η — коэффициент полезного действия эрлифта (0,25—0,30).

Количество воздуха, необходимое для подъема заданного расхода воды, определяется по формуле

$$Q_в = Qq_в n, \qquad \text{(XI-3)}$$

где $Q_в$ — расход воздуха, *м³/мин*;

Q — заданное количество воды (дебит скважин), *м³/мин*;

n — коэффициент, равный 1—2, учитывающий потери воздуха в трубах.

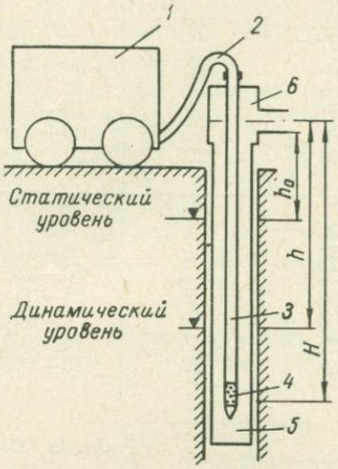


Рис. XI-1. Схема установки эрлифта.

1 — компрессор; *2* — воздухопроводный шланг; *3* — воздухопроводная колонка; *4* — смеситель; *5* — водоподъемная колонка; *6* — головное устройство.

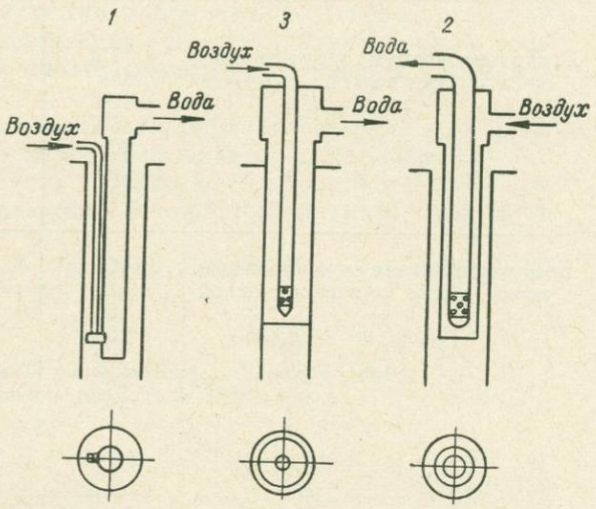


Рис. XI-2. Схема оборудования скважин эрлифтом.

1 — воздушная и водоподъемная трубы расположены рядом; *2* — воздушная труба внутри водоподъемной или водоподъемная труба внутри воздушной; *3* — воздушная труба внутри обсадных труб, служащих водоподъемными, или воздух нагнетается между обсадными трубами и водоподъемной трубой.

Диаметр воздухоподъемной трубы определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{Q(1-q_в)}{0{,}785\, v_{изл}}}, \qquad \text{(XI-4)}$$

где D — диаметр водоподъемной трубы (при расположении труб эрлифта по системе «рядом»), *мм*;

$v_{изл}$ — скорость движения эмульсии при изливе ее из водоподъемной трубы (рекомендуется применять равной 600—800 *мм/сек*).

Подбор диаметра водопроводных и воздухопроводных труб эрлифта при разном расположении их в скважине может быть сделан по табл. XI-1.

Ориентировочные данные для подбора эрлифтов при разных динамических уровнях и подачах приведены в табл. XI-2.

Вибрационный водоподъемник. Разработан Всесоюзным институтом электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ — ведущий инженер проекта В. М. Усаковский).

Разработаны вибрационные установки со следующими параметрами:

	I	II	III
Мощность, *квт*	1,2	0,9	0,6
Производительность, *м³/ч*	8,0	3,6	1,5—5
Высота подъема, *м*	20	18	15

Таблица XI-1

Подбор труб для эрлифта

Расположение труб эрлифа	Диаметр скважины (фильтра), *мм*	Внутренний диаметр, *мм*		Производительность, *м³/ч*
		водоподъемной трубы	воздухопроводной трубы	
Воздухопроводная труба расположена внутри водоподъемной	75	32	10	2,5
	112	50	15	15
	150	70	25	20—25
	150	100	32	30—40
	200	150	50	70—100
	250	200	70	100—150
	300	250	80	150—250
Воздухопроводная труба расположена рядом с водоподъемной	75	32	15	3
	112	50	20	8—5
	150	70	32	20—25
	150	80	40	25—30
	200	100	40	30—40
	250	125	50	75—100
	300	150	80	125—175

Таблица XI-2

Ориентировочные данные для подбора эрлифтов

Глубина динамического уровня от устья скважины, *м*	Подача эрлифта, *м³/ч*	Диаметр скважины в месте устройства смесителя, *мм*	Глубина погружения смесителя от устья скважины, *м*	Давление воздуха, *кГ/см²*	Диаметр труб, *мм*		Тип компрессора	Подача сжатого воздуха, *м³/мин*	Общий вес установки (без труб), *кг*
					для сжатого воздуха	для смеси			
30	20	125	75	7	32	75	ПКУ	1,2	570
45	40	125	115	6	32	75	ВК	3,0	1000
50	40	125	125	7	32	75	ПКС-3	3,0	1650
50	40	125	125	7	32	75	ПСЭ-3М ПС ВВК-155 ПЭ	3,0	600
60	66	125	150	7	32	75	ЗИФ-ВКС	5,0	3000
60	56	125	150	4,5	32	75	КС-5	4,5	3000
60	73	150	150	6	32	100	ВКС-6Д	5,5	4500
70	75	150	175	7	32	100	ПКС-6	6,0	2800
70	87	200	175	7	50	125	ЗИФ-ВКС-6	7,0	3600
70	125	200	175	7	50	125	ЗИФ-ВКС-10	10,0	4650
70	77	200	175	6,8	50	125	КС-6	6,5	4400
70	112	200	175	6	50	125	КС-9	9,0	6100
300	30	150	750	80	37	100	УПК-80	8,0	7000

Испытания показали, что установка может подавать воду из скважин диаметром не менее 4″ с динамическим уровнем до 30 *м* ниже поверхности земли на высоту до 10—15 *м* над поверхностью. Подача установки с вибратором маятникового типа марки С-483 (рис. XI-3а) — 1,5—2 $м^3/ч$, марки С-485 (рис. XI-3б) — 4—8 $м^3/ч$.

Вибрационная водоподъемная установка может перекачивать загрязненную воду с примесью песка, глины и даже частиц шлама и гравия, если величина этих частиц не превышает высоты подъема клапанной пластинки.

Установка проста по конструкции и при наличии вибратора может быть изготовлена в обычных мастерских. Действие вибрационной установки основано на сообщении столбу жидкости ускорения, большего чем $g = 9{,}81$ $м/сек^2$.

На рис. XI-3 показаны установки для подъема воды: *а* — из скважин диаметром не менее 6″, *б* — из скважин диаметром не менее 4″.

Водоподъемные трубы обычно применяют диаметром 1,5—2,0″. В зависимости от диаметра скважины изменяется диаметр клапана *3*, муфты *14* и фонаря *10*.

Размеры основных деталей к установкам для скважин диаметром 100 и 150 *мм* приведены в табл. XI-3.

Таблица XI-3

Размеры основных деталей к вибрационным водоподъемным установкам для скважин диаметром 100 и 150 *мм*

Показатели	100	150
Марка вибратора . . .	С-483	С-485
Мощность электродвигателя, *квт*	0,6	1,2
Размеры, *мм*:		
водоподъемных труб . .	48 × 5 × 5000	48 × 5 × 5000
трубы-переходника . .	89 × 4,5 × × 5000	89 × 4,5 × × 5000
патрубка приемного клапана	89 × 4,5 × × 5000	130 × 4 × 160
нижней муфты . . .	95 × 4 × 40	138 × 4 × 40
Диаметр клапана, *мм* .	84,5	120

К вибратору С-485 изготовляются фланцы круглой формы для шести пружин, к вибратору С-483 фланцы треугольной формы для трех пружин. Клапанные пружины и пружины фланцев рассчитаны на частоту колебаний 50 *гц*.

Применяются тарельчатые клапаны компрессорного типа: для скважин диаметром 8″ — трехкольцевой диаметр 156 *мм*, для скважин диаметром 6″ — двухкольцевой диаметром 120 *мм*, для скважин диаметром 4″ — однокольцевой диаметром 84,5 *мм*.

Секторные прорези в седле клапана (рис. XI-4) закрываются пластиной, притертой к седлу. Пластина представляет собой кольцо из стали толщиной 2,5 *мм*. Кольцо прижимается пружинами *5*. При вибрации клапана пластина совершает колебательное движение на величину:

Количество колебаний в *мин*	1500	3000
Высота, *мм*:		
клапана H	30	29
подъема пластины h	4	3

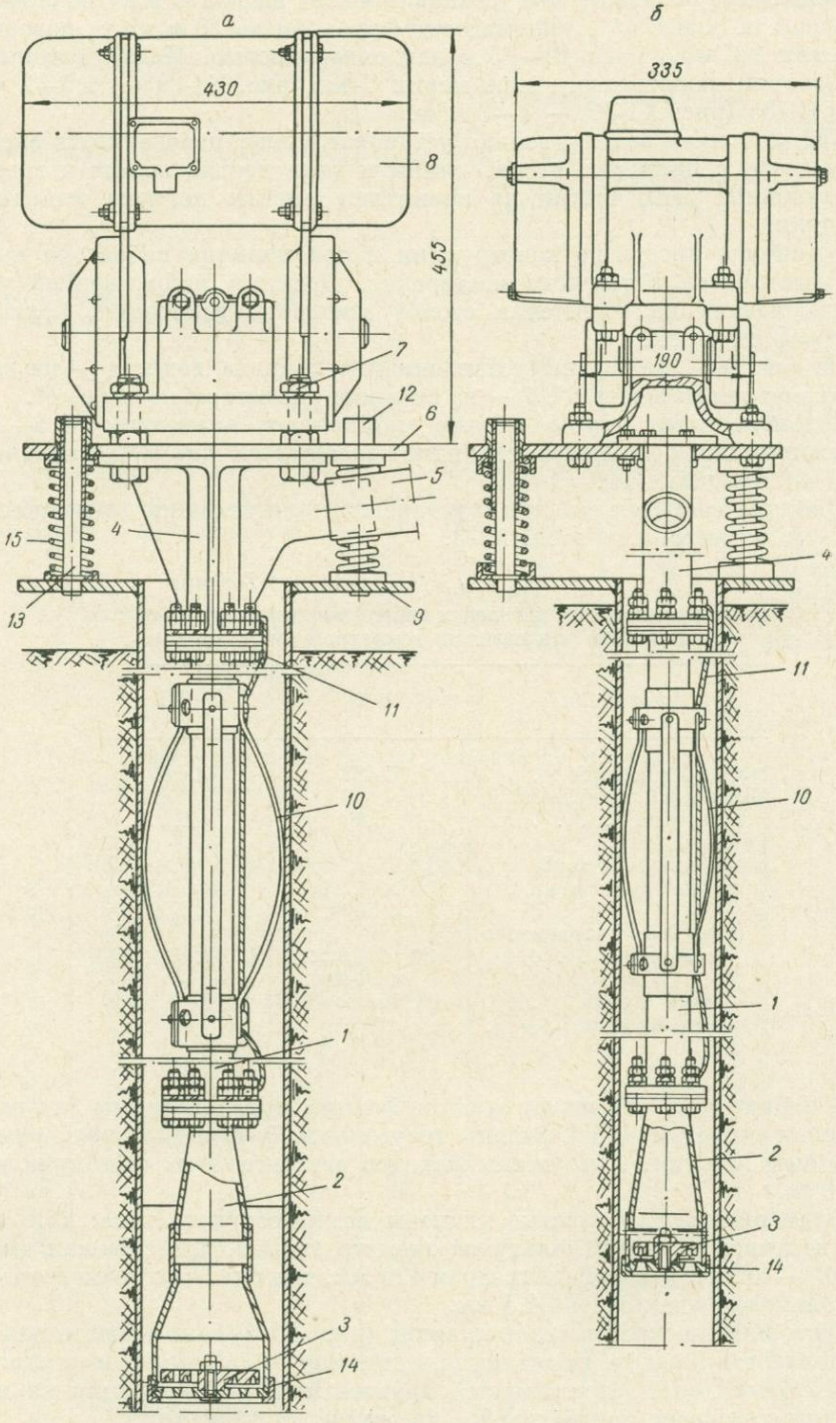


Рис. XI-3. Вибрационный водоподъемник.

1 — водоподъемная труба; *2* — переходник; *3* — клапан; *4* — тройник; *5* — дюритовый водоотводный шланг; *6* — верхний фланец; *7* — крепежные болты; *8* — вибратор; *9* — нижний фланец; *10* — фонари; *11* — тросик; *12* — втулка; *13* — направляющая нижнего фланца; *14* — муфта клапана; *15* — пружина для подрессорки вибратора.

Через образующийся зазор вода попадает в водоподъемную трубу. Клапан прижимается к водопроводной трубе муфтой. Основная водоподъемная труба имеет диаметр 1,5—2,0″ для любого клапана с одним или двумя переходами в зависимости от диаметра клапана. Клапаны стандартизированы и выпускаются промышленностью.

Пружина для подрессорки вибратора делается из проволоки 70-IIIгр. (ГОСТ 5047—49). Диаметр проволоки 7 *мм*. Шаг витка 14,7 *мм*, диаметр кольца пружины 50 *мм*, высота пружины 132 *мм*. Полное число витков 10, число рабочих витков 8,5, длина развертки 1368 *мм*. Вибрационная установка обычно может находиться в работе до 200 *ч*, после чего необходимо производить поверхностный осмотр и смазку подшипников вибратора. Уход за вибратором описан в инструкциях, которые прилагаются к вибратору заводом «Красный маяк» (г. Ярославль), выпускающим вибраторы С-483, С-485 и другие.

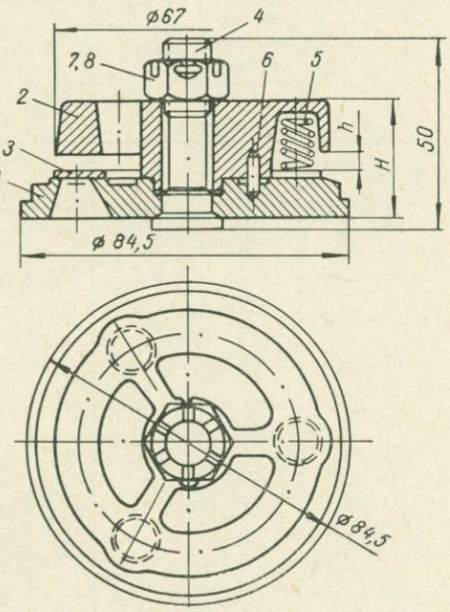


Рис. XI-4. Клапан тарельчатый компрессорного типа.

1 — седло; *2* — розетка; *3* — пластина; *4* — шпилька; *5* — пружина; *6* — штифт цилиндрический; *7* — гайка.

Вибрационная водоподъемная установка хорошо работает в полевых условиях. Для улучшения охлаждения двигателя в жаркое время в крышках вибратора протачиваются отверстия диаметром 100—150 *мм*, которые закрываются сетками. При этом эксцентрики вибратора выполняют роль вентилятора. Особое внимание следует обращать на шплинтовку крепежных болтов вибратора.

При надлежащем уходе установка может работать без ремонта 2000—3000 *ч*, после чего требуется замена подшипников вибратора.

Водоструйные установки. Для подачи воды на большую высоту могут применяться водоструйные установки. В основу действия этих установок положен принцип непосредственной передачи энергии от одного потока, с бóльшим запасом энергии, к другому, с меньшим запасом.

Имеется несколько типов водоструйных установок. Характеристика установок дана в табл. XI-4.

На рис. XI-5 показана схема водоструйной установки ВН-2Ц-6″.

Установка состоит из водоструйного аппарата *1* и центробежного насоса *2* с электрическим или нефтяным двигателем.

Часть подачи центробежного насоса водоструйной установки возвращается в скважину в водоструйный аппарат и служит для подъема воды, другая, большая, часть идет к потребителю.

Водоструйный аппарат (рис. XI-6) состоит из водоприемной трубы *1*, внешней трубы *2*. По зазору между этими трубами вода подается в сопло *15*, заключенное в корпусе *4*.

Установка ВН-2Ц-6″ проста по конструкции и может быть изготовлена в обычных мастерских. Запуск и остановка эжектора очень легки: даже если динамический уровень понизится ниже всасывающей трубы и произойдет захват воздуха, срыва вакуума не произойдет.

Таблица XI-4

Характеристика водоструйных установок

Глубина динамического уровня, *м*	Диаметр насадки, *мм* или число ступенек	Диаметр скважины в месте установки насадки, *мм*	Размеры камеры смешения, *мм*		Развиваемый напор, *м*	Потребная мощность двигателя для насоса или марка электродвигателя	Подача, $м^3/ч$	Давление нагнетательного насоса, *м*, или его марка
			Диаметр	Длина				
10—30	6,4	112	—	—	10—30	—	5—7,5	62—121
20—40	10	150	—	—	21—41	—	6,1—8,6	61—121
20—40	12	200	—	—	22—45	—	6,1—8,2	61—123
8—23	15,5	200	27,5	190	29—44	А-42-2 6 *л. с.*	16—5,5	2К-6
15—28	15,5	200	25	175	35—48	А-42-2 10 *л. с.*	11—3,6	3К-6
17—33	19	200	27,5	190	42—58	А-52-2 10 *л. с.*	14—4,7	3К-9
26—41	19	200	25	175	51—66	А-52-2 10 *л. с.*	10—3,8	3К-9
До 75	—	150	22,2	—	15—20	А-52-2	14,4—12,2	ЦДС-2-0
До 75	—	—	20,4	—	20—25	НД-9	12,2—1,0	ЦДС-2-0
До 75	—	—	18,9	—	25—30	—	10—8	ЦДС-2-0
Напор + 55 *м* над осью центробежного насоса	—	—	17,3	—	30,36	—	10,8—8,7	ЦДС-2-1
То же	—	—	16,5	—	36—43	А-51-2	8,7—8,2	ЦДС-2-1
»	—	—	15,7	—	43—50	110,5	8,2—7,2	ЦДС-2-1
»	—	—	16,5	—	50—58	А-52-2	10,4—9	ЦДС-2-2
»	—	—	15,7	—	58—66	А-52-2	9—7,5	ЦДС-2-2
»	—	—	15	—	66—75	—	7,5—6,8	ЦДС-2-2
До 35	—	100	—		До 35	2,8 *квт*	5	0-4—14 $м^3/ч$
До 35	—	Для шахтного колодца	—		До 35	1,6 *квт*	2,5	—
30	4	200	—	—	30	—	11—18	—
50	—	—	—	—	50	—	20	НМ
60	—	—	—	—	60	—	25	50—95
60	—	—	—	—	60	—	40	100—180
								150—180
100	—	—	—	—	100	—	300	300—480

Установка не имеет вращающихся, подвижных трущихся частей, поэтому она редко выходит из строя. Быстроизнашивающиеся части установки (стенки ее приемно-смесительной камеры, горловина и др.) могут быть легко реставрированы или заменены.

Недостаток установки — сравнительно низкий к. п. д. — не более 30—40%.

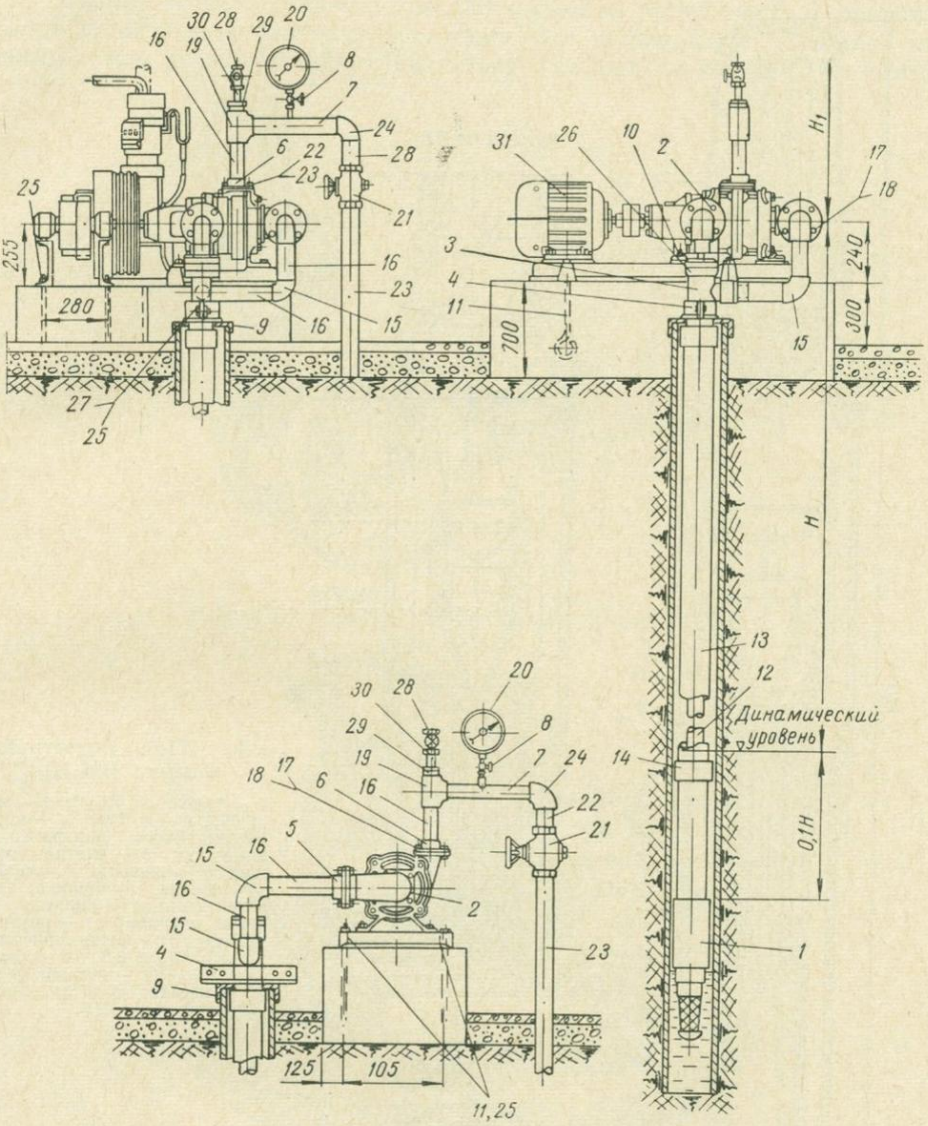


Рис. XI-5. Водоструйная установка ВН-2Ц-6.

1 — водоструйный аппарат; *2* — насос ЦДС-3 с приводом на раме; *3* — верх оголовка; *4* — хомут монтажный; *5* — фланец насоса; *6* — фланец спирали; *7* — труба манометра; *8* — вентиль для манометра; *9* — крышка скважины; *10* — крышка сальника; *11* — болт фундаментный; *12* — труба; *13* — труба Ц-100; *14* — муфта 4″; *15* — угольник; *16* — патрубок; *17* — болт; *18* — гайка; *19* — тройник; *20* — манометр общего назначения на 16 *ат*; *21* — кран сальниковый ДУ-50; патрубок 2″, *22*, *23* — труба Ц-50 отводящая; *24* — угольник 2″; *25* — гайка М20; *26* — муфта сальника; *27* — болт М20 × 50; *28* — вентиль запорный муфтовый ДУ-15; *29* — пробка 2″; *30* — патрубок $^1/_2$″; *31* — мотор.

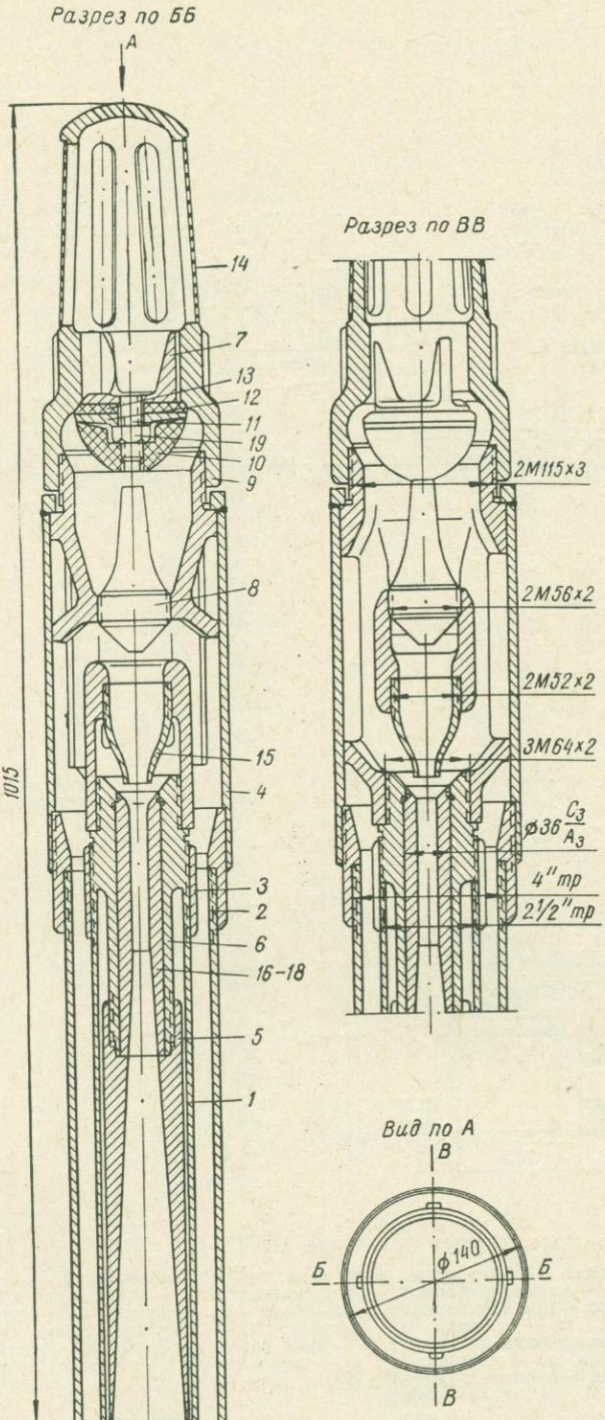


Рис. XI-6. Водоструйный аппарат ВН-2Ц-6″.

1 — труба ⌀ $2^1/_2$″; *2* — труба ⌀ 50; *3* — муфта; *4* — корпус водоструйного аппарата; *5* — диффузор; *6* — камера смешения; *7* — клапан; *8* — пробка; *9* — корпус приемника; *10* — обтекатель; *11* — шпилька; *12* — гайка клапана; *13* — резиновое кольцо; *14* — сетка приемника; *15* — сопло ⌀ 8,9; *16* — насадка ⌀ 15,17; *17* — насадка ⌀ 16,5; *18* — насадка ⌀ 17,3; *19* — гайка М16.

§ 2. Водоподъемники при динамическом уровне до 6 *м*

Откачка воды из скважин при динамическом уровне до 6 *м* производится горизонтальными центробежными или поршневыми насосами, качалками или лебедками с вертикальными поршневыми насосами с цилинд-

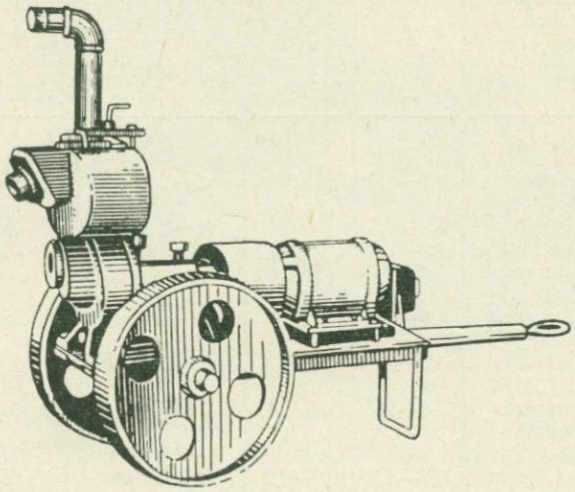


Рис. XI-7. Центробежный самовсасывающий насос С-203.

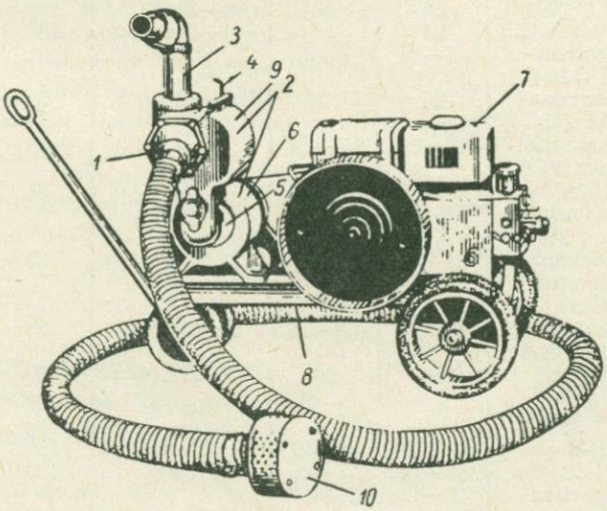


Рис. XI-8. Центробежный самовсасывающий насос С-245.

1 — патрубок всасывающий; *2* — камера нагнетательная; *3* — патрубок нагнетательный; *4* — крышка заливочного отверстия; *5* — люк для чистки всасывающей камеры; *6* — спиральная камера насоса; *7* — дизель; *8* — тележка; *9* — камера нагнетательная; *10* — сетка всасывающая.

рами, расположенными как выше, так и ниже динамического уровня (табл. XI-5).

При наличии электроэнергии наиболее удобны строительные центробежные самовсасывающие насосы типа С-203 (рис. XI-7), С-204 и С-374

Таблица XI-5

Типы и марки насосов, используемых для откачек при динамических уровнях 6—8 *м*

Эффективный диаметр скважины, *мм*	Тип и марка насоса	Подача, $м^3/ч$	Высота нагнетания, *м. вод. ст.*	Тип и мощность двигателя	Диаметр входного патрубка, *мм*	Вес насоса, *кг*	Зазор на сторону, *мм*
89	Ручные насосы РН, БКФ-2	0,7—1,4	30	1—2 чел.	25	16—20	7
89	БКФ	2,3—3,5		1—2 чел.	38	—	—
89	Горизонтальный поршневой ПН-40	0,9—2,4	15	2,7 *квт*	25	211	30
89	Центробежный 1В-09	1—2,5	37	1,0—1,7 *квт*	25	29	25
89	Вихревой 1,5В-1,3	3—6	58—23	4,5—2,8 *квт*	40	33	20
89	Консольный заливной 1,5К-6	6—14	20,3—14	1,7 *квт*	40	30	25
89	1 СЦБ-1,5 или КАМА	0,7—1,5	19,0—12	0—4 *квт*	25	25	32
89	Диафрагмовый «лягушка» №1	18		1—2 чел.	75	—	—
	» № 2	18		1—2 чел.	75	—	—
	» № 3	24		1—2 чел.	100	—	—
	» № 4	24		1—2 чел.	100	—	—
89	Самовсасывающий С-374	6—24	9—4	1 *квт*	51	95	15
89	Самовсасывающий 208	24	9	1,0—1,5 *л. с.*	50	190	15
89	Консольный заливной 2К-6	10—30	34,5—24	4,5 *л. с.*	50	35	20
89	С-247А	35	20	3 *л. с.*	51	145	20
112	Консольный заливной 3К-9а	25—45	24,2—19,5	4,5 *квт*	80	42	15
125	Центробежный секционный МС-30	22—45	54—30	8 *квт*	80	194	20
125	Консольный заливной 3К-6	30—70	62—44,5	14—20 *квт*	80	92	20
100	Поршневой	80	20	25—29,4 *квт*	80	1146	10—20
125	$ТП=\frac{20}{250}$						
150	4К-8	70—120	59—49	28 *квт*	100	101	25
150	4К-12	65—120	37,7—28	14 *квт*	100	99	25
150	Самовсасывающий С-204	40—120	20—14	7,4 *л. с.*	100	395	25
150	Самовсасывающий С-490	120	20	12 *л. с.*	100	485	25
150	Самовсасывающий С-245	30—120	20—14	11 *л. с.*	100	950	35
200	Консольный заливной 6К-12а	95—180	17,8—12,6	10 *квт*	150	135	35
200	6К-12	110—200	22,7—17,1	14 *квт*	150	135	20
250 и выше	8К-18	220—360	20,7—15	20 *квт*	200	160	20

с электродвигателем, а при отсутствии электроэнергии — насосы С-247А с бензодвигателем Л-3/2, С-245 с дизелем «Андижанец», (рис. XI-8),

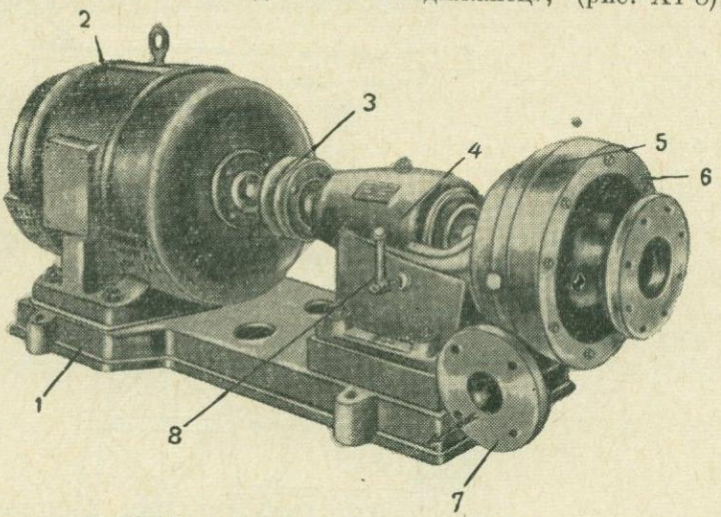


Рис. XI-9. Общий вид центробежного насоса типа К.

С-490 с бензодвигателем Л-12/14. Все эти насосы смонтированы на тележках. Они имеют небольшой вес и приспособлены для откачки загрязненных вод. Насосы самовсасывающие, поэтому они при снижении уровня воды в процессе откачки ниже всасывающего клапана и после подъема уровня выше всасывающего клапана продолжают засасывать воду без заливки воды во всасывающую трубу.

Применяются также вихревые центробежные насосы, консольные заливные центробежные насосы типа К, секционные центробежные насосы и другие.

Общий вид и схема действия горизонтального центробежного насоса показана на рис. XI-9. Схема установки горизонтального центробежного насоса показана на рис. XI-10.

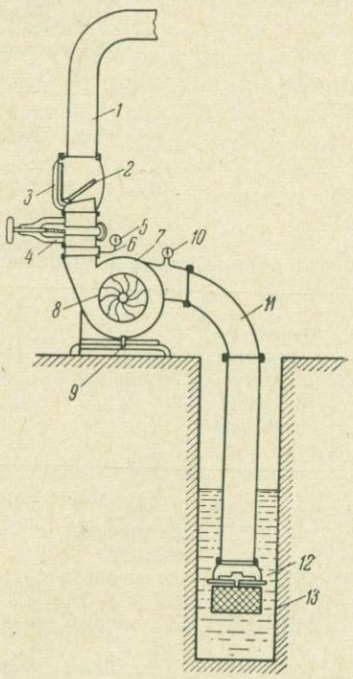


Рис. XI-10. Схема установки горизонтального центробежного насоса.

1 — нагнетательная труба; *2* — обратный клапан; *3* — обводная трубка; *4* — задвижка; *5* — манометр; *6* — воздушный кран; *7* — кожух; *8* — рабочее колесо; *9* — спускной кран; *10* — вакуумметр; *11* — водоподъемная труба; *12* — приемный клапан; *13* — предохранительная сетка.

§ 3. Водоподъемники при динамическом уровне от 6 до 50 и от 50 до 100 *м*

Для откачки подземных вод с наиболее распространенными динамическими уровнями от 6 до 50 *м* и в меньшей степени для динамических уровней от 50 до 100 *м* применяются штанговые поршневые насосы простого и двойного действия.

Схема насосной качалки НК-1 показана на рис. XI-11. Данные о штанговых поршневых насосах приведены в табл. XI-6.

В табл. XI-7 приведены данные о штанговых поршневых насосах двойного действия, используемых для откачек при

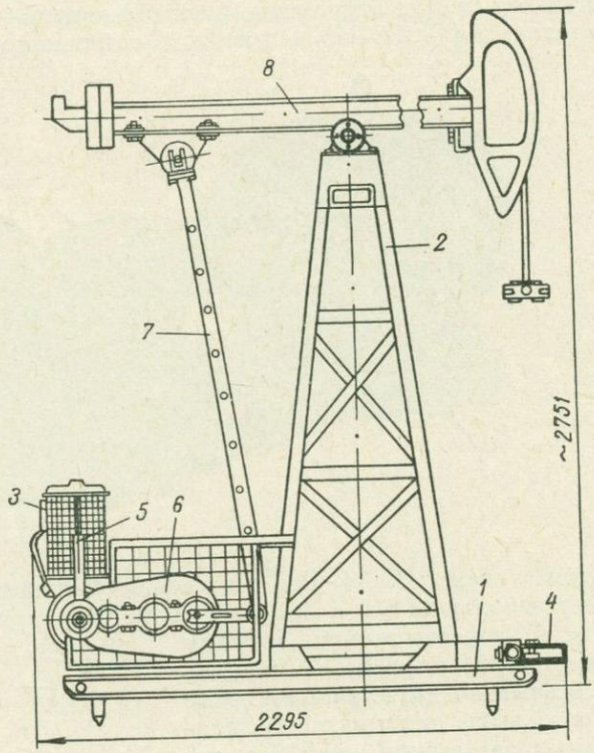


Рис. XI-11. Схема насосной качалки НК-1.

1 — рама; *2* — стойка; *3* — двигатель; *4* — хомут; *5* — рукоятка; *6* — редуктор; *7* — кривошипно-шатунный механизм; *8* — балансир.

Таблица XI-6

Данные о штанговых поршневых насосах простого действия

Диаметр скважины в месте установки насоса, *мм*	Тип и марка насоса	Диаметр цилиндра, *мм*	Подача, $м^3/ч$	Высота нагнетания, *м*	Мощность двигателя, *л. с.*	Диаметр входного патрубка, *мм*	Вес лебедки, *кг*	Зазор на сторону, *мм*
При динамических уровнях 6—50 *м*								
112—150	Штанговый с лебедкой 4″	95	2,8—4,49	9	10	100	623	5—10
112—150	Штанговый с лебедкой ВЛ-3А-00	92	4,6	100	7	—	725	—
112—150	Штанговый с лебедкой 4″	95	3,6—5,8	9	10	95	623	5—95
112—150	Штанговый с лебедкой ВЛ-3А	100	4,5—5,8	10	7	75	642	5—15
При динамических уровнях 50—100 *м*								
125	Бурвод III	92	4	150	6,5	100	592	10
150	НЛ-3	100	5	100	3	100	600	20
150	ОМЗ-11	100	2,8—8	95	24	100		25
200	Бурвод III	154	10,7	70	7,4	154	592	25
200	НЛ-3	154	10	80	6	150	600	25
200	ПК-2	188	49	100	37	188	—	9
200	ОМЗ-2	145	24	50	16	150	—	21

динамических уровнях до 50—100 *м* от поверхности. Эти насосы более уравновешены в работе, чем насосы простого действия.

Таблица XI-7

Данные о штанговых поршневых насосах двойного действия

Диаметр скважины в месте установки насоса, *мм*	Марка насоса	Диаметр цилиндра, *мм*	Подача, *м³/ч*	Высота нагнетания, *м*	Мощность двигателя, *квт*	Вес насоса, *кг*	Величина зазора на сторону, *мм*
126	ШНД и МНО	180	13,2	100	24	39,7	12
126	НКД-146	—	21—6	—	—	—	—
150	ШНД-2	145	8,9—27,5	100	27	69,2	2
200	ШНД-3	188	16,4—49	50	97	143,9	6

Из указанных в табл. XI-7 поршневых насосов для гидрогеологических откачек применяют насосы ШНО и ШНД с качалками НК-1 и НК-2 (рис. XI-11).

Поршневые насосы наиболее универсальны, но требуют тщательного ухода.

§ 4. Водоподъемники при динамических уровнях больше 100 *м*

При динамических уровнях больше 100 *м* скважины на воду, как правило, не эксплуатируются. Для гидрогеологических же откачек с небольшими дебитами может служить насос Бурвод III, а также глубинные поршневые и скальчатые насосы с качалками, применяемые в нефтяной промышленности. Характеристики этих насосов приведены в табл. XI-8. Для откачки при динамических уровнях больше 100 *м* применяются также эрлифты.

Таблица XI-8

Глубинные поршневые и скальчатые насосы, применяемые при динамических уровнях больше 100 *м*

Диаметр скважины в месте установки насоса, *мм*	Марка насоса и качалок	Диаметр цилиндра, *мм*	Подача, *м³/ч*	Высота нагнетания, *м*	Мощность двигателя, *квт*	Диаметр всасывающей трубы, *мм*	Вес насоса, *кг*	Величина зазора на сторону, *мм*
89	СКН-3-915	—	2,4	380	3,4	50	4500	20
112	Погружной	—	1,7	1000	—	58	—	5
112	Бурвод III	92	4	150	6,5	100	592	12
112	СКН-3-9-15	95	5	260	3,4	102	4500	5—10
150	Бурвод III	154	10	150	10	160	—	20
200	СКН-3-9-15	145	15,16	320	3,4	—	4500	25

Артезианские насосы с вертикальным валом. При гидрогеологических откачках и эксплуатации скважин часто применяются артезианские центробежные насосы с вертикальным валом. При малой высоте подъема (от 5 до 25 *м*) и большой подаче могут найти применение пропеллерный вертикальный насос ВП-24×5, а для откачки вод, содержащих песок, — винтовые насосы ВАН-4 и ВАН-4/60. Характеристика указанных насосов приведена в табл. XI-9.

Таблица XI-9

Артезианские насосы для откачки из скважин с динамическим уровнем до 100 *м* с двигателем на поверхности

Внутренний диаметр, *мм*		Габариты, *мм*		Марка насоса	Подача, $м^3/ч$	Число колес, шт.	Полный напор, *м*	Мощность электродвигателя, *квт*	Вес, *кг*	Величина зазора на сторону, *мм*
скважины	напорного патрубка	Длина	Диаметр							
100	96	61 000	330	ВАН-4/60	5—6—7	1	60—40—20	4,5	1 213	2
200	125	67 222	188	АТН-8-1-16	30	16	65	14	2 451	37,2
200	125	94 596	188	АТН-8-1-22	30	22	90	20	3 430	37,2
250	150	34 952	238	АТН-10-1-4	70	4	30	14	1 950	50
250	150	50 540	238	АТН-10-1-6	70	6	45	20	2 844	50
250	150	66 200	238	АТН-10-1-8	70	8	60	28	3 592	50
250	150	84 655	238	АТН-10-1-11	70	11	80	40	4 546	50
250	150	105 415	238	АТН-10-1-13	70	13	100	40	5 460	50
250	150	126 625	238	АТН-10-1-15	70	15	115	45	7 454	50
—	100	110 883	290	12НА-9×4	35—55—80	14	56—58—44	15	1 200	—
300	150	736	285	12НА×1	150	1	8,5	10	1 800	75
—	150	11 948	306	12НА-22×6	120—140—160	6	58,5—55—48	32	1 360	—
300	150	32 220	285	12НА×3	110—150—186	3	39,6—33—23	28	2 650	75
300	150	43 000	285	12НА×4	110—150—186	4	52—44—34	40	33—80	75
300	150	53 690	285	12НА×5	110—150—186	5	66—55—42	55	4 270	75
300	150	64 190	285	12А-18×6	110—150—186	6	79—66—47	76	4 899	75
300	150	74 880	285	12А-18×7	110—150—186	7	92—77—57	75	5 605	75
300	150	106 520	285	12А-18×8	110—150—186	8	106—88—64	75	7 616	75
350	250	54 647	340	АТН-14-1-3	170—260—360	3	50—37,5—23	55	6 155	50
350	250	104 810	340	АТН-14-1-6	170—260—360	6	100—75—46	100—110	10 164	50
350	250	—	—	АТН-14-1-4	200	4	86,4	75	—	50
500	250	25 770	480	20А-18×1	600—700	1	28—22	80	6 600	125
—	250	27 235	—	20А-18×3	600	3	85	230	14 520	—
600	300	43 830	580	20А-18×1	800—1400	1	53—37	230	12 520	150
400	300	—	—	ВП-24-5	466—720	1—5	5—25	10—40	3 500	50
125	90	—	—	ВАН-4	5	—	60	2,8	—	18

Примечания. 1) Габариты и вес насоса 12НА×1 указаны общие для насоса и электродвигателя. 2) Насос АТН-14-1-3 поставляется с электродвигателем АВШ-55 мощностью 55 *квт*. 3) Электродвигатели для приводов шестиступенчатых насосов АТН-14-1-6 промышленностью еще не освоены, поэтому пока выпускаются четырехступенчатые насосы АТН-14-1-4. 4) Насосы А, НА, АТН — центробежные, многоступенчатые, секционные. Трансмиссионный вал насосов 12А, 12НА вращается в трубопроводе, заполненным маслом, вал насосов АТН, 20А, и 24А — открытый с водной смазкой подшипников. 5) Насос типа ВАН-4 — винтовой, с одним отдельным винтом и резиновой обоймой. 6) Вес насосов 12НА-9×4 и 12НА-22-6 указан без электродвигателя. Насосы нефтяные артезианские.

Недостатками этих насосов являются их большой вес и высокая стоимость, а также потребность в скважинах с относительно большими диаметрами для их установки. Эти насосы пригодны главным образом для стационарных условий работы.

Артезианские погружные насосы. Наиболее совершенны современные артезианские погружные центробежные насосы с погружаемыми под воду электродвигателями (рис. XI-12). Характеристика этих насосов приведена в табл. XI-10.

Особое конструкторское бюро по бесштанговым насосам разработало ряд погружных центробежных насосов для водоснабжения в сельском хозяйстве. Основные технические данные этих насосов приведены в табл. XI-11.

Электропогружные насосы пригодны только для откачки осветленной воды. Из электропогружных насосов для пескующих скважин может быть рекомендован насос ЭПЛ-6, а также эрлифты и вибрационные водоподъемники. Электропогружные насосы могут снабжаться электроэнергией от передвижных электростанций, технические характеристики которых приведены в табл. XI-12.

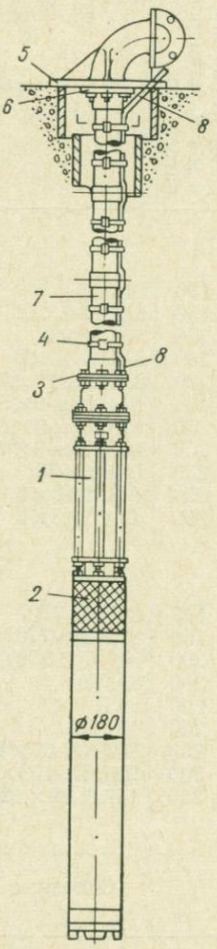


Рис. XI-12. Артезианский погружной насос.

1 — насос; *2* — сетчатый фильтр насоса; *3* — погружной электромотор; *4* — водоподъемная труба; *5* — опорная рама; *6* — верхний фланец нагнетательной трубы; *7* — хомутик для крепления электрокабеля; *8* — фланцевое соединение нагнетательного патрубка с водоподъемной трубкой.

Таблица XI-10

Артезианские погружные центробежные насосы

Диаметр скважины в месте установки насоса, *мм*	Марка насоса	Наружный диаметр, *мм*		Подача, $м^3/ч$	Число рабочих колес, шт.	Развиваемый напор, *м*	Мощность двигателя, *квт*	Вес насоса, *кг*	Зазор на сторону, *мм*
		насоса	напорного патрубка						
При динамическом уровне 6—50 *м*									
125	ЭПЛ-4	109	—	12	—	40	2,8	—	8
150	Электропогружной 6АП-9×6	135	50	5—10	6	52,5—33	2,5	435	50
150	6АПВ-9×7	140	40	5—10	7	52,5—33,5	—	80,8	50

Продолжение табл. XI-10

Диаметр скважины в месте установки насоса, *мм*	Марка насоса	Наружный диаметр, *мм*		Подача, $м^3/ч$	Число рабочих колес, шт.	Развиваемый напор, *м*	Мощность двигателя, *квт*	Вес насоса, *кг*	Зазор на сторону, *мм*
		насоса	напорного патрубка						
	При динамическом уровне 50—100 *м*								
150	ЭПЛ-6	143	60	14	8	70—60	8	910	40
150	6АПВ-9×12	140	40	5—10	12	90—52,5	2,5	88,3	50
200	8АП-9×6	185	75	14—29	6	108—55	12	1315	50
200	8АПВ-10×6	190	—	14—30	6	105—72	12	235	—
200	8АПВм-10×7	190	—	14—30	7	125—83	12	238	—
250	10АПВм-9×5	228	—	30—70	5	131—50	—	407	—
250	10АПВм-9×6	228	—	30—70	6	153—57,5	35	411	—
250	10АПВм-9×7	228	—	30—70	7	183—70	35	415	—
250	ПМНЛ-30	182	—	30	—	80	—	—	35
250	10АП-18×6	205	100	30—70	6	118—70	35	2225	75
300	12АП-18×2	285	150	115—215	2	79—49,5	60	2985	75
	При динамическом уровне больше 100 *м*								
125	ЭН 40/700	109	—	1,7	—	720	8,6	—	—
150	ЭН 200/770	135	—	10,4	—	770	32	—	—
200	ЭН 700/300	185	—	29,1	—	300	46,5	—	—
200	8АПВ	185	—	12	—	120	12	—	10
200	8АП-9×6	185	75	14—29	6	108—55	12	1315	50
250	10АПВ	220	—	30	—	160	35	—	15
250	ПМНЛ-60×150	235	—	30	—	150	45	—	7
300	ПМНЛ-100×100	285	—	100	—	100	45	—	7
350	14АП-18×12	250	125	100—130	12	305—260	147	1898	100

Таблица XI-11

Основные технические данные погружных центробежных насосов, разработанные ОКБ

Марка насоса	Минимальный диаметр скважины, дюймы	Оптимальные		Тип электродвигателя	Мощность электродвигателя, *квт*	Напряжение, *в*
		Подача, $м^3/ч$	Напор, *м*			
ЭЦНВ4-2-25	4	2	25	ПЭДГ-0,37-92	0,37	220
ЭЦНВ4-2-40	4	2	40	ПЭДГ-0,75-92	0,75	220
ЭЦНВ4-1,6-65	4	1,6	65	ПЭДВ-0,75-92	0,75	220
ЭЦНВ5-5,4-90	5	5,4	90	ПЭДВ-3-114	3	380
ЭЦНВ6-4,5-180	6	4,5	180	ПЭДВ-4,5-140	4,5	380
ЭЦНВ6-4,5-90	6	4,5	90	МАПЗ-14	2,5	380
ЭЦНВ6-7,2-45	6	7,2	45	МАПЗ-14	2,5	380
ЭЦНВ6-7,2-75	6	7,2	75	ПЭДВ4,5-140	4,5	380
ЭЦНВ6-7,2-120	6	7,2	120	ПЭДВ4,5-140	4,5	380
ЭЦНВ6-10-140	6	10	140	ПЭДВ8-140	8,0	380
ЭЦНВ6-10-185	6	10	185	ПЭДВ8-140	8,0	380
ЭЦНВ8-17-150	8	17	150	ПЭДВ12-180	12,0	380
ЭЦНВ8-17-90	8	17	90	ПЭДВ12-180	12,0	380
ЭЦНВ10-120-60	10	120	60	ПЭДВ32-230	32	380
ЭЦНВ12-255-30	12	255	30	ПЭДВ32-230	32	380

Таблица XI-12

Технические характеристики передвижных электростанций, пригодных для питания электродвигателей погружных насосов

Типы электростанций	Марка двигателя	Мощность двигателя, *л. с.*	Число оборотов двигателя, *об/мин*	Вид топлива	Расход топлива, $\frac{г}{л.с \cdot ч}$	Марка генератора	Мощность генератора, *квт*	Сила тока, *а*	Вес агрегата, *кг*	Вид прицепа
Тамбовского механического завода	НД-9	9	750	Нефть	320	СГ 6,5/4	6	—	1500	Двигатель и генератор монтируются на одной раме
АП-10	ГАЗ-МКБ	22	1500	Бензин	330	СГС-12,5	12,5	—	2500	То же
ПЭС-14ВМ	ГАЗ-МКА	22	1500	»	625	40—7	14	33,7	1650	Вагончик или будка на двухосной тележке или на санях
ПЭС-15	ГАЗ-МКА	22	1500	»	715	СА-72/4	15	37,6	1650	То же
ЖЭС-30	Д-40-Р	40	1000	Дизельное	240	СГ-35/6	35	50,5	2480	»
ЖЭС-60	КДМ-46	80	1000	»	220	СГ-60/6	57	83	2270	»
ПЭС-60	1-Д-6	85	1000	»	220	З-51/6	57	94	—	»
ПЭС-100	Д-6	150	1500	»	250	—	—	—	—	»
ДЭС-200	1-Д-12	300	1500	»	200	СД-128-4	200	—	5600	Вагончик на трехосной тележке или на санях

ГЛАВА XII

ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

§ 1. Приборы для измерения уровня воды в скважинах, шурфах и колодцах

Для измерения уровня воды в выработках применяются тесмяные, стальные рулетки и рулетки с метрированным проводом или стальным канатиком, соединенные с различными типами наконечников — хлопушками, свистками и т. п.

На рис. XII-1 представлена *рулетка конструкции Е. В. Симонова.* Стальной провод *4* в хлорвиниловой изоляции длиной 50 или 100 *м* размечен бирками *8* с цифрами, обозначающими длину его в метрах. Полуметры отмечены укороченными бирками *9*. При опускании наконечника в скважину остановка вращения барабана производится нажимом на тормозную пластинку.

Гидрогеологическая рулетка конструкции Б. П. Остроумова состоит из трех основных частей: корпуса, барабана и стального канатика (рис. XII-2).

Корпус рулетки представляет собой рамку *1* с кронштейном *2* и ручкой *3*. На кронштейне имеется стандартная метровая рулетка *4*, направляющий ролик *5* и указатель отсчета *6*. Нижняя часть кронштейна имеет две отогнутые вниз лапки *7*. Лента рулетки разделена на сантиметры. Конец ленты снабжен петлей *8*.

Внутри рамки помещен барабан *9* с ручкой *10* и стальным оцинкованным канатиком *11*. Один конец канатика присоединен к барабану, второй снабжен карабинчиком *12*.

Канатик разделен бирками *13* с обозначением на них длины его в метрах. Для регулирования скорости разматывания канатика рулетка имеет тормоз *14*. Длина канатика 100 *м*; диаметр — 0,8 *мм*.

Хлопушка-глухарь изготовляется обычно на месте работы из обрезка трубы. Сверху в последний забивается деревянная пропарафинированная пробка с ушком в центре. Пригодна для измерений в шурфах и колодцах при глубине уровня до 15—20 *м* *, а в скважинах — при значительно большей его глубине. Хлопушка-глухарь точеная имеет снизу полусферическую выточку. Вес хлопушки 0,5 *кг*.

Хлопушка со свистком дает достаточно четкий сигнал — свист в широких выработках при глубине уровня до 40—50 *м* (рис. XII-3). Для получения сигнала вполне достаточно при быстром опускании погружения хлопушки в воду на 2—3 *мм*. Вес хлопушки со свистком 0,4 *кг*.

Свисток с тарелочками дает четкий сигнал при погружении в воду независимо от горизонтальных размеров выработки (рис. XII-4).

---

* При большей глубине звук (хлопок) рассеивается.

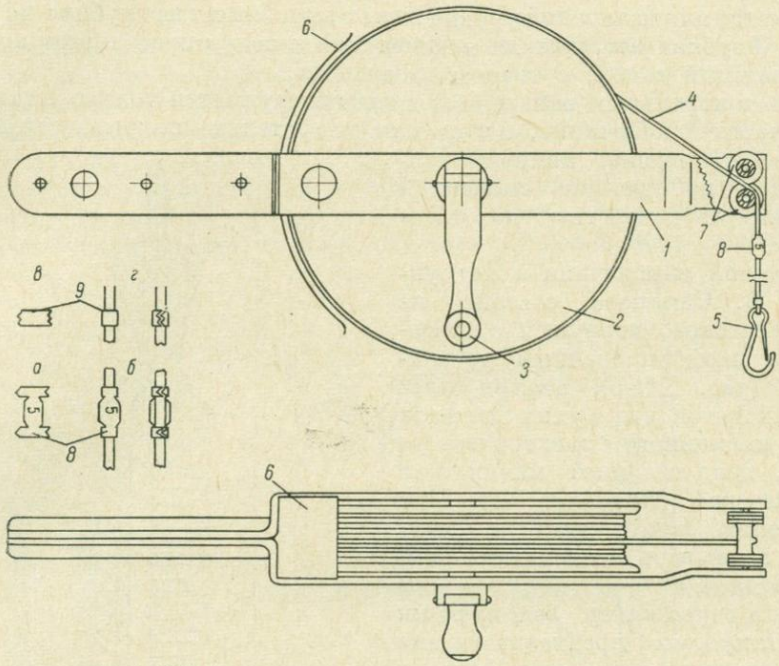


Рис. XII-1. Рулетка конструкции Е. В. Симонова.

1 — вилка; *2* — барабан; *3* — ручка барабана; *4* — провод; *5* — карабинчик; *6* — тормозная пластинка; *7* — ролики; *8* — бирка метровая (*а* — заготовка; *б* — закрепленная на проводе); *9* — укороченная бирка (*в* — заготовка; *г* — закрепленная на проводе).

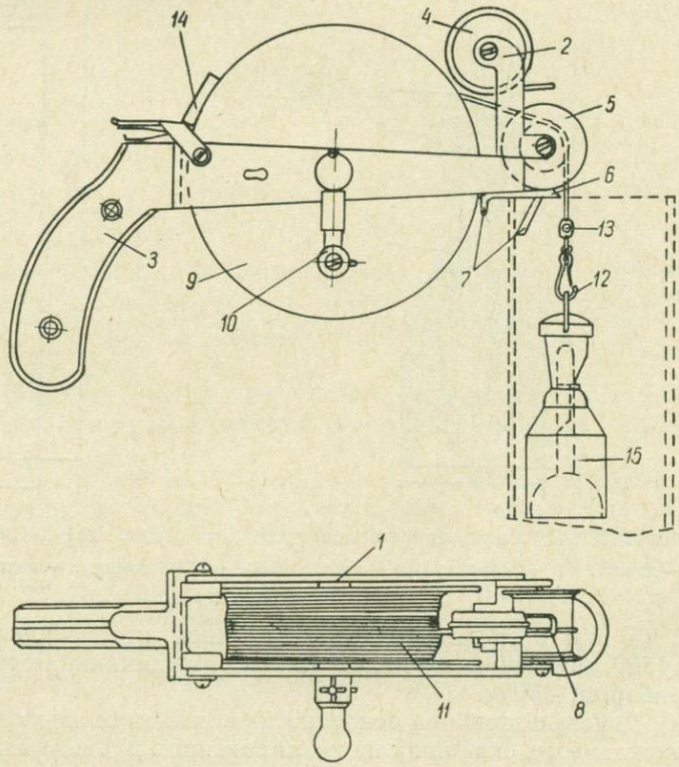


Рис. XII-2. Гидрогеологическая рулетка конструкции Б. П. Остроумова.

Применяется для измерений уровня воды в выработках на глубине до 100 *м* и более. Глубина погружения наконечника в воду определяется по тарелочке, залитой водой, с точностью до 1 *см*.

При контрольных измерениях в воду погружается только цилиндрическая часть наконечника, которая предварительно покрывается мелом. Глубина погружения цилиндра определяется по границе смоченной части его с точностью до 1,5—2,0 *мм*.

Световой наконечник конструкции Е. В. Симонова состоит из цилиндрического корпуса *1* с крышкой *2* и перфорированным донышком *3* (рис. XII-5). Внутри корпуса находятся два сухих элемента *4* от карманного электрического фонаря, целлулоидный мячик *5* и электрическая лампочка *6*. При погружении наконечника в воду мячик всплывает и включает лампочку.

Электроуровнемер конструкции Б. П. Остроумова предназначен для замера динамического уровня воды при откачке в зазоре между обсадными и насосными трубами не менее

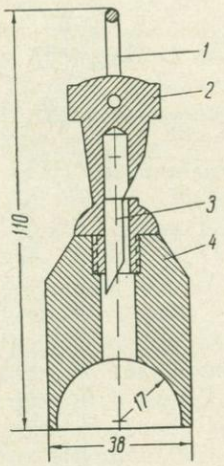


Рис. XII-3. Хлопушка со свистком.

1 — дужка; *2* — головка; *3* — язычок; *4* — корпус.

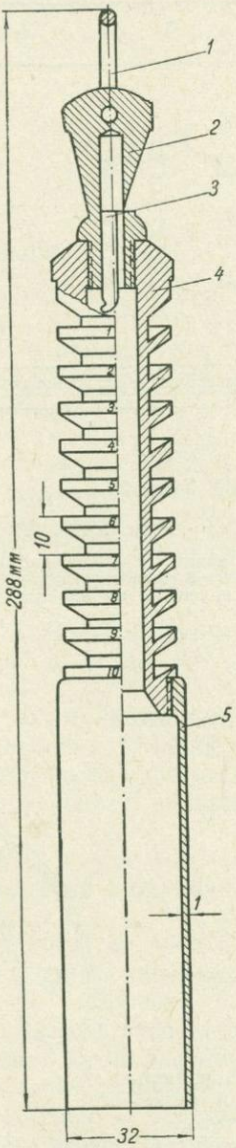


Рис. XII-4. Свисток с тарелочками.

1 — дужка; *2* — головка; *3* — язычок; *4* — корпус; *5* — цилиндр.

12 *мм* или в специально установленной для этой цели пьезометрической трубке диаметром не менее 15 *мм*. Максимальная глубина, измеряемая прибором, 100 *м*.

Действие прибора основано на замыкании электрической цепи между опускаемым в скважину на изолированном проводе наконечником и водой,

определяемом по отклонению стрелки гальванометра * (рис. XII-6). Глубина, на которой произошло замыкание цепи, определяется по длине изолированного провода, спущенного в скважину.

Для установки электроуровнемера необходимо около скважины сделать подставку. Установив прибор, присоединяют к нему рейку. Другой конец рейки закрепляется на обсадной трубе при помощи головки и зажимного винта. Последний должен быть достаточно сильно завинчен для обеспечения надежного контакта электрической цепи прибора с об-

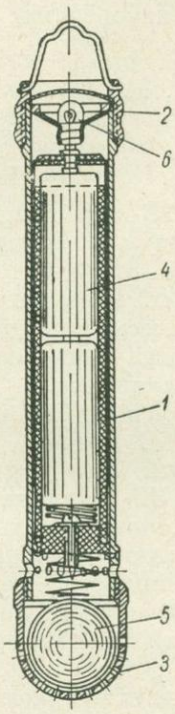


Рис. XII-5. Световой наконечник Е. В. Симонова.

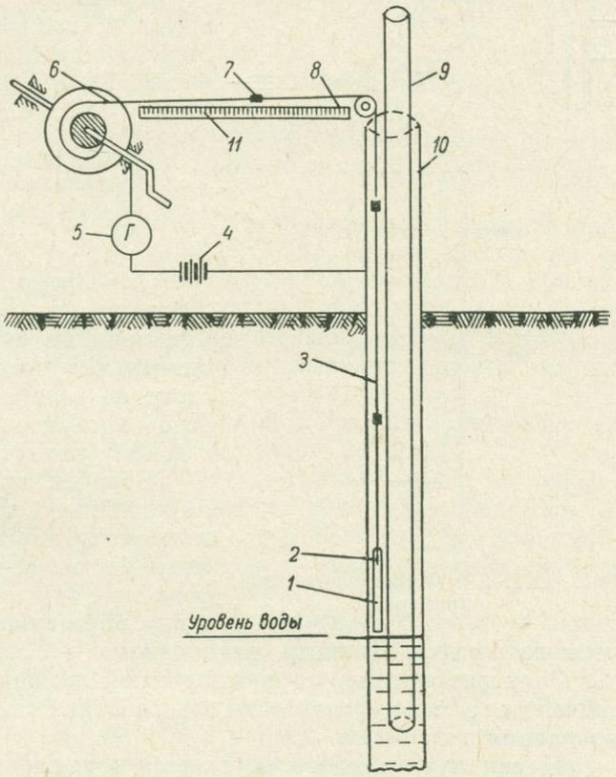


Рис. XII-6. Принципиальная схема электроуровнемера.

1 — наконечник; *2* — электрод; *3* — провод; *4* — батарейка; *5* — гальванометр; *6* — барабан; *7* — бирка; *8* — рейка; *9* — насосные трубы; *10* — обсадные трубы; *11* — шкала.

садной трубой. Насосные трубы для увеличения межтрубного зазора должны быть предварительно сдвинуты в сторону наверху хомутом, на глубине — фонарями.

Затем наконечник осторожно опускают в зазор между трубами или в пьезометрическую трубку до момента отклонения стрелки гальванометра. Как только будет замечено отклонение стрелки гальванометра, следует немного приподнять наконечник и снова медленно опустить его, стремясь при этом уловить первоначальный момент отклонения стрелки. Как только будет достигнуто такое положение, наблюдатель рукой прижимает провод к рейке и делает отсчет. Целое число метров определяется по бирке, сантиметры — по шкале против середины бирки.

---

* В качестве гальванометра может быть использован микроамперметр типа ВИВ с пределом измерения 500 *мка* или миллиамперметр типа М-61 с пределом измерения 5 *ма*.

Для замера динамического уровня воды в водопонизительных скважинах, оборудованных насосами типа АТН и другими, прибор подключается к станине насоса отдельным приводом. Один конец этого провода присоединяется к клемме прибора, а второй — прикрепляется к станине насоса. Головка рейки прибора должна быть расположена над отверстием в станине, через которое наконечник опускается в зазор между трубами или над верхним обрезом пьезометрической трубки.

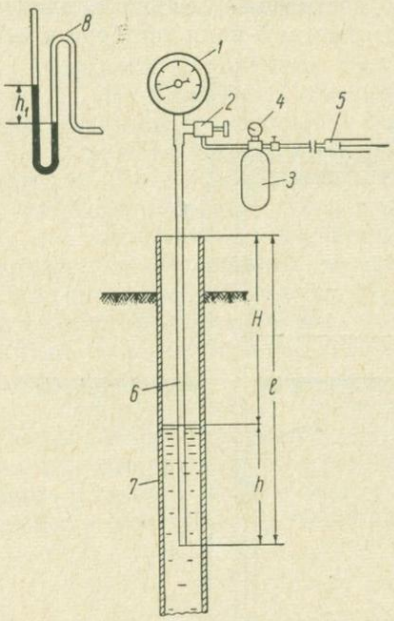


Рис. XII-7. Манометрический прибор.

Уровнемер УЭ-50 по принципу действия аналогичен электроуровнемеру. Максимальная глубина, измеряемая прибором, 50 *м*, диаметр наконечника (датчика) — 12 *мм*.

Длина прибора, *мм*	215
Ширина, *мм*	80
Высота, *мм*	135
Вес, *кг*	4,5

Электроуровнемер ЭВ-1 по принципу действия аналогичен двум предыдущим приборам и отличается от них только сигнальным устройством. Последнее состоит из реле и электрической лампочки. При контакте электрода наконечника с водой реле включает лампочку.

Барабан прибора вмещает 200 *м* изолированного провода. В модели ЭВ-1 к проводу через каждый метр прикреплены бирки. В модели ЭВ-1м длина провода при опускании наконечника в скважину определяется по счетчику оборотов мерного ролика. Диаметр наконечника — 22 *мм*; вес прибора — 4,6 *кг*.

Электроуровнемер с электрической лампочкой или звонком предназначен для замера уровня воды в выработках вне зависимости от материала крепления выработки.

Наконечник прибора спускается в выработку на двухжильном проводе, соединенном в надземной части прибора с батарейкой, электрическим звонком или лампочкой. При погружении наконечника в воду поплавок замыкает цепь, что определяется по звонку или зажиганию лампочки.

Манометрический прибор (рис. XII-7) состоит из пружинного манометра *1*, вентиля *2*, баллона для сжатого воздуха *3* с манометром *4*, ручного насоса *5* и металлической или резиновой толстостенной трубки *6*, обсадной трубы *7* и стеклянной трубки *8*.

Глубина уровня воды в скважине H от верха обсадной трубы определяется по формуле

$$H = l - h, \qquad \text{(XII-1)}$$

где l — длина трубки, опущенной в скважину, считая от верха обсадной трубы, *м*;

h — показание манометра в метрах водяного столба, равное высоте столба воды, считая от нижнего конца трубки.

Перед отсчетом по манометру необходимо вытеснить воду из трубки *6* нагнетанием воздуха в нее из баллона со сжатым воздухом или ручным насосом. Отсчет производится по максимальному отклонению стрелки манометра, соответствующему полному вытеснению воды из трубки.

Для обеспечения длительного срока работы манометра без снижения точности измерения следует выбирать прибор с таким расчетом, чтобы измеряемое давление не превышало 2/3 шкалы.

При наблюдениях за малыми изменениями уровня воды в скважине вместо пружинного манометра может быть установлена U-образная стеклянная трубка, заполненная водой или ртутью.

Величина h определяется по формуле

$$h = h_1\gamma, \qquad \text{(XII-2)}$$

где h_1 — разность высот уровней в трубке;

γ — удельный вес жидкости в трубке.

Определение разности высот уровней в трубке производится по шкале, установленной за трубкой.

При организации откачки необходимо предусмотреть возможность беспрепятственного измерения уровня воды в скважине электроуровнемером или манометрическим прибором.

В некоторых случаях в скважину опускается пьезометрическая трубка: а) когда минимально необходимый зазор между обсадными и насосными трубками не сохраняется (из-за кривизны скважины и других причин) на нужную глубину; б) когда опускание наконечника электроуровнемера может быть затруднего фланцами водоподъемных труб или кабелем, опущенным в скважину для соединения погружного мотор-насоса с источником энергии.

При откачке насосами типа АТН верхний конец пьезометрической трубки выводится наверх через отверстие в станине насоса.

Если откачка производится эрлифтом с использованием обсадных труб в качестве водоподъемных, пьезометрическая трубка устанавливается рядом с воздушной. При этом конец трубки опускается ниже форсунки не менее чем на 3—5 *м*. Наверху место выхода пьезометрической трубки из водоподъемной трубы уплотняется сальником.

Ленточный уровнемер конструкции Е. В. Симонова состоит из измерительного устройства и оголовка (рис. XII-8). В качестве корпуса прибора используется труба наблюдательной скважины и оголовок.

Измерительное устройство состоит из следующих частей: скобы *1*, ролика *2*, свободно вращающегося на оси, и мерной ленты *3* с сантиметровыми делениями. К одному концу ленты прикреплен противовес *4*, к другому — шпуля *5*. На шпулю намотана тонкая проволока *6*, к концу которой прикреплен поплавок *7* (бутылка с песком).

Корпус оголовка *8* представляет собой отрезок буровой трубы, в которой головками внутрь завернуты три болта *9*. Головки болтов заточены на конус и закалены. С внутренней стороны к корпусу оголовка приварена втулка *10*, в которой вращается ось *11* плоской крышки *12* оголовка. Крышка запирается болтом *13*. *14* — обсадная труба наблюдательной скважины.

Глубина уровня определяется по разности начального и последующего отсчетов по ленте против стрелки, с добавлением поправки на расстояние от нулевого деления ленты до уровня воды в скважине.

Лимниграф конструкции Б. П. Остроумова предназначен для автоматической записи колебаний уровня воды в скважинах диаметром от 75 до 150 *мм* (рис. XII-9).

Регистрирующий механизм прибора приводится в движение поплавком *1*, уравновешенным противовесом *2*. Канатик *3*, связывающий поплавок с противовесом, огибает большой шкив *4*, направляющий ролик *5* и ролик противовеса. Свободная часть канатика наматывается на барабан лебедки *6*.

При колебании уровня воды в скважине канатик, перемещаемый поплавком, приводит во вращательное движение большой шкив и вместе с ним масштабный шкив *7*. Масштабный шкив при своем вращении, наматывая и разматывая тонкий тросик *8*, связывающий его с кареткой *9*, перемещает последнюю по направляющей стойке *10*. Движение каретки записывается пером *11* на ленте, закрепленной на барабане *12*. Барабан вращается заключенным в него часовым механизмом. В результате перемещения каретки и вращения барабана колебания уровня воды в скважине будут записаны на ленте непрерывной линией в масштабе 1 : 10.

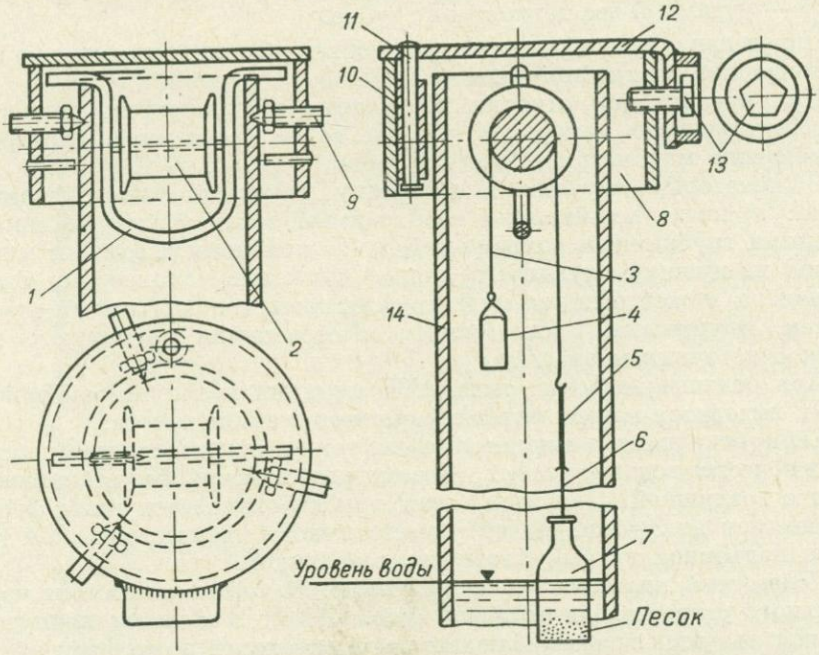


Рис. XII-8. Ленточный уровнемер конструкции Е. В. Симонова.

Для перевода механизма прибора на масштабы записи 1 : 20 и 1 : 40 тросик заменяется другим, удвоенной длины; один конец его крепится к масштабному шкиву, другой конец огибает ролик каретки и присоединяется к крючку *13*. При этом для масштаба записи 1 : 40 масштабный шкив заменяется другим, меньшего диаметра.

Максимальная амплитуда изменения уровня воды в скважине, записываемая прибором без перестановки каретки:

при масштабе записи 1 : 10	5 *м*
» » » 1 : 20	10 *м*
» » » 1 : 40	20 *м*

Скорость движения ленты 2 *мм* в час. Время полного оборота барабана 7 суток. Диаметр поплавка 65 *мм*. Длина канатика 100 *м*.

Погружной пьезограф ППИ-2 конструкции УФНИИ предназначен для наблюдений за уровнем подземных вод (рис. XII-10). Для этой цели пьезограф опускают в скважину на стальной проволоке диаметром 1,8—2,2 *мм* на глубину от 5 до 20 *м* ниже статического уровня воды в ней.

Основными частями пьезографа являются корпус прибора, поплавок и записывающее устройство.

Корпус прибора состоит из колпака *1* с ловильной головкой *9*, отшлифованного внутри цилиндра *4*, дополнительной камеры *6* и наконечника *7* с фильтром *8*. Колпак, цилиндр и камера герметично соединены между собой. Поплавок *5* металлический пустотелый соединен с трубчатым штоком *10*.

Записывающее устройство состоит из каретки со штифтом *2*, прикрепленной к штоку поплавка, и двух барабанов. Барабаны связаны

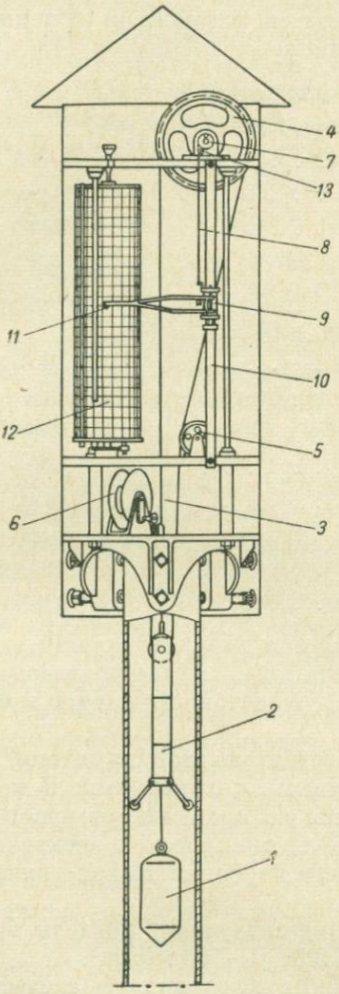


Рис. XII-9. Лимниграф конструкции Б. П. Остроумова.

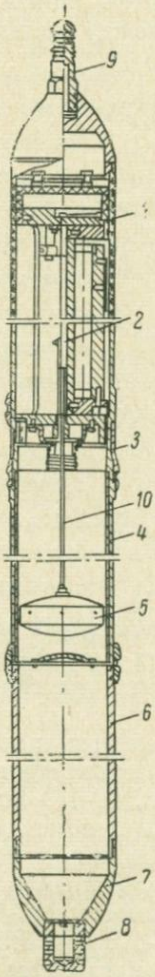


Рис. XII-10. Погружной пьезограф.

между собой лентой из меловой бумаги. Ведущий барабан вращается находящейся в нем пружиной и перематывает на себя бумажную ленту с ведомого барабана. Последний соединен с часовым механизмом, регулирующим скорость вращения ведомого барабана, а следовательно, и скорость движения ленты.

Штифт каретки записывает на ленте перемещение поплавка, вызванного изменением уровня воды в скважине. Второй штифт предназначен для записи на ленте нулевой линии, от которой определяют величину ординат перемещения поплавка.

Принцип действия пьезографа заключается в следующем. При спуске прибора в скважину на нужную глубину вода через фильтр *8* заполнит часть корпуса пьезографа.

Уровень в нем поднимется до уравновешивания наружного столба воды давлением сжатого воздуха внутри прибора. При повышении уровня воды в скважине уровень воды в приборе тоже поднимется, но в меньшей степени, так как подушка сжатого воздуха, находящаяся над поплавком, будет служить масштабным механизмом.

Масштаб записи может быть уменьшен установкой дополнительной камеры между цилиндром и наконечником.

Техническая характеристика

Пределы регистрации изменения уровня, *м*:	
без дополнительной камеры	0—10
с дополнительной камерой	0—28
Рабочий ход поплавка, *мм*	200
Масштаб записи по оси времени, *мм/ч*	3,5
Порог чувствительности, *см вод. ст.*	0,3
Максимальная продолжительность работы за один спуск, сутки	15
Наружный диаметр, *мм*	96
Длина, *мм*:	
без дополнительной камеры	850
с дополнительной камерой	1650
Вес, *кг*:	
без дополнительной камеры	7
с дополнительной камерой	12,5

Самопишущие манометры применяются для наблюдений за уровнем подземных вод в фонтанирующих скважинах. Для этой цели используются манометры двух типов: а) с винтовой трубчатой пружиной и б) с сильфоном.

Манометры самопишущие с винтовой трубчатой пружиной выпускаются отечественными заводами с различными механизмами. В манометрах МГ-410 и МГ-430 диаграмма приводится во вращение от часового механизма, а в манометрах МГ-610 и МГ-630 от синхронного электродвигателя СД-60. Питание электродвигателя от сети переменного тока напряжением 127 *в*, потребляемая мощность 13 *ва*.

Манометры МГ-410 изготовляются на следующие пределы измерения: 0—6; 0—10; 0—25; 0—40; 0—60; 0—100; 0—160 *кГ/см*^{2}.

Манометры самопишущие сильфонные выпускаются отечественными заводами на следующие пределы измерения: 0—0,3; 0—0,5; 0—0,8; 0—1,0; 0—1,6 *кГ/см*^{2}.

В качестве упругого элемента в этих манометрах применяется сильфонная (гофрированная цилиндрическая) коробка. Измеряемое давление через соединительный штуцер и капиллярную трубку подводится к коробке, в которой расположен сильфон. Повышение давления приводит к сжатию сильфона. Вызванное повышением давления изменение высоты сильфона передается через систему рычагов записывающему механизму. Запись изменения давления производится на круглом диаграммном бланке, разграфленном так же, как и для манометров МГ-410. Допускаемая погрешность сильфонных манометров МС-410 (с часовым механизмом) и МС-610 (с синхронным двигателем) $\pm 1{,}5\%$.

§ 2. Приборы и приспособления для определения расхода воды

Объемный способ замера расхода воды применяется при расходах, обычно не превышающих 5—10 *л/сек*. При этом расход воды до 5—6 *л/сек* измеряется переносными мерными сосудами, для измерения больших расходов применяются неподвижно установленные баки с донным клапаном для слива воды.

При измерении расхода мерный сосуд подставляется под струю воды и заполняется до верха или до метки на внутренней поверхности стенки сосуда. В бак вода направляется перекидным лотком или другим приспособлением. Время наполнения сосуда определяется по секундомеру.

Расход определяется по формуле

$$Q = \frac{W}{t}, \qquad \text{(XII-3)}$$

где W — объем сосуда;

t — время его наполнения.

Объем мерного сосуда или бака устанавливается в зависимости от величины расхода и требуемой точности измерения. Обычно рекомендуется применять сосуды и баки объемом не менее $20Q$ *л/сек*, а для более точных измерений — до $40Q$ *л/сек* [Попов, 1955; Быков, 1949; Соломенцев, 1950].

Измерения расхода воды производятся не менее трех раз. Разница во времени наполнения сосуда не должна превышать 2%.

Для расчета расхода принимается среднее время по трем показаниям секундомера.

Водосчетчики. Для определения расхода воды в гидрогеологической практике применяются водосчетчики (водомеры) скоростного типа: а) с вертикальной крыльчаткой и б) с винтовой вертушкой.

Водосчетчики устанавливаются с таким расчетом, чтобы вода поступающая в прибор, находилась под давлением. При этом протекающая через водосчетчик вода приводит во вращение крыльчатку или вертушку, установленную в корпусе прибора с угловой скоростью пропорционально скорости потока. Число оборотов крыльчатки или вертушки суммируется счетным механизмом прибора. Счетчик дает показания в единицах объема.

В качестве основных характеристик водосчетчиков приняты следующие параметры:

1) калибр в миллиметрах — величина диаметра условного прохода входного патрубка, равная диаметру входного отверстия;

2) характерный расход — количество воды в $м^3$, которое проходит через водосчетчик в один час при установившемся потоке и потере давления в приборе, равной 10 *м вод. ст.*;

3) верхний предел измерения — наибольший кратковременный расход, допустимый в течение одного часа;

4) нормальный эксплуатационный расход — средний часовой расход, обеспечивающий длительную работу водосчетчика, с погрешностью не выше допустимой;

5) нижний предел измерения — наименьший расход, при котором водосчетчик дает показания с погрешностью, не превышающей величину, установленную нормами;

6) порог чувствительности — наименьший расход, при котором водосчетчик начинает давать показания с любой погрешностью, как бы велика она ни была.

Таблица XII-1

Водосчетчики с вертикальной крыльчаткой

Калибр водосчетчика, *мм*	Нормальный расход, $м^3/ч$	Нижний предел измерения, $м^3/ч$	Верхний предел измерения, $м^3/ч$
15	0,25	0,10	1,5
20	0,42	0,15	2,5
25	0,58	0,18	3,5
30	0,83	0,25	5,0
40	1,67	0,50	10,0

Данные, которыми можно руководствоваться при выборе водосчетчиков с вертикальной крыльчаткой, приведены, по А. Н. Павловскому (1951), в табл. XII-1, а с винтовой вертушкой — в табл. XII-2. Водосчетчики устанавливаются на горизонтальном прямолинейном участке трубопровода длиной 8—10D перед прибором и 6—8D за прибором, где D — диаметр трубопровода. Допускается установка водосчетчиков с винтовой вертушкой в вертикальном и наклонном положениях при условии подачи воды снизу вверх.

Таблица XII-2

Водосчетчики с винтовой вертушкой

Калибр водосчетчика, *мм*	Допустимая нагрузка, $м^3/ч$		Нижний предел измерения, $м^3/ч$	Верхний предел измерения, $м^3/ч$	Диаметр трубопровода, *мм*
	постоянная	при работе 10 ч в сутки			
50	12	16	3	22	50—100
80	45	55	6	80	76—150
100	75	90	8	140	100—200
150	160	200	12	320	150—300
200	265	330	18	550	200—350
250	410	525	32	820	250—400
300	600	750	60	1300	300—500

Направление потока должно совпадать с указанием стрелки, отлитой на корпусе. При работе прибора на слив воды к сливному концу трубопровода присоединяется колено, чтобы прибор всегда работал, полностью заполненным водой.

Для нормальной работы водосчетчика проходящая через прибор вода не должна содержать взвешенных частиц (песка, мути, волокон и т. д.). Недопустима подача воды толчками.

Допустимые погрешности водосчетчиков при соблюдении правил установки в эксплуатации их установлены в ± 2—3%.

Концевая диафрагма с пьезометрической трубкой применяется для определения расхода при откачке воды из скважин центробежными, винтовыми и другими насосами, обеспечивающими равномерную подачу воды (рис. XII-11).

Диафрагма *1*, представляющая собой бронзовый диск с круглым отверстием в центре, закрепляется кольцом *2* на конце прямого участка сливной трубы *3*. Фаска края отверстия должна быть обращена в сторону истечения струи.

Труба должна быть установлена строго горизонтально. На расстоянии 600 *мм* от конца трубы к стенке ее приваривается угольник *4* так, чтобы центр входного отверстия его был расположен в горизонтальной плоскости, проходящей через ось трубы.

В угольник ввинчен штуцер *5*, на который надета резиновая трубка *6*, имеющая на другом конце стеклянную трубку *7*. Рядом с угольником к трубке приваривается стойка *8* с держателем *9* резиновой трубки и линейкой *10*. Цена делений линейки 1 *мм*.

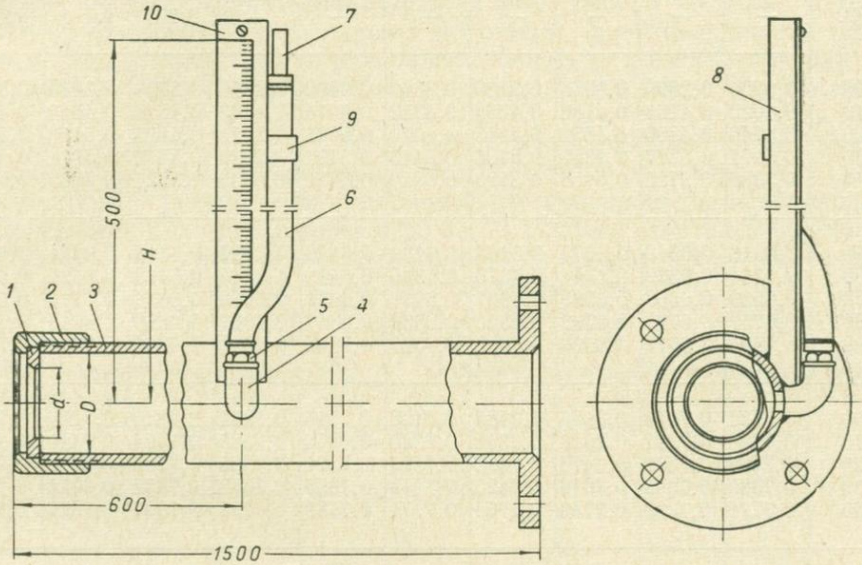


Рис. XII-11. Сливная труба с концевой диафрагмой и пьезометрической трубкой.

Расход воды определяется по формуле

$$Q = 12\,528 m d^2 \sqrt{H},\ м^3/ч, \qquad \text{(XII-4)}$$

где d — диаметр отверстия диафрагмы, *м*;

H — замеренная пьезометрической трубкой величина напора в трубе, *м*;

m — коэффициент расхода диафрагмы, соответствующий отношению $\frac{d}{D}$ (берется из табл. XII-3 *), где D — внутренний диаметр сливной трубы, *м*.

Для определения величины напора H в трубе (рис. XII-11) резиновая трубка вынимается из держателя, прикладывается к линейке и медленно опускается до появления воды в стеклянной трубке. Положение уровня в стеклянной трубке, отмеченное на линейке, определит величину H.

Если уровень воды в стеклянной трубке опустится ниже 30 *мм* над верхом сливной трубы, то необходимо установленную диафрагму заменить другой, меньшего диаметра.

Водосливы. Для измерений расхода воды источников и малых водотоков применяются незатопленные водосливы с тонкой вертикальной

* Винтовой артезианский насос ВАН-7, Углетехиздат, 1952.

Таблица XII-3

Коэффициент расхода диафрагмы

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Величины отношений $d : D$									
0,590	—	—	—	—	—	—	—	0,173	0,217	0,247
0,600	0,2700	0,2890	0,3060	0,3220	0,3360	0,3490	0,3610	0,3720	0,3820	0,3920
0,610	0,4020	0,4103	0,4186	0,4266	0,4342	0,4414	0,4483	0,4549	0,4614	0,4678
0,620	0,4740	0,4800	0,4858	0,4915	0,4970	0,5023	0,5075	0,5126	0,5176	0,5224
0,630	0,5271	0,5317	0,5362	0,5406	0,5449	0,5491	0,5532	0,5572	0,5611	0,5649
0,640	0,5686	0,5722	0,5758	0,5793	0,5827	0,5860	0,5892	0,5924	0,5955	0,5985
0,650	0,6016	0,6046	0,6075	0,6104	0,6132	0,6159	0,6187	0,6214	0,6241	0,6268
0,660	0,6294	0,6319	0,6344	0,6370	0,6395	0,6419	0,6444	0,6468	0,6492	0,6515
0,670	0,6539	0,6562	0,6585	0,6607	0,6629	0,6651	0,6672	0,6694	0,6715	0,6736
0,680	0,6757	0,6777	0,6798	0,6818	0,6838	0,6857	0,6877	0,6896	0,6915	0,6935
0,690	0,6954	0,6972	0,6990	0,7009	0,7027	0,7045	0,7062	0,7080	0,7097	0,7114
0,700	0,7131	0,7148	0,7165	0,7182	0,7198	0,7215	0,7232	0,7248	0,7264	0,7280
0,710	0,7296	0,7312	0,7328	0,7343	0,7359	0,7374	0,7389	0,7404	0,7419	0,7433
0,720	0,7448	0,7463	0,7478	0,7492	0,7507	0,7521	0,7535	0,7549	0,7562	0,7576
0,730	0,7589	0,7603	0,7616	0,7629	0,7643	0,7656	0,7669	0,7682	0,7695	0,7708
0,740	0,7721	0,7733	0,7746	0,7758	0,7771	0,7783	0,7795	0,7807	0,7819	0,7831
0,750	0,7842	0,7854	0,7865	0,7877	0,7888	0,7900	0,7911	0,7922	0,7932	0,7943
0,760	0,7953	0,7964	0,7975	0,7985	0,7996	0,8006	0,8017	0,8027	0,8037	0,8047
0,770	0,8056	0,8066	0,8076	0,8086	0,8095	0,8105	0,8114	0,8124	0,8133	0,8142
0,780	0,8152	0,8161	0,8170	0,8179	0,8187	0,8196	0,8204	0,8213	0,8221	0,8230
0,790	0,8238	0,8246	0,8254	0,8263	0,8271	0,8279	0,8286	0,8294	0,8302	0,8309
0,800	0,8317	0,8325	0,8332	0,8340	0,8347	0,8355	0,8362	0,8369	0,8377	0,8384

Примечание. В таблице приведены отношения диаметров с точностью до 0,001. При этом десятые и сотые доли m берут из первой вертикальной графы, а тысячные доли m — из верхней горизонтальной графы.

стенкой. Эти водосливы позволяют определять расход воды с высокой точностью при соблюдении следующих условий:

1) стенка водослива должна быть установлена строго вертикально и перпендикулярно к общему направлению течения потока перед водосливом. Ось потока должна находиться в плоскости симметрии выреза водослива;

2) уровень воды за водосливом под струей переливающейся воды должен быть всегда ниже ребра водослива;

3) под струю должен быть всегда обеспечен свободный доступ воздуха (совершенный водослив);

4) края выреза в стенке водослива должны быть не толще 1 *мм*, причем полученная при заточке краев под углом 45° фаска должна быть обращена в сторону падения струи;

5) водомерная рейка, самописец расхода или напора должны располагаться выше водослива в плоскости его симметрии на расстоянии, четы-

рехкратном величине наибольшего напора. Нулевое деление рейки должно находиться точно на одной отметке с ребром (или вершиной угла треугольного выреза) водослива;

6) перед водосливом не должны скапливаться наносы, значительно снижающие точность определения расхода воды.

Водослив Базена (рис. XII-12). Вода в водосливе переливается через стенку с острым ребром без бокового сжатия струи. Водослив устанавливается перпендикулярно оси водоподводящего канала прямоугольного сечения. Длина канала должна быть равна 7—8 $H_{макс}$, а расстояние от входного сечения канала до стенки водослива должно быть не менее $5H_{макс}$, где $H_{макс}$ — наибольший напор. Стенки канала должны быть параллельными, вертикальными и плоскими, дно — горизонтальным.

Ребро водослива должно быть строго горизонтальным, иметь длину не менее 0,25 *м* и возвышаться над дном канала на величину $H_{макс}$, но не менее 0,2 *м*. Уровень воды в нижнем бьефе при пропуске наибольшего расхода должен быть по крайней мере на 10 *см* ниже отметки ребра водослива. Воздух под струю воды подводится через отверстия в обеих стенках канала, диаметр которых должен быть не менее 5 *см*.

Наименьший напор рекомендуется не менее 0,05 *м*, наибольший — до 1,25 *м*.

При точном измерении напора ошибка определения расхода воды этим водосливом составляет около 1%.

Расход определяется по формуле

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2}, \qquad \text{(XII-5)}$$

где Q — расход, *м*³/*сек*;

m — коэффициент расхода $m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}0027}{H}\right)\left[1 + 0{,}55\frac{H^2}{(H+p)^2}\right]$;

b — длина ребра водослива, *м*;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м*/*сек*²;

H — напор, *м*;

p — высота ребра водослива, *м*.

Водослив Базена — Эгли устанавливается при выходе воды из бассейна. Вода переливается через ребро водослива с боковым сжатием струи. Основные размеры водослива, в зависимости от величины наибольшего напора, т. е. $H_{макс}$, указаны на рис. XII-13.

Вырез в стенке водослива делается прямоугольной формы. Ребро водослива должно быть установлено строго горизонтально и выше дна бассейна на величину $H_{макс}$, но не менее 0,2 *м*.

Наименьший напор, обеспечивающий достаточно точное определение расхода воды, должен быть не менее 0,05 *м*, наибольший не более 1,25 *м*. Ошибка определения расхода воды составляет 1—2%.

Расход воды, протекающей через этот водослив, определяется по формуле (XII-5).

Здесь

$$m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}0027}{H} - 0{,}03\frac{B-b}{B}\right)\left[1 + 0{,}55\frac{b^2}{B^2}\cdot\frac{H^2}{(H+p)^2}\right], \qquad \text{(XII-5а)}$$

где B — ширина бассейна, *м*. Остальные обозначения те же, что и в формуле (XII-5).

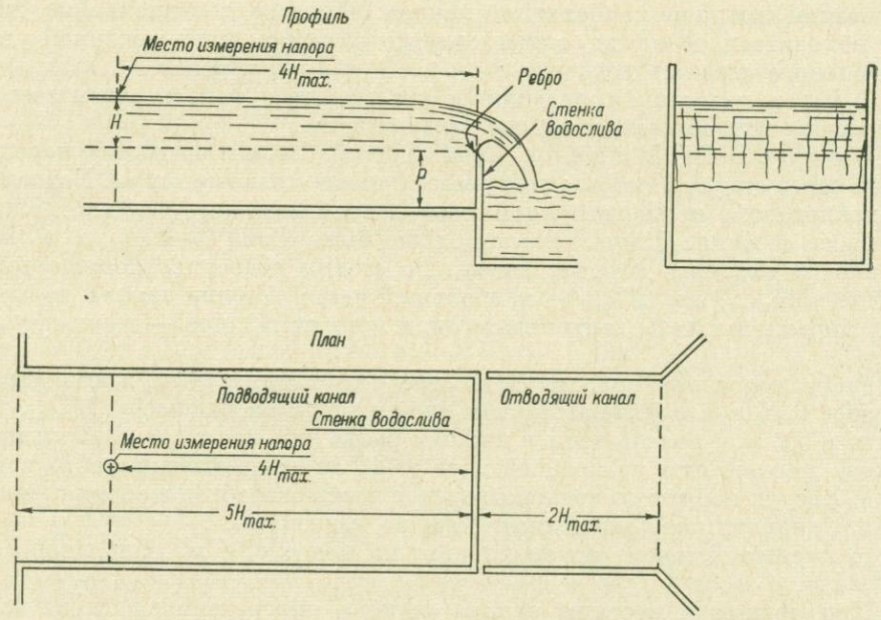


Рис. XII-12. Водослив Базена.

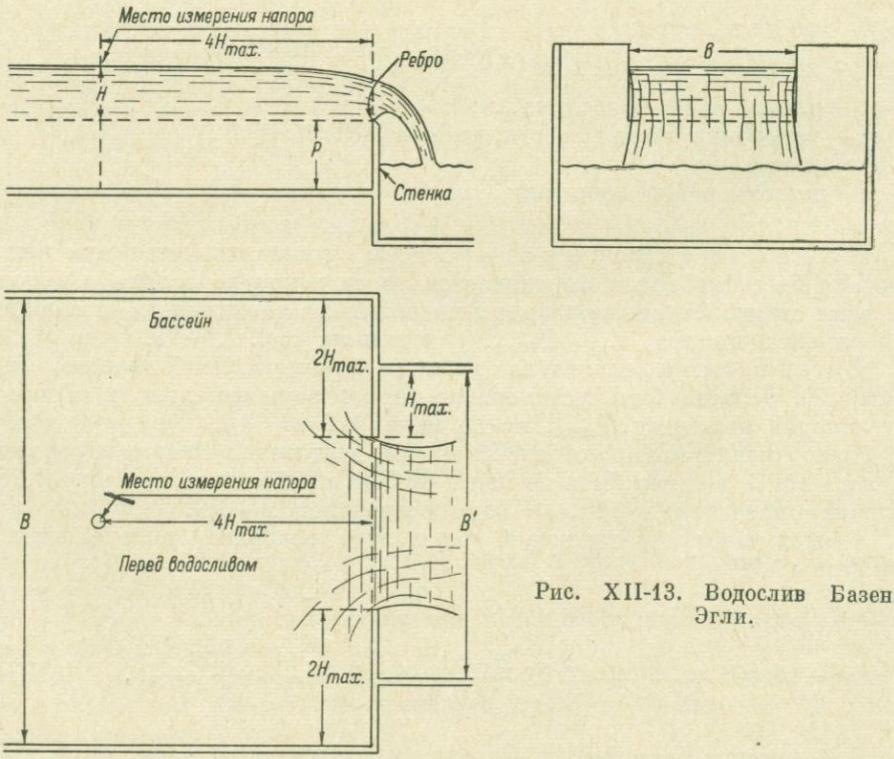


Рис. XII-13. Водослив Базена-Эгли.

Для ускорения расчетов значения m и $\sqrt{2g}H^{3/2}$ в формулах (XII-5) и (XII-5а) могут быть определены по специальным таблицам *.

Водослив Чипполетти устанавливается при выходе потока из бассейна, который должен быть не менее 2—3-кратной ширины струи переливающейся воды (рис. XII-14). Вырез водослива делается по контуру трапеции. Наклон боковых сторон равен 0,25 высоты трапеции ($\alpha = 75°30'$). Ребро водослива должно возвышаться над дном не меньше, чем на величину наибольшего напора, но не менее 0,2 *м*.

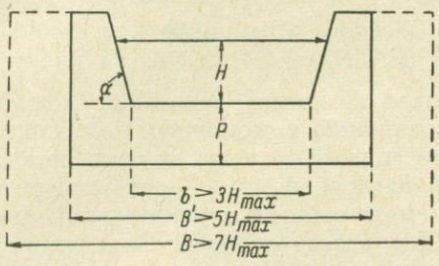


Рис. XII-14. Водослив Чипполетти.

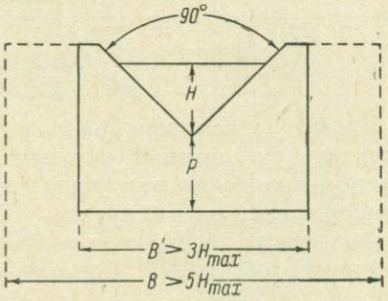


Рис. XII-15. Водослив Томсона.

Вода переливается через водослив с боковым сжатием струи. Точность измерения расхода воды этим водосливом ±2% при напорах от 0,05 и до 1,0 *м*. Расход воды определяется по формуле

$$Q = 1{,}86\, bH^{3/2}. \qquad \text{(XII-6)}$$

Водослив Томсона устанавливается при выходе потока воды из бассейна шириной не менее $5\,H_{макс}$ (рис. XII-15). Вырез водослива делается по контуру треугольника с углом, равным 90°. Вода переливается через вырез водослива с боковым сжатием струи. Ошибка определения расхода при напорах от 0,05 и до 1,0 *м* составляет около 2%. Расход воды определяется по формуле

$$Q = 1{,}4\, H^{5/2}, \qquad \text{(XII-7)}$$

где Q — расход воды, *м*³/*сек*;
H — высота напора, *м*.

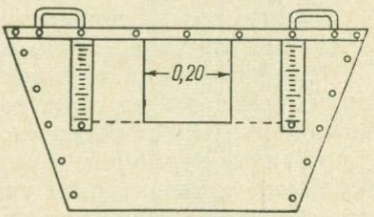


Рис. XII-16. Переносная водосливная рамка.

Переносная водосливная рамка предназначена для измерения расходов до 9 *л*/*сек* (рис. XII-16). Рамка изготовляется из листового железа толщиной 1,5—2 *мм*; для жесткости к ней приклепаны железные полосы. Прямоугольный вырез размером 0,2 × 0,2 *м* имеет острые края. Вдоль вертикальных ребер нанесены деления в миллиметрах, так что нуль шкалы совпадает с горизонтальным ребром выреза. Устанавливают водосливную рамку, вдавливая ее в русло ручья.

Правильность установки проверяется одинаковыми отсчетами по обеим шкалам.

---

* См. Справочное руководство гидрогеолога. 1 изд., Гостоптехиздат, 1959 г., стр. 696—700. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 6, ч. 2. Гидрометеоиздат, 1945.

Расход вычисляется по формуле

$$Q = mbH\sqrt{2gH}, \qquad \text{(XII-8)}$$

где Q — расход воды, *м³/сек*;
H — напор воды над ребром, *м*;
m — коэффициент расхода для длины ребра $b = 0{,}2$ *м*.

По опытам Лебро, при условии наличия перепада за нижним краем отверстия, существует следующая зависимость между H и m:

H	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,14	0,18	0,20
m	0,417	0,407	0,401	0,397	0,395	0,393	0,392	0,390

Кроме водосливов, расход источников и малых водотоков можно рассчитать по средней скорости, определяемой с помощью поплавков и гидрометрических вертушек (вертушки типа Ж-3, реже других систем и конструкций — Бахирева, ГГИ, «Малютка» и др.). Эти способы определения расхода воды подробно рассматриваются в специальной литературе [Быков, 1949; Доманевский, 1951; Чеботарев, 1953; Соломенцев, 1957].

§ 3. Приборы для измерения температуры воды

Измерение температуры подземных вод производится ленивыми термометрами и максимальными термометрами, заключенными в металлическую гильзу.

Ленивый термометр представляет собой специальный ртутный термометр, вмонтированный в металлическую оправу. Оправа конструкции ВИМС (рис. XII-17) состоит из головки *1*, двух трубок с прорезями, внутренней *2* и наружной *3*, и баллончика *4*. В верхней части баллончик имеет ряд отверстий, через которые в него поступает вода при опускании термометра в скважину.

Для измерения температуры воды термометр выдерживают в скважине на нужной глубине 10—15 *мин*.

При извлечении термометра из скважины вода, заполнившая баллончик, сохраняет показание термометра неизменным на некоторое время, необходимое для подъема его и производства отсчета.

Ленивый термометр в оправе конструкции б. ЦНИГРИ предназначен для замера температуры и уровня воды. В связи с последним дно баллончика имеет полусферическую выточку.

Инертность термометров в оправах разных конструкций, а также продолжительность выдерживания их в воде устанавливаются опытным путем при разных температурных перепадах с интервалом в 5 или 10° С.

Для увеличения инертности в баллончик закладывается вата, пробковые опилки, войлок и другие теплоизолирующие материалы.

Максимальный термометр, заключенный в металлическую гильзу, предназначен для измерения температуры воды в скважине на значительной глубине.

Обычно в металлическую гильзу (рис. XII-18) закладываются два максимальных термометра.

Перед опусканием в скважину гильза и термометры охлаждаются до температуры, несколько ниже предполагаемой на заданной глубине замера.

§ 4. Приборы для отбора проб воды из скважин

Простейший прибор для отбора проб воды состоит из бутылки с привязанным к ней грузом, пробки и прочного шнура. Вес груза должен быть достаточным для погружения пустой бутылки в воду. Шнур привязывают к пробке и бутылке, как указано на рис. XII-19.

Для отбора пробы воды бутылку, закрытую пробкой, опускают в скважину на нужную глубину и рывком выдергивают пробку из бутылки.

Прибор конструкции Е. В. Симонова * предназначен для отбора проб воды или глинистого раствора из скважин с любой заданной глубины (рис. XII-19).

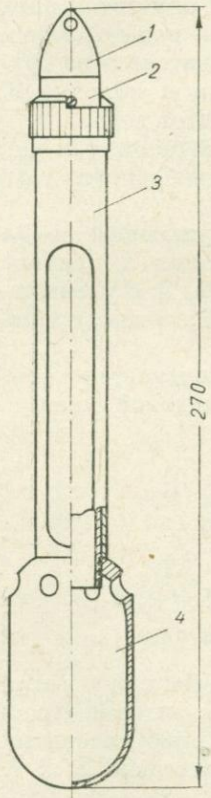


Рис. XII-17. Оправа конструкции ВИМС.



Рис. XII-18. Гильза для максимального термометра.

1 — головка; *2* — свинцовые прокладки; *3* — корпус гильзы; *4* — максимальный термометр.

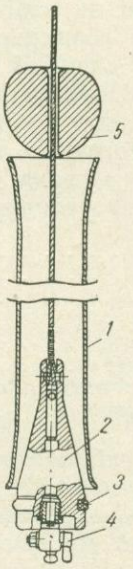


Рис. XII-19. Прибор Е. В. Симонова для отбора проб воды из скважин.

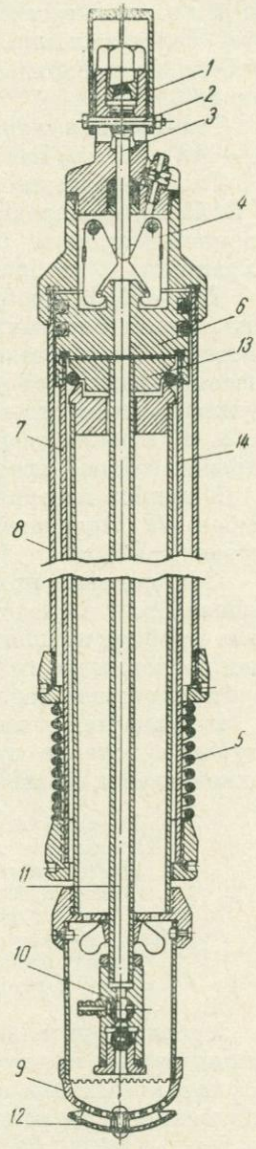


Рис. XII-20. Телескопический пробоотборник Е. В. Симонова.

* В последнее время конструкция прибора Е. В. Симоновым значительно улучшена. В модернизированный прибор «Водонос ВСЕГИНГЕО ГГП-1а» включены: стойка с направляющим роликом, лебедка с тросом длиной 80—100 *м* и др. дополнения. Подробнее см. В о л о д ь к о И. Ф. Современная техника при проведении откачек. Сб. ВСЕГИНГЕО. Госгеолиздат, 1963.

Для отбора пробы сначала на заданную глубину на тросе опускается груз *2*, а затем по тросу спускается цилиндр *1*, который своей расширенной частью плотно надевается на уплотнительное кольцо *3*.

Цилиндр, двигаясь вниз по стволу скважины, хорошо промывается водой и захватывает пробу воды только с той глубины, на которую опущен груз. Вслед за цилиндром по тросу спускается пробка *5*. После подъема прибора на поверхность проба воды переливается в бутылку через краник *4*.

Техническая характеристика приборов следующая: диаметр прибора — 48 и 82 *мм*; емкость цилиндра — 0,6 и 1,5 *л*; длина — 710 и 790 *мм*.

Телескопический пробоотборник для жидкости и газа конструкции Е. В. Симонова предназначен для отбора проб воды из скважин с любой заданной глубины (рис. XII-20). Конструкция прибора обеспечивает сохранность в отобранной пробе растворенных в ней газов.

Для отбора пробы прибор опускают в скважину на требуемую глубину. Затем опускают груз, производящий удар по стаканчику *1*. Под действием удара стаканчик вместе с болтом *2* и штоком *3* опустится вниз и штоком раздвинет собачки *4*. Освободившись от собачек, под действием пружины *5* и собственного веса поршень *6* с трубой *7* выдвигается из трубы *8*. В освобождающееся пространство через отверстия в колпаке *9*, шаровой клапан, трехходовой кран *10* и трубку *11* поступает вода.

В прибор поступает только вода с растворенным в ней газом, так как грибок *12* препятствует проникновению пузырьков свободного газа внутрь прибора.

При подъеме прибора на поверхность давление окружающей среды уменьшается. Вследствие возникновения разности давления в приборе и вне прибора поршень *13* с трубой *14* выдвигается из трубы *7*; с уменьшением давления внутри прибора из пробы воды, находящейся в нем, происходит выделение газа.

По извлечении на поверхность газовая фаза пробы выпускается через штуцер в головке прибора, вода сливается через трехходовой кран. Техническая характеристика следующая:

Диаметр, *мм*	60 и 100
Длина, *мм*	1270 и 1150
Вес (без пробы), *кг*	5,8 и 7,5
Объем, пробы, *л*:	
по жидкой фазе	1,6 и 2,6
по газовой фазе	1,5 и 2,4
Длина прибора с отобранной пробой (жидкой и газовой фаз), *мм*	3170 и 2500

Удовлетворительная работа этого прибора обеспечивается при условии использования касторового масла для смазки внутренних его частей. Краткая характеристика приборов, используемых для отбора проб пластовых жидкостей с сохранением их фазового равновесия, приведена в § 7.

§ 5. Приборы и приспособления для отбора проб газа

Отбор проб газа при свободном его выделении и извлечении газа, растворенного в воде, производится разными приборами и приспособлениями.

1. При свободном выделении газа из горных пород отбор пробы производится прибором, состоящим из воронки с термометром, резиновой трубки, двухсторонней груши, стеклянной изогнутой трубки, бутыли емкостью 2—3 *л* и сосуда.

Для отбора пробы на поверхности земли расчищают место выхода газа и накрывают воронкой. Края воронки вдавливают в почву, обмазывают влажной глиной и засыпают землей. Для удаления находящегося в приборе воздуха через него в течение 5—15 *мин* пропускают газ. Затем чистую бутыль наполняют доверху свежепрокипяченной и охлажденной водой. Мелкие пузырьки воздуха на стенках бутыли удаляют проволокой. Далее бутыль накрывают стеклышком или ладонью и горлышком вниз опускают в сосуд с водой. После погружения горлышка бутыли в воду стеклышко или ладонь отнимают. Затем свободный конец стеклянной трубки под водой вводят в горлышко бутыли. Выделяющийся газ, вытесняя воду из бутыли, заполнит ее.

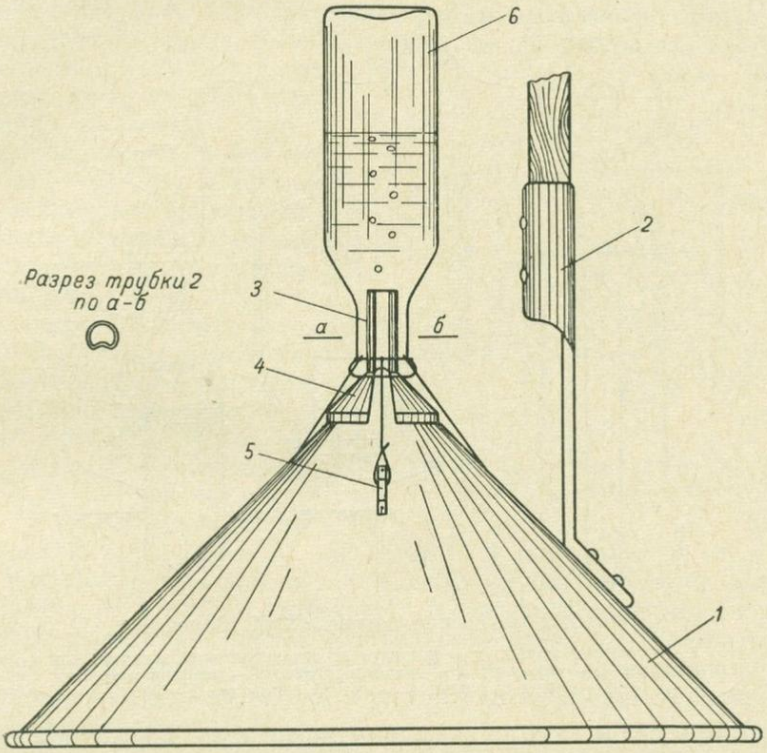


Рис. XII-21. Газоуловитель М. И. Субботы.

При очень малом давлении газа под воронкой засасывание его производится двухсторонней грушей или водой.

Для засасывания газа водой стеклянная трубка должна иметь малый диаметр выходного отверстия и доходить до дна бутыли. Перед введением ее в бутыль резиновая трубка должна быть пережата зажимом. Если вода случайно попала в трубку, то ее можно удалить протаскиванием резиновой трубки между сжатыми пальцами. Вместе с водой из трубки будут вытеснены в бутыль первые пузырьки газа. Если ввести конец стеклянной трубки в пузырек газа, то последующее засасывание газа будет происходить без затруднения за счет разности уровней воды в бутыли и в сосуде.

При выходе газа из источника или небольшого водоема воронку погружают в воду, накрыв ею выход пузырьков газа на дне водоема.

2. Отбор газа в условиях открытого водного бассейна производится с лодки газоуловителем М. И. Субботы (рис. XII-21). Воронка *1*

газоуловителя изготовляется из оцинкованного железа диаметром 30—50 *см*. К воронке прикреплены державка *2* с длинным шестом и три скобы *4* для привязывания бутылки *6*. Для облегчения выхода воды из бутылки при наполнении ее газом в трубке *3* сделан желоб, а в упоре *5* — вырез.

Для отбора газа лодку ставят на якорь и опускают газоуловитель на возможно большую глубину над местом выхода газа. При большой глубине водоема (10—30 *м*) газоуловитель опускают на дно водоема над местом выхода газа на двух бечевках; при этом свободные концы бечевок привязывают к поплавку. В этом случае диаметр воронки увеличивают до 60—80 *см*. Чтобы газоуловитель не сносило течением, его утяжеляют. Для этого края воронки отгибают кверху в виде желоба и заливают его свинцом.

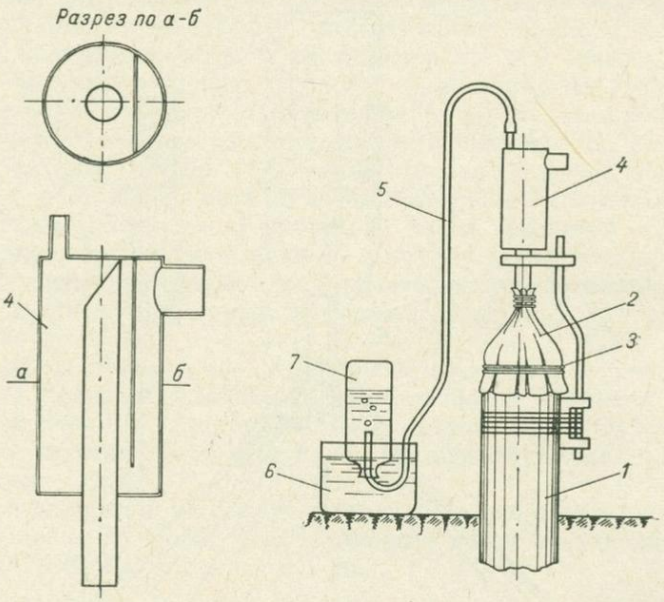


Рис. XII-22. Газоотделитель М. Н. Воробьева.

1 — обсадная труба; *2* — манжета из прорезиненной материи или клеенки; *3* — веревка; *4* — газоотделитель; *5* — резиновая трубка; *6* — сосуд с водой; *7* — бутыль емкостью 2—3 *л*.

3. Отбор пробы газа из скважины может быть произведен воронкой, которую для этой цели возможно глубже опускают в газирующую скважину.

В некоторых случаях при небольших давлениях газа обсадную трубу скважины закрывают деревянной пробкой с пропущенной через нее стеклянной или металлической трубкой или на нее навертывают металлическую крышку с трубкой в центре. На трубку надевают резиновый шланг, по которому газ подается в бутыль, заполненную водой. Емкость бутыли подбирается в зависимости от предполагаемого дебита скважины по газу. В этом случае одновременно отбирается проба газа на химический анализ и определяется дебит скважины по газу.

В случае вскрытия сильногазированных вод (газоводной эмульсии) отбор проб газа из самоизливающихся скважин и при откачках производится при помощи газоотделителей различных конструкций. На рис. XII-22 изображен газоотделитель конструкции М. Н. Воробьева. Принцип отделения газа от воды ясен из рисунка. Перед отбором пробы газа газоотделитель достаточно долго продувается газом для освобождения прибора от воздуха.

Для этой же цели может быть применен газоотделитель М. С. Гуревича (рис. XII-23), состоящий из закрытого цилиндра, внутри которого находится приемная труба *1* с тремя металлическими дисками *3* разного диаметра. На верхнем срезе трубы укреплена круглая коробка с сетчатым дном *2*. Наружная часть трубы *1* герметично соединена с обсадной трубой скважины. Газоводная эмульсия поступает из скважины через приемную трубу в коробку с сетчатым дном, при этом теряет здесь часть газа. Вода, просачиваясь через сито, рассеивается на ряд мелких струй, падающих на края дисков, дополнительно выделяет при этом газ. Газ, скапливающийся в верхней части газоотделителя, выходит через трубку *4*, расположенную в крышке цилиндра. Дебит газа измеряется объемным способом или шайбным измерителем. Вода из газоотделителя выливается наружу через водоотводную трубку *5* изогнутой формы, создающей водяной затвор.

4. Извлечение растворенного газа из воды (дегазация) осуществляется уменьшением растворимости газа путем создания пониженного давления над водной поверхностью или повышением температуры воды. Применяются также комбинации обоих способов. В связи с этим различают вакуумный, термический и термовакуумный методы извлечения растворенного газа.

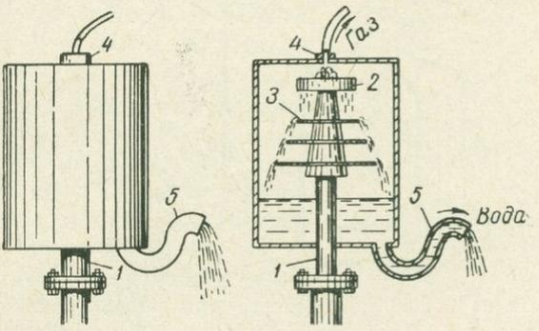


Рис. XII-23. Газоотделитель М. С. Гуревича для скважин с малым дебитом воды.

Извлечение растворенного газа из воды вакуумным методом производится прибором В. П. Савченко и другими.

Прибор В. П. Савченко состоит из двух основных частей: бутыли *А*, в которой создается вакуум, и вакуумного насоса Комовского *Б* (рис. XII-24). В бутыль *А* емкостью 5—8 *л* вставляются три стеклянные или металлические трубки, пропущенные через пробку. Одна из трубок *1* опускается почти до дна бутыли, на вторую трубку *2* надевается резиновая (футбольная) камера *4*. Третья трубка *3* не выходит ниже пробки. На наружные концы трубок надеваются короткие резиновые вакуумные трубки с винтовыми зажимами и стеклянными трубками на концах.

Бутыль тарируется для отсчета объемов воды и газа. Деления наносятся на стекло бутыли или на наклеенную на бутыль полоску бумаги.

Для взятия пробы растворенного газа в бутыль *А* предварительно наливают около 20 $см^3$ воды. Потом через трубку *2*, присоединенную к вакуумной резиновой трубке *5*, откачивают воздух из резиновой камеры и зажимами герметично закрывают трубки *1* и *2*. Затем через трубки *3* и *5* в течение 15—20 *мин* откачивают воздух из бутыли. Не прекращая откачки, зажимом закрывают трубку *3*. Далее производится проверка герметичности бутыли. Для этого бутыль переворачивают вверх дном, и если не будут проникать пузырьки воздуха через слой воды, покрывающей пробку, то считается, что бутыль закрыта герметично.

Для отбора пробы растворенного газа (рис. XII-25) часть трубки *1* выше зажима заполняют водой и без захвата воздуха присоединяют резиновую трубку, также заполненную водой, конец которой должен быть опущен в сосуд с исследуемой водой. Затем трубку *1* открывают; через нее вода с большой силой будет всасываться в бутыль *А* и в значительной степени дегазироваться. Когда отношение объема газа к объему воды

в бутыли *А* достигнет значения 1 : 5, подачу воды прекращают, закрыв зажимом трубку *1*. Для лучшего выделения газа воду в бутыли *А* взбалтывают в течение 5—6 *мин*. Затем выделившуюся первую фракцию газа переводят в бутылки.*

Для перевода газа из бутыли *А* в бутылку конец трубки *3* выше зажима заполняют водой и присоединяют к нему без захвата воздуха резиновую трубку, также заполненную водой. При этом свободный конец резиновой трубки должен быть введен в бутылку, предназначенную для отбора газа. Затем открывают трубку *2*, через которую воздух поступает в резиновую камеру, пока давление внутри бутыли *А* не сравняется с атмосферным. После этого открывают трубку *3* и газ из бутыли *А* начинает поступать в бутылку. Одновременно трубку *2* присоединяют к нагнетательной трубке насоса

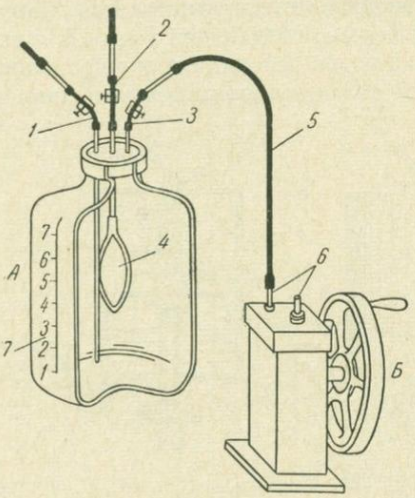


Рис. XII-24. Схема аппаратуры для создания вакуума.

1, 2, 3 — трубки; *4* — резиновая камера; *5* — резиновая трубка; *6* — вакуумная и нагнетательная трубки; *7* — шкала.

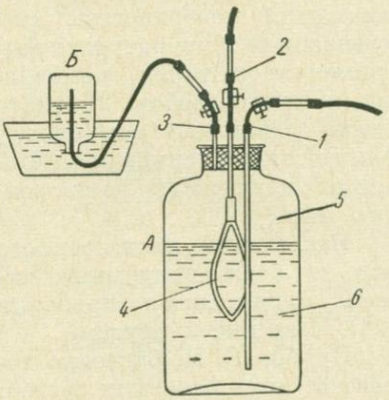


Рис. XII-25. Схема аппаратуры для перевода газа из бутылки *А* в сосуд для газа *Б*.

А — бутыль для создания вакуума; *Б* — сосуд для отбора пробы газа; *1, 2, 3* — резиновые трубки; *4* — резиновая камера; *5* — газ; *6* — вода.

Комовского и нагнетают воздух в резиновую камеру. В результате расширения резиновой камеры газ из бутыли *А* будет вытеснен в бутылку, предназначенную для отбора пробы газа.

После отбора пробы газа измеряют температуру воды в бутыли *А*, объем воды и газообразной фазы в ней и определяют количество извлеченного газа. Температуру воды измеряют в отдельном небольшом сосуде, который наполняется водой из бутыли *А* через трубку *3*.

Полное количество газа, растворенного в исследуемой воде, по данным извлечения только первой фракции газа, вычисляется по формуле В. П. Савченко

$$V = \frac{V_1(aq + V_2)}{qV_2}, \qquad \text{(XII-9)}$$

где V — общее количество (*л*) данной составной части газовой смеси (данного компонента газа), приходящееся на единицу объема исследуемой жидкости, причем объем газа приведен к 0° и давлению 700 *мм рт. ст.*;

---

* Выделившееся при этом количество газа колеблется обычно от 100 до 300 *см*³.

V_1 — количество данного компонента газа (*л*), извлеченное первой фракцией; объем газа приведен к 0° и давлению 760 *мм рт. ст.* (данные анализа газа);

V_2 — общий объем газообразной фазы, *л* (измеряется в бутыли *А*);

a — коэффициент растворимости данного компонента газа в исследуемой жидкости при температуре извлечения газа из бутыли *А* (приложение X);

q — общий объем исследуемой жидкости, *л* (измеряется в бутыли *А*).

Обычно ограничиваются отбором только первой фракции газа. Можно извлекать также вторую и третью фракции растворенного в воде газа, повторяя 2—3-кратный отбор его из одной и той же пробы воды.

При отсутствии насоса Комовского вакуум в бутыли *А* может быть создан путем продувания ее паром. Для полного удаления воздуха бутыль емкостью 5—6 *л* должна продуваться сильной струей пара в течение 5—7 *мин*. После закрытия зажимами трубок и охлаждения бутыли в ней образуется необходимый вакуум.

Извлечение растворенного газа термическим методом производится путем нагрева и кипячения пробы воды. На рис. XII-26 изображен термический дегазатор, предложенный В. Э. Вассербергом. Он очень прост в изготовлении и удобен при проведении маршрутных исследований. Термический дегазатор состоит из бачка *1*, изготовляемого из оцинкованного железа (или из меди), холодильника *2* и резиновой (футбольной) камеры *3*. Резиновая камера соединяется с бачком медной трубкой *4*, нижний конец которой пропускается через резиновую пробку *5*. Последняя плотно входит в горловину бачка.

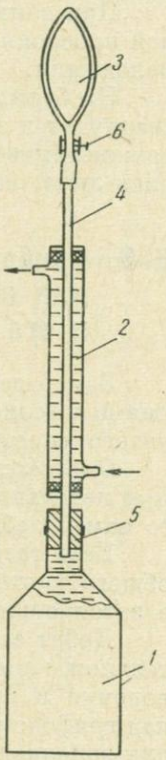


Рис. XII-26. Термический дегазатор для воды В. Э. Вассерберга.

Отбор растворенного газа производится следующим образом. Прежде всего из резиновой камеры удаляют воздух — подготавливают ее для приема газа. Для этого резиновая камера через воронку заливается до предела водой. Затем ее быстро, не допуская захвата воздуха, опрокидывают в сосуд с водой, где и выдавливают из камеры всю воду. После этого наконечник камеры пережимают винтовым зажимом *6*.

Бачок и трубку заливают дегазируемой водой и на верхний конец трубки надевают резиновую камеру. После этого в холодильник заливается вода.

Собранный таким образом прибор устанавливается на огонь (примус, костер и др.). По мере нагревания воды растворенный газ переходит в свободную фазу и поступает в резиновую камеру. Наиболее интенсивно этот процесс происходит в момент вскипания воды в бачке. После трехкратного кипячения воды (общей продолжительностью 15—20 *мин*) дегазацию прекращают и газ из камеры переходит в бутылку. Имеется несколько конструкций термических дегазаторов. Методика извлечения при помощи их растворенного газа примерно одинакова с описанной выше.

Термовакуумный метод обеспечивает наиболее полное извлечение растворенного газа. Однако при термовакуумной дегазации в воде происходит нарушение гидрокарбонатного равновесия, в связи с чем извлекается избыток углекислого газа. Остальные газы: азот, кислород, метан, редкие газы — удовлетворительно извлекаются всеми тремя методами.

Кислород, углекислый газ и сероводород следует определять в исследуемой воде также прямыми (объемными) методами.

5. Укупорка бутыли с пробой газа производится следующим образом. Бутылку, заполненную газом с небольшим количеством оставшейся воды, закрывают под водой корковой пробкой. После извлечения бутылки из воды, не поворачивая ее, вдавливают пробку еще глубже в горлышко. Затем вытирают насухо пробку и горлышко бутылки и заливают менделеевской замазкой, сургучом, смолой или воском. Заливка производится без переворачивания бутылки путем 2—3-кратного опускания горлышка ее в расплавленную замазку.

Бутылка хранится и транспортируется в перевернутом виде.

При длинном горлышке бутылку закрывают двумя пробками с водяной прослойкой между ними. В этом случае бутылка хранится в обычном положении.

На бутылку с пробкой газа наклеивается этикетка. Вторая этикетка, свернутая в трубочку, привязывается к горлышку бутылки. На этикетке должны быть указаны порядковый номер пробы; место взятия пробы и подпись лица, взявшего пробу.

§ 6. Приборы и приспособления для определения дебита газа и его температуры

Замер дебита газа производится разными приборами и приспособлениями в зависимости от величины дебита газа, условий выхода его и принятого способа замера.

Определение дебита газа по скорости заполнения сосуда производится при небольших дебитах газа. Если газ полностью каптирован воронкой, то замер дебита производится попутно с отбором пробы газа (см. § 5).

Если газовый выход имеет несколько грифонов, то, при невозможности общего каптажа их, каптируют и определяют дебит некоторых из них, а затем ориентировочно рассчитывают общий дебит.

Дебит естественного выхода газа сильно меняется уже при незначительном изменении давления над грифоном. При установке каптажной воронки и приемной бутыли создается некоторое повышенное давление над грифоном, которое может значительно уменьшить дебит газа. Если же для заполнения бутыли приходится применять засасывание, то этим дебит газа искусственно увеличивается.

Поэтому определение дебита газа этим способом является довольно приближенным.

Определение дебита газа анемометром. Анемометр состоит из крыльчатки и счетчика, отмечающего число оборотов крыльчатки. К каждому прибору приложен паспорт, в котором приведена тарировочная таблица и указаны скорости, измеряемые анемометром (от 1 до 10 *м/сек* и больше).

Для измерения скорости газового потока выключают счетчик анемометра, записывают показание его и на металлическом стержне опускают прибор в скважину на глубину 2 *м* (рис. XII-27).

Опустив анемометр в скважину и выждав некоторое время, включают счетчик прибора и одновременно пускают секундомер. Через 5—10 *мин* выключают счетчик анемометра и одновременно останавливают секундомер. Разделив разность между начальным и конечным отсчетами по анемометру на число секунд работы прибора получают число оборотов крыльчатки в секунду (число делений в секунду). Соответственно числу оборотов

крыльчатки в секунду по тарировочной таблице определяют скорость газового потока (*м/сек*).

Дебит газа вычисляют по формуле

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v, \qquad \text{(XII-10)}$$

где Q — дебит газа, *м³/сек*;
d — внутренний диаметр обсадной трубы, *м*;
v — скорость газа, *м/сек*.

При большом диаметре обсадной трубы измерение скорости производится в разных точках поперечного сечения трубы. Для расчета принимается средняя скорость истечения газа.

Пневмометрическая трубка упрощенного типа * применяется для определения дебита газа с выпуском его в атмосферу при скорости потока от самой незначительной до скорости звука.

Упрощенная пневмометрическая трубка состоит из изогнутой металлической трубки с внутренним диаметром обычно $^1/_4''$, выдержанным по всей ее длине, шланга, манометра (водяного или ртутного при незначительном скоростном напоре или пружинного — при значительном напоре газа) и хомутика.

При малых давлениях газа (до 1 *кГ/см²*) трубку можно соединить с манометром резиновым шлангом, а при высоких — соединение должно быть жестким.

Для замера напора газа конец трубки устанавливают в выходном сечении трубы строго по продолжению оси последней. При давлении в манометре, не превышающем 640 *мм рт. ст.*, дебит газа вычисляется по формуле

$$Q = 0{,}236\, D^2 \sqrt{\frac{h_в}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}; \qquad \text{(XII-11)}$$

$$Q = 0{,}871\, D^2 \sqrt{\frac{h_{рт}}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}. \qquad \text{(XII-12)}$$

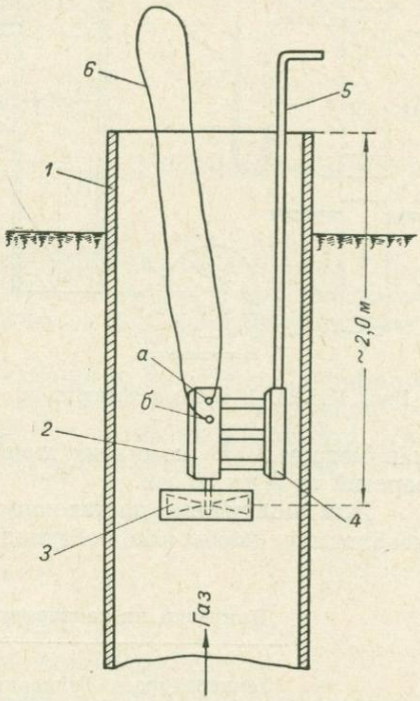


Рис. XII-27. Измерение скорости движения газа анемометром.

1 — обсадная труба; *2* — счетчик; *3* — крыльчатка; *4* — подставка; *5* — стержень; *6* — шнур, присоединяемый к рычажкам *а* и *б* счетчика.

При давлении в ртутном манометре более 640 *мм рт. ст.* или в пружинном — более 0,84 *кГ/см²* дебит газа вычисляют по формулам

$$Q = 0{,}017\, D^2 (h_{рт} + 760) \sqrt{\frac{293}{T}}; \qquad \text{(XII-13)}$$

$$Q = 12{,}73\, D^2 (p + 1{,}03) \sqrt{\frac{293}{T}}, \qquad \text{(XII-14)}$$

где Q — дебит газа, приведенный к атмосферному давлению и температуре 20° С, *м³/сутки*;
D — диаметр скважины, *мм*;

---

* Кроме упрощенной пневмометрической трубки применяется также трубка Пито, которая дает близкие результаты.

$h_в$ — давление, *мм вод. ст.*;
$h_{рт}$ — давление, *мм рт. ст.*;
p — давление по пружинному манометру, *кГ/см²*;
γ — плотность газа относительно воздуха;
T — температура газа в °К (1° К = 273 + t, где t — температура, °С).

Величина $\sqrt{\frac{293}{T}}$ называется поправкой на температуру и может быть определена по табл. XII-4.

При замерах пневмометрической трубкой выходной участок трубы на расстоянии не менее 8*D* не должен иметь никаких местных сопротивлений.

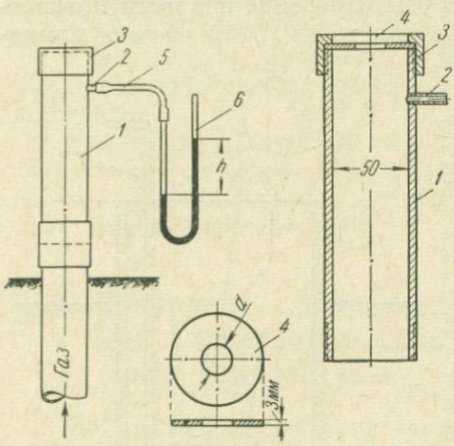


Рис. XII-28. Шайбный измеритель.

Шайбный измеритель. Этот прибор обычно используется для замера дебита газирующих скважин производительностью не более 5000 *м³/сутки*, при давлении в трубе не выше 500 *мм вод. ст.*, с выпуском газа в атмосферу.*

Прибор состоит из короткого патрубка *1* со штуцером *2* (рис. XII-28). На верхнюю часть патрубка навинчивается кольцо *3* с закраиной. Между закраиной и верхним торцом патрубка вставлена бронзовая шайба *4*. Штуцер соединен резиновой трубкой *5* с водяным или ртутным манометром *6*. В комплект прибора входит набор шайб с диаметром отверстий от 5 до 30 *мм*.

Для получения достаточно точных результатов измерения дебита необходимо, чтобы газ поступал в прибор по трубе одинакового с ним

Таблица XII-4

Поправки на температуру при определении дебита газа

Температура газа, °С	Температурная поправка	Температура газа, °С	Температурная поправка
0	1,036	16	1,007
1	1,034	17	1,005
2	1,032	18	1,003
3	1,030	19	1,002
4	1,028	20	1,000
5	1,027	21	0,998
6	1,025	22	0,997
7	1,023	23	0,995
8	1,021	24	0,993
9	1,019	25	0,992
10	1,017	26	0,990
11	1,016	27	0,988
12	1,014	28	0,987
13	1,012	29	0,985
14	1,010	30	0,983
15	1,009		

* Если газовый фонтан выносит распыленную воду, нефть или песок, то возле устья скважины устанавливается трап, в котором происходит разделение газа, воды, нефти и песка.

сечения. Поэтому скважину с большим диаметром обсадной трубы закрывают пробкой, в которую вставляют отрезок двухдюймовой трубы длиной 1—1,5 *м*.

Патрубок прибора ввинчивают нижним концом в двухдюймовую трубу. Все соединения должны быть герметичны. После установки прибора газ через шайбу выходит в атмосферу и одновременно давление его передается через резиновую трубку манометру.

Внутренний диаметр шайбы подбирается в зависимости от интенсивности газопроявления с таким расчетом, чтобы разность уровней в манометре была в пределах от 50 до 100 *мм*.

Дебит газа определяется по формуле

$$Q = 0{,}172\, d^2 \sqrt{\frac{h_в}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}; \qquad \text{(XII-15)}$$

$$Q = 0{,}635\, d^2 \sqrt{\frac{h_{рт}}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}, \qquad \text{(XII-16)}$$

где Q — дебит газа, приведенный к атмосферному давлению и температуре 20° С, *м*³/*сутки*;

d — диаметр отверстия шайбы, *мм*.

Остальные обозначения те же, что и в формулах (XII-10—13).

Определение дебита газа по нарастанию давления в закрытой скважине. Для этой цели на скважине должны быть установлены манометр и задвижка.

Перед производством наблюдений скважину продувают некоторое время при полностью открытой задвижке. Затем быстро закрывают задвижку и в конце первой минуты производят отсчет по манометру. При этом время определяется по секундомеру. Наблюдения повторяют 3—5 раз и берут среднее.

Дебит вычисляется по формуле

$$Q = Vp, \qquad \text{(XII-17)}$$

где Q — дебит газа, *м*³/*мин*;

V — объем скважины, заполненной газом, *м*³;

p — давление в *ат*, отсчитанных по манометру.

Этот метод применяется для определения только приблизительной величины притока газа.

Определение температуры газа. При слабом газопроявлении температура выделяющегося газа измеряется ртутным термометром. Для этого шарик термометра вводят в струю газа или струйку пузырьков газа, идущую через жидкость, и отмечают установившуюся температуру.

В газирующих скважинах при значительных притоках газа температура его измеряется на глубине залегания газоносного горизонта. Для этой цели используются максимальные термометры в металлической гильзе и электротермометры.

При замере температуры газа измеряются температура воздуха и атмосферное давление.

§ 7. Некоторые приборы, применяемые при опробовании глубоких скважин

При опробовании глубоких скважин на газ, нефть и на воду применяются специальные приборы; краткое описание некоторых из них и приводится ниже.

Замер глубины уровня жидкости в скважине производится аппаратом Яковлева легкого и тяжелого типов, эхолотом и другими приборами.

Аппарат Яковлева легкого типа предназначен для измерения уровня жидкости до глубины 1000 *м* (рис. XII-29). Аппарат представляет собой ручную лебедку, снабженную индикатором веса и счетчиком числа оборотов барабана лебедки. На барабан лебедки намотана проволока из тигельной стали диаметром 0,5—0,6 *мм*, размеченная через 100 *м* наплавками.

Аппарат Яковлева тяжелого типа АЯМ-2000 (рис. XII-30) предназначен для замера уровня жидкости и спуска приборов в скважину до глубины 2000 *м*. Диаметр проволоки, намотанной на барабан, 1,6—1,8 *мм*; сопротивление проволоки на разрыв 150—160 *кГ/мм*^{2}.

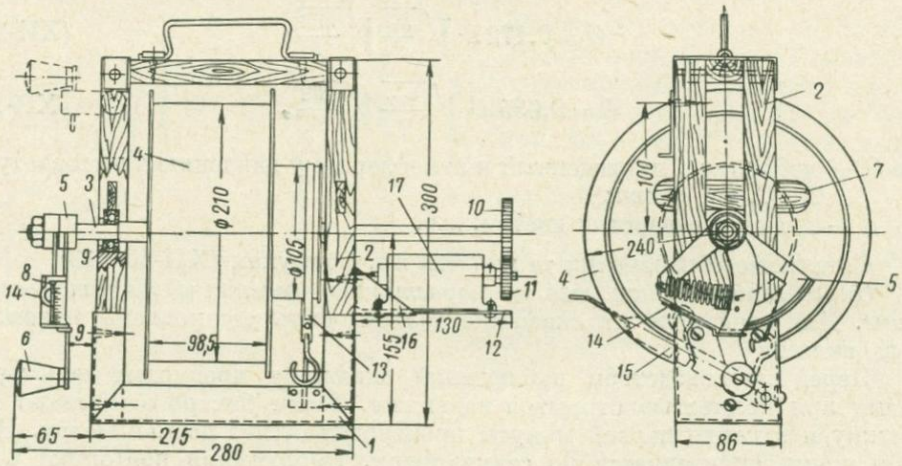


Рис. XII-29. Аппарат Яковлева легкого типа.

1 — корпус; *2* — деревянные стойки; *3* — вал; *4* — барабан; *5* — сектор индикатора веса; *6* — рукоятка; *7* — клин; *8* — планка со шкалой; *9* — шариковые подшипники; *10*, *11* — шестерни; *12* — площадка; *13* — тормозная лента; *14* — цилиндрическая пружина; *15* — тормозная ручка; *16* — кронштейн; *17* — счетчик оборотов.

В этом аппарате, так же как и в аппарате легкого типа, имеется счетчик оборотов барабана и индикатор веса. Последний предназначен для определения относительного веса спущенных в скважину проволоки и прибора.

Для производства опробования скважины к свободному концу проволоки, намотанной на барабан лебедки, присоединяются наконечники: желонка, баллон, гирька, универсальная гирька-желонка и др.

Желонка стандартная применяется для измерения уровня, водораздела * и забоя скважин. Вес желонки 3—4 *кг*, емкость 8 *л*.

Баллон стандартный предназначен для прослеживания незначительных колебаний уровня. Емкость баллона 10 *л*.

Гирька используется для замера забоя через компрессорные трубы.

Универсальная гирька-желонка предназначена для замера глубины забоя скважины через компрессорные трубы или затрубное пространство, а также для определения положения нижнего конца компрессорных труб.

Для замера уровня жидкости в скважине к обсадной трубе прикрепляют направляющий ролик, через который на аппарате Яковлева спускают в скважину желонку. Уровень определяют с помощью индикатора веса по резкому изменению веса желонки при погружении ее в жидкость.

---

* Под водоразделом понимается водо-нефтяной контакт.

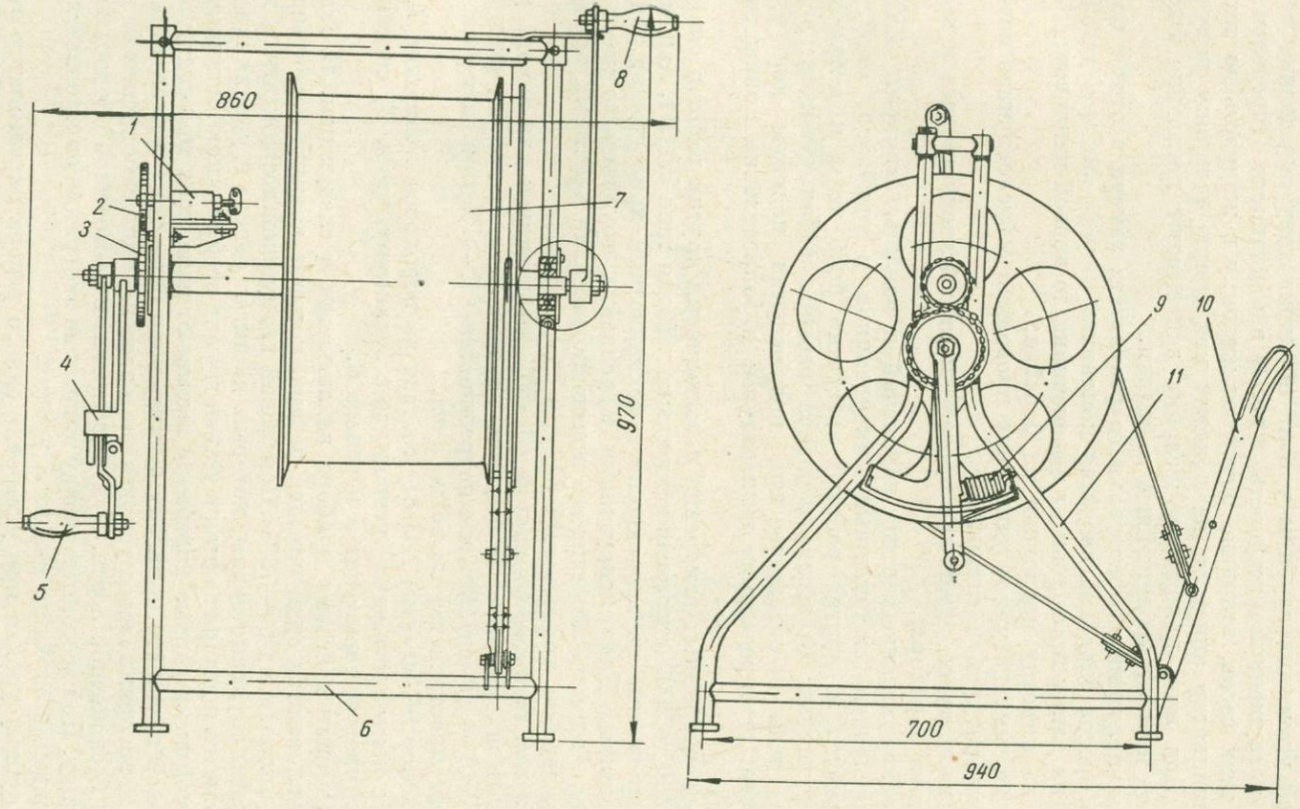


Рис. XII-30. Аппарат Яковлева АЯМ-2000.

1 — счетчик оборотов; *2*, *3* — шестерни; *4* — сектор индикатора; *5* — рукоятка индикатора; *6* — рама станины; *7* — барабан; *8* — рукоятка барабана; *9* — пружина индикатора; *10* — ручка тормоза; *11* — станина.

Для уточнения глубины уровня по индикатору определяют вес желонки, погруженной в жидкость, и вес ее вне жидкости. Определив полусумму этих весов, вторично опускают желонку в жидкость до тех пор, пока индикатор аппарата не покажет найденную величину полусуммы весов. При этом положении желонки записывают показание счетчика аппарата и отметку ближайшей наплавки.

Для получения окончательного результата замера в отсчет по счетчику оборотов барабана вводятся поправки:

а) на длину проволоки от наконечника до первой наплавки;

б) на намотку проволоки на барабан;

в) на температурное удлинение проволоки (обусловленное повышенной температурой в скважине);

г) на упругое удлинение проволоки от собственного веса и веса наконечника (прибора).

Кроме указанных выше измерений с помощью аппарата Яковлева и применением специальных наконечников и приборов, могут быть произведены и другие работы: а) взятие проб воды и нефти с различных глубин; б) взятие образцов песка с забоя скважин; в) определение течи в скважине при повреждении колонны под уровнем жидкости; г) определение температуры; д) определение кривизны скважины.

Для глубинных измерений и выполнения других работ в скважинах глубиной до 3000 *м* применяются также лебедки типа ГЛНН, Азинмаш-11, смонтированные на автомашине с механическим приводом от двигателя автомашины. Для эксплуатации в условиях труднопроходимых дорог лебедка Азинмаш-11т, широко применяющаяся на нефтяных промыслах, установлена на тракторе ДТ-54.

Эхолот системы Сныткина (ЭС-50) предназначен для замера уровня жидкости в скважине на глубине до 1000 *м*, а в новой конструкции (ЭМС-200) — свыше 2000 *м* с погрешностью 0,5—1% при давлении в межтрубном пространстве не более 3 *ат*.

Эхолот ЭС-50 (рис. XII-31) состоит из пороховой хлопушки *1*, самописца с лентопротяжным устройством *2*, аккумулятора *3*, соединительных шнуров *4*, термофона *5* и репера *6*.

Принцип действия прибора заключается в следующем. В скважине устанавливаются один или два репера, которые должны перекрывать сечение колонны на 60—70%. Пороховой хлопушкой возбуждаются в устье скважины звуковые волны, которые, достигая репера и уровня жидкости, отражаются и возвращаются к устью, где они воспринимаются термофоном. В термофоне звуковые колебания вызывают изменение температуры вольфрамовой нити, что приводит к изменению силы тока в цепи термофона, которое воспринимается усилителем и записывается самописцем на движущейся бесконечной ленте. Лента движется с постоянной скоростью 100 *м* в секунду. По расстоянию между пиками на эхограмме определяется время прохождения звука до репера и уровня.

Глубина уровня при установке одного репера определяется в следующем порядке. Вычисляют скорость звука от устья репера по формуле

$$v = \frac{2h}{t}. \qquad \text{(XII-18)}$$

где h — расстояние от устья до репера, *м*;

t — время прохождения звуковой волны от устья до репера и обратно, определяемое по эхограмме, *сек*.

Подсчитывают расстояние от репера до уровня жидкости по формуле

$$h' = \frac{t'}{2} v, \qquad \text{(XII-19)}$$

где h' — расстояние от репера до уровня жидкости, *м*;
t' — время прохождения звуковой волны от репера до уровня, *сек*;
v — ранее подсчитанная скорость звука, *м/сек*.

Тогда глубина уровня жидкости составит

$$H = h + h'. \qquad \text{(XII-20)}$$

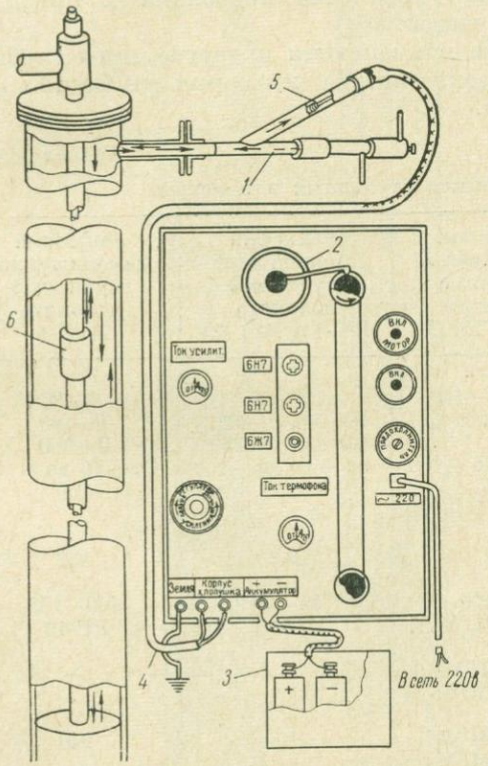


Рис. XII-31. Эхолот ЭС-50.

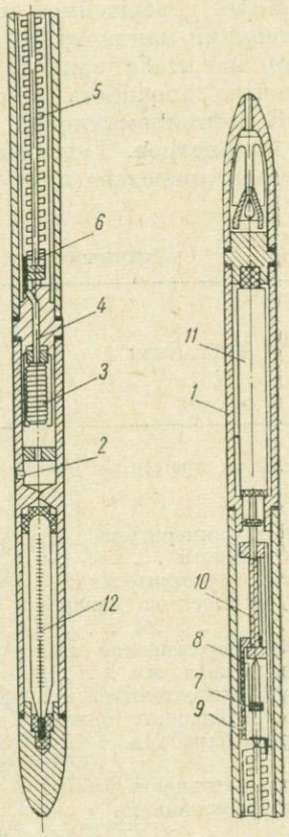


Рис. XII-32. Самопишущий глубинный геликсный манометр МГГ-1.

При установке двух реперов вычисление глубины уровня производится в том же порядке, как и в предыдущем случае, с той лишь разницей, что скорость звука определяется в интервале между первым и вторым реперами.

Приборы для замера пластового и забойного давлений. Замер пластового и забойного давлений в глубоких скважинах производится глубинными манометрами различного типа. Наибольшее применение получили манометры с непрерывной регистрацией показаний, из которых распространенным является самопишущий глубинный манометр МГГ-1. Принцип действия последнего заключается в следующем (рис. XII-32).

Давление жидкости через отверстие *2* в корпусе прибора *1* действует на сильфон *3*. Внутренняя полость сильфона через капилляр *4* сообщается с витой трубчатой (геликсной) пружиной *5*. Нижний конец геликсной

пружины закреплен на стержне *6*. Верхний конец пружины заглушен и присоединен к оси *7*, на которой укреплена стрелка с пером *8*. Сильфон, трубчатая пружина и капилляр заполнены рабочей жидкостью (толуолом). Измеряемое давление в скважине воспринимается сильфоном и через капилляр *4* передается геликсной пружине *5*. Пружина раскручивается, и пером *8* производится запись на диаграммном бланке. Бланк вставлен в каретку *9*, которая перемещается ходовым винтом *10*. Ходовой винт вращается часовым механизмом *11*. *12* — максимальный термометр.

В результате поворота пера и перемещения каретки на диаграммном бланке будет записано изменение давления во времени.

Более совершенной моделью этого прибора является глубинный самопишущий манометр МГГ-2У. В нем имеется приспособление для изменения масштаба записи, улучшено крепление проволоки к прибору, увеличена прочность некоторых частей.

В нефтепромысловой практике применяются и другие типы глубинных манометров. Техническая характеристика некоторых глубинных манометров приведена в табл. XII-5.

Таблица XII-5

Техническая характеристика глубинных манометров

Показатели	Поршневые самопишущие глубинные манометры МГП-2 и МГП-3	Геликсный самопишущий глубинный манометр МГГ-1 и МГГ-2У	Лифтовый самопишущий глубинный манометр МГЛ-5
Пределы измерения, *кГ/см*^{2}	0—80, 0—160, 0—300	0—50 0—100, 0—120 0—200, 0—250	0—80 0—160 0—300
Рабочая температура, °С	От +10 до +100	От +10 до +100	От +10 до +100
Класс точности	0,5	0,35	1,0
Порог чувствительности в % от предела измерения	0,2	0,2	0,2
Рабочее перемещение пишущего пера, *мм*	95—100	54—60	160—175
Тип часового механизма . .	МГМ-1 и МГМ-24	МГМ-1	РР-19
Продолжительность одного оборота барабана, *ч* . .	1 для МГМ-1 и 24 для МГМ-24	—	—
Продолжительность работы часового механизма, *ч* . .	15 для МГМ-1 и 36 для МГМ-24	10	240
Габариты, *мм*:			
диаметр	32	35	102
длина	1650	1300	1100
длина с утяжелителем	2200	2000	—
Вес, *кг*	6,5	7,0	50
Вес с утяжелителем, *кг* . .	11,0	12,0	—

Для гидродинамических исследований нефтяных и газовых пластов: снятия кривых восстановления давления на забое скважины после остановки ее, изучения взаимодействия скважин, а также для других случаев, когда возникает необходимость в измерении с большой точностью малого изменения давления во времени применяется глубинный дифференциальный самопишущий манометр ДГМ-4.

Принцип действия дифференциального манометра ДГМ-4 заключается в том, что две воздушные камеры, разделенные поршнем, заполняются

сжатым воздухом до давления, примерно равного давлению в намеченной точке измерения его в скважине.

После спуска прибора в скважину на нужную глубину и открытия специального клапана давление в нижней камере (под поршнем) сравняется с давлением внешней среды. Выравнивание давления, а также последующее изменение давления в скважине на заданной глубине вызовет перемещение поршня, в связи с этим и деформацию воздушной подушки

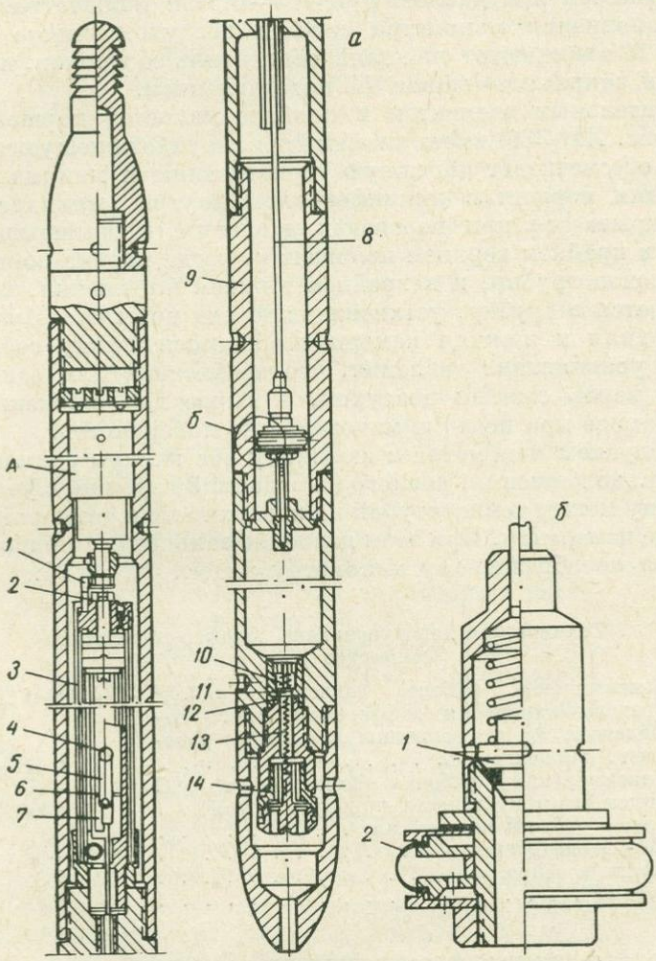


Рис. XII-33. *а* — глубинный дифференциальный самопишущий манометр ДГМ-4; *б* — поршень дифференциального манометра ДГМ-4.

в верхней камере прибора (над поршнем). Перемещение поршня, связанного штангой с регистрирующим устройством, будет записано на специальном бланке. Зная абсолютное давление в точке измерения его, определенное другим глубинным манометром, и величину перемещения поршня, по специальной формуле с большой точностью рассчитывают изменения давления в скважине.

Устройство прибора показано на рис. XII-33 а.

Верхняя и нижняя воздушные камеры соединены между собой цилиндром *9*, в котором находится поршень (узел *Б*). Поршень соединен штангой *8* с кареткой *6*, скользящей по двум туго натянутым струнам *7*.

К каретке прикреплена плоская пружина *5* с пишущим штифтом *4*, записывающим изменения давления в скважине (перемещения поршня) на бланке из меловой бумаги, вложенном в барабан *3*. Часовой механизм (узел *А*) вращает барабан при помощи пальцев *1* и *2*.

В нижней части глубинного манометра находятся клапан *11* и манжета *12*. На клапан действуют две пружины *10* и *13*, при этом нижняя пружина несколько «сильнее» верхней, вследствие чего клапан в скважине открывается при давлении от 0,3—0,5 *ат* меньше расчетного.

Для заполнения манометра сжатым воздухом вместо штуцера *14* и пружины *13* ввинчивают специальный вентиль со штоком, позволяющим открывать и закрывать клапан *11* под давлением.

Чувствительным элементом в приборе является поршень (узел *Б*). Поршень (рис. XII-33б) имеет клапан *1* и самоуплотняющуюся манжету *2*. Последняя обеспечивает надежную герметизацию и минимальное трение при движении поршня в отшлифованном внутри цилиндре *9*. Клапан поршня открывается при перепадах давления, превышающих пределы измерения, в крайнем верхнем положении, когда корпус поршня упрется в нижний конец трубки, и в крайнем нижнем положении, когда клапан поршня упрется в трубку, установленную под поршнем. При этих положениях верхняя и нижняя камеры сообщаются между собой и в них происходит уравнивание давления, что необходимо для одновременного заполнения камер сжатым воздухом, а также для снижения давления в верхней камере при подъеме манометра на поверхность.

Перед спуском манометра в скважину обе камеры заполняются сжатым воздухом до давления, равного на заданной глубине, с учетом поправки на разницу между температурой на поверхности и температурой в скважине в точке измерения. При этом давление заполнения прибора воздухом определяется по образцовому манометру класса 0,2—0,35.

Техническая характеристика дифференциального манометра ДГМ-4/2

Максимальное рабочее давление, *кГ/см²*	150, 200 и 350
Пределы измерения дифференциального давления, % от величины начального рабочего давления	10 и 20
Максимальная рабочая температура, °С	+70
Порог чувствительности прибора, *кГ/см²* . .	± 0,005
Длина рабочей шкалы, *мм*	100
Наружный диаметр, *мм*	36—38
Длина в сборе, *мм*	1400
Вес, *кг*	6

Приборы для измерения температуры. Измерения температуры в глубоких скважинах производятся разными по принципу действия и устройству приборами. Выбор прибора определяется в зависимости от цели, требуемой точности и условий измерений.

Для измерения температуры среды в скважине до +80° С с точностью до 0,2° С применяется глубинный самопишущий геликсный термометр ТГГ-1. Конструкция его подобна глубинному геликсному манометру МГГ-2У с той лишь разницей, что у термометра ТГГ-1 вместо сильфона установлен термобаллон (рис. XII-34).

Термобаллон представляет собой толстостенный цилиндрический сосуд, состоящий из корпуса *1*, втулки *2* с капилляром *3* и пробки *4*. Внутренняя полость термобаллона сообщается через капилляр *3* и канал *5* с внутренней полостью геликсной пружины. Обе полости заполнены рабочей жидкостью (геликс — водой, термобаллон — толуолом).

Принцип действия глубинного термометра основан на увеличении объема жидкости, находящейся в замкнутой системе геликсная пружина — термобаллон, при повышении температуры ее. Увеличение объема жидкости приводит к повышению давления в системе и раскручиванию геликсной пружины на угол, пропорциональный изменению температуры термобаллона.

Запись измерения температуры производится пишущим штифтом на специальном бланке аналогично записи давления в манометре МГГ-2У.

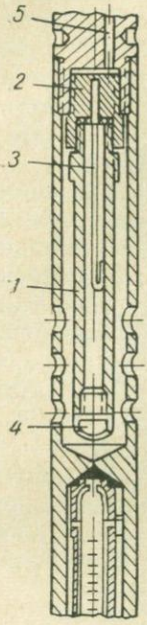


Рис. XII-34. Схема установки термобаллона в глубинном самопишущем геликсном термометре ТГГ-1.

Для лучшей омываемости термобаллона в корпусе прибора (по сравнению с МГГ-2У) сделаны дополнительные отверстия.

Продолжительность прогрева прибора (инерция) при разности температур воздуха и жидкости, равной рабочему диапазону измерения, около 30 *мин*. Длина прибора без утяжелителя 1516 *мм*, с утяжелителем 2236 *мм*. Диаметр 35,5 *мм*. Часы рассчитаны на 10 *ч* рабочего хода каретки.

Расшифровка бланков с кривой температуры производится так же, как и при измерении давления. Определение величины ординат ведется от нулевой линии, которая прочерчивается на регистрационном бланке путем вращения ходового винта каретки специальным ключом. При этой операции определяется температура воздуха, которая для дальнейших расчетов является базисной.

Глубинный самопишущий биметаллический термометр ТГБ-2 предназначен для измерения температуры в скважинах до +400° С при производстве термического воздействия на пласт (рис. XII-35).

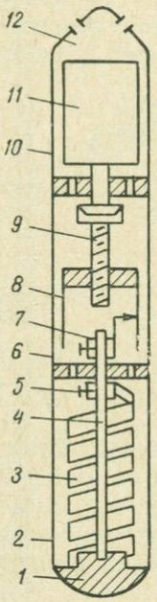


Рис. XII-35. Глубинный биметаллический термометр ТГБ-2.

1 — наконечник; *2* — труба; *3* — узел термочувствительного элемента; *4* — ось; *5* — винт; *6* — труба каретки; *7* — узел записывающего устройства; *8* — каретка; *9* — винт; *10* — труба турбины; *11* — узел турбинного устройства; *12* — хвостовик.

Термометр ТГБ-2 состоит из трех основных частей: термочувствительного элемента *3*, каретки *8* и турбинного устройства *11*. Термочувствительный элемент представляет собой биметаллическую винтовую ленточную пружину *3*, прикрепленную нижним концом к корпусу прибора, а верхним к оси *4*. На этой же оси закреплен пружинящий держатель *7* с острым штифтом на конце. Этим штифтом производится запись измеряемой температуры на бланке (алюминиевая фольга), который закладывается в каретку. Турбинное устройство, состоящее из кулачка, собачки и храповичка, предназначено для перемещения каретки с вложенным в нее бланком.

Принцип действия термометра ТГБ-2 заключается в следующем. Под влиянием изменения температуры окружающей среды биметаллическая пружина раскрутится и штифт запишет на бланке угол раскручивания пружины. Перемещение каретки производится резкими рывками термометра вверх. При каждом рывке турбина повернет храповик на один зуб и переместит каретку на 5—6 *мм*. Поэтому запись температуры получится ступенчатой.

В нефтепромысловой практике применяются также электротермометры сопротивления, термисторные и электронные термометры.

Приборы для отбора проб воды и нефти. Из приборов, применяемых для отбора глубинных проб воды и нефти, наибольшее распространение в практике получили пробоотборники ПД-3м и ПРИЗ-II.

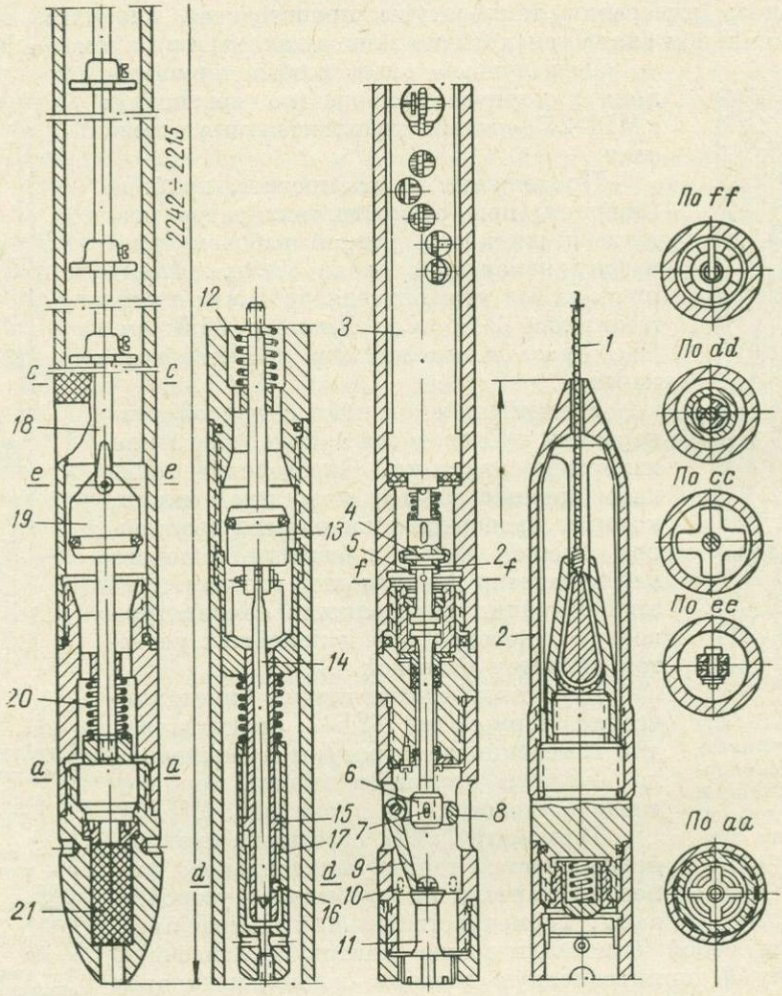


Рис. XII-36. Пробоотборник ПД-3м.

1 — проволока; *2* — клетка; *3* — часовой механизм; *4* — фрикцион; *5* — вал; *6* — гайка; *7* — штифт; *8* — кольцо; *9* — палец; *10* — переходный патрубок; *11* — крестовина; *12* — пружина; *13* — верхний клапан; *14* — игла; *15* — корпус; *16* — шарик; *17* — колпак; *18* — шток; *19* — нижний клапан; *20* — пружина; *21* — хвостовик.

Пробоотборник ПД-3м предназначен для отбора проб воды и нефти из скважин с диаметром труб не менее 2″.

Прибор опускают в скважину на заданную глубину с таким взаимным положением деталей, как показано на рис. XII-36. При спуске пробоотборника в скважину полость его от клапана *13* до клапана *19* заполнится жидкостью.

Затем через установленный промежуток времени часовой механизм сработает и клапаны отсекут пробу жидкости в пробоотборнике.

Закрытие клапанов происходит в следующем порядке. Непрерывно работающий часовой механизм *3* через фрикцион *4* вращает вал *5*, имеющий на конце резьбу; сползающая при этом с резьбы гайка *6* нажимает штифтом *7* на кольцо *8*, связанное жестко с пальцем *9*, и выводит его из соприкосновения с головкой крестовины *11*. Крестовина соединена штоком с верхним клапаном *13*, поэтому при ее освобождении верхний клапан под действием сжатой пружины *12* прижмется к своему седлу. Одновременно с клапаном поднимется игла *14* и освободит шарики *16*. Шарики уйдут внутрь трубки *15*, а освободившийся колпак *17*, связанный через шток *18* с нижним клапаном *19*, под действием пружины *20* переместится вниз. При этом перемещении штока нижний клапан прижмется к своему посадочному месту и отсечет пробу жидкости в пробоотборнике.

После подъема пробоотборника на поверхность хвостовик *21* отвинчивается, а на его место навинчивается переводная головка (рис. XII-37), при помощи которой производится перевод жидкости из пробоотборника в сосуд для исследования; при этом проба нефти вытесняется из пробоотборника ртутью.

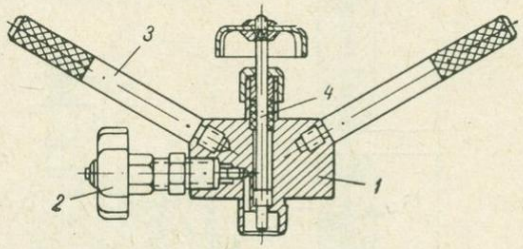


Рис. XII-37. Переводная головка пробоотборника ПД-3м.

Переводная головка состоит из корпуса *1* с двумя ручками *3*, при помощи которых ее завинчивают в корпус пробоотборника, вентиля *2*, закрывающего отверстие к соединительному штуцеру (штуцер на рисунке не показан, так как находится за плоскостью чертежа), и штока *4*, предназначенного для принудительного открывания клапана пробоотборника.

Техническая характеристика пробоотборника ПД-3м

Объем отбираемой пробы, *см*³	До 800
Рабочее давление, *кГ/см*²	300
Температура, °С	Не выше 100
Продолжительность работы часового механизма, *ч*	Не менее 4
Продолжительность одного оборота оси часового механизма, *мин*	60
Глубина спуска, *м*	3000
Диаметр, *мм*	35,5
Длина (с утяжелителем), *мм*	2590—2630
Вес (с утяжелителем), *кг*	10,5

Пробоотборник ПРИЗ-II (рис. XII-38 а) предназначен для работы с ним при внутреннем давлении до 300 *кГ/см*².

Рабочий объем прибора 1000 *см*³, наружный диаметр 35 *мм*.

Пробоотборник состоит из корпуса *6*, верхнего *8* и нижнего *2* клапанов, штока *7*, насадки *1*, рабочей пружины *10* и запорного механизма, имеющего корпус *13*, стакан *15*, две защелки *11* и пружину *12*. Клапаны уплотнены резиновыми кольцами *3* и *5*. В комплект пробоотборника входит переводник (рис. XII-38б), состоящий из корпуса *17*, сердечника *18*, гайки *19*, винта *20*, двух штуцеров *21* с вентилями *22* и маховика *23*.

Перед спуском в скважину к пробоотборнику прикрепляют проволоку, предварительно надев на нее груз *14*. Затем отвинчивают насадку *1* и специальным ключом за штифты *16* выводят оба клапана из посадочных цилиндров *4* и *9*, в результате чего пружина *10* окажется сжатой, а торец «юбки» клапана *8* выйдет из нижней части запорного механизма. Освобо-

дившиеся от «юбки» клапана *8* нижние концы защелок *11* под действием пружины *12* сомкнутся и закроют обратный ход клапану *8*. Затем навинчивают насадку *1*, предохраняющую нижний клапан от повреждения.

Во время спуска пробоотборника в скважину груз *14* удерживается на устье при помощи доски с прорезью.

Спустив прибор на нужную глубину, сбрасывают груз *14*. Груз, скользя по проволоке, достигает пробоотборника и ударяет по стакану *15*.

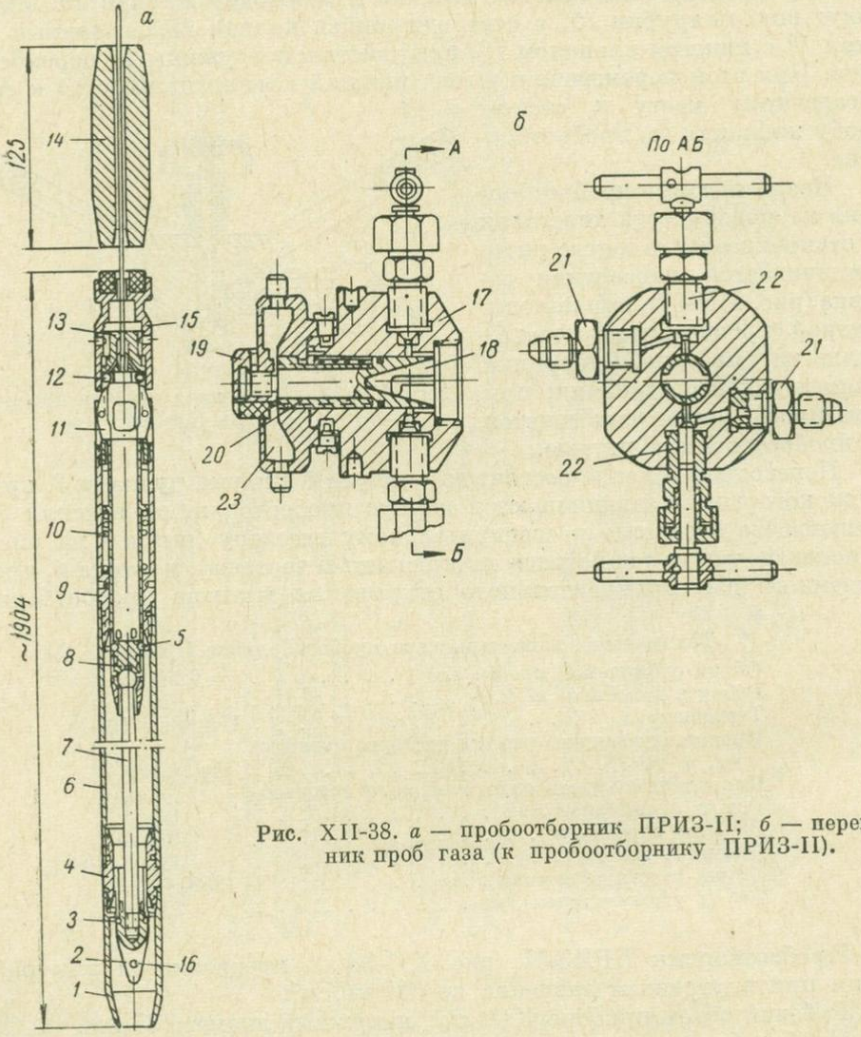


Рис. XII-38. *а* — пробоотборник ПРИЗ-II; *б* — переводник проб газа (к пробоотборнику ПРИЗ-II).

Последний от удара груза перемещается вниз и, надвигаясь на верхние концы защелок, сближает их. При этом нижние концы защелок раздвигаются и сходят с торца «юбки» клапана *8*, освобождая рабочую пружину *10*; под действием этой пружины верхний *2* и нижний *8* клапаны втягиваются в посадочные цилиндры и отсекают жидкость или газ, заполнившие рабочую камеру прибора.

Момент удара груза по стакану определяется по резкой натяжке проволоки.

После того как установлено, что груз дошел до прибора, последний поднимают из скважины.

Отбор проб газа и воды из пробоотборника производится при помощи переводника (рис. XII-38б). Для этого вместо насадки *1* к пробоотборнику присоединяют переводник с таким расчетом, чтобы штифты *16* нижнего клапана *2* вошли в вырез сердечника *18*. Затем нижний конец пробоотборника (с переводником) поднимают выше верхнего и вращением маховика *23* выдвигают из корпуса переводника винт *20* и вместе с ним сердечник *18*. Вместе с сердечником из посадочного цилиндра пробоотборника на 4—5 *мм* вытягивается нижний клапан *8*. Верхний клапан *2* остается еще закрытым. При открытии нижнего клапана газ выпускается через вентиль *22* и штуцер *21* в мерную емкость. После отбора газа конец пробоотборника с переводником опускают ниже верхнего конца прибора и вращением маховика *23* открывают верхний клапан *2*. При открытии верхнего клапана вода из пробоотборника свободно сливается через штуцер переводника в мерную емкость.

Лубрикаторы. Глубинные манометры, термометры и пробоотборники спускаются в скважины на стальной проволоке при помощи аппарата Яковлева, или механизированных лебедок ГЛНН, Азинмаш и других. Для спуска глубинного прибора в скважину с избыточным давлением на устье на фонтанной или компрессорной арматуре устанавливается лубрикатор. Лубрикатор наиболее простой конструкции (рис. XII-39) представляет собой отрезок фонтанной трубы *1* диаметром $2^1/_2$—3″ и длиной от 1,5 до 3 *м* в зависимости от длины глубинного прибора. К нижнему торцу трубы приварен фланец, которым лубрикатор устанавливается на фонтанной арматуре *2*. Сверху труба закрыта крышкой с сальником *3*, а на боковой поверхности ее установлены вентиль *4* и манометр *5*.

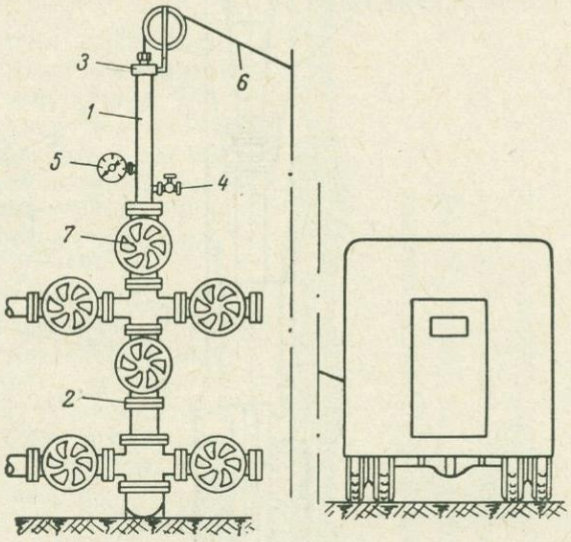


Рис. XII-39. Схема оборудования скважины для глубинных исследований.

Для спуска глубинного прибора в скважину необходимо отвернуть крышку лубрикатора, пропустить через сальник проволоку *6* и прикрепить ее к прибору. Затем прибор опускают в лубрикатор и завинчивают крышку.

Дальнейший порядок спуска прибора заключается в следующем: 1) продувают лубрикатор легким открытием буферной задвижки *7*; 2) закрывают вентиль *4* и медленно поднимают давление в лубрикаторе; 3) убедившись в герметичности лубрикатора, полностью открывают буферную задвижку; 4) записав показания манометра и счетчика, установленного на лебедке, приступают к плавному спуску прибора в скважину.

При подъеме глубинный прибор втягивают в лубрикатор, закрывают буферную задвижку, вентилем медленно спускают давление, открывают крышку и извлекают прибор.

Испытатели пластов. Для опробования пластов, вскрытых глубокими скважинами, применяются так называемые испытатели пластов конструкции УфНИИ, ГрозНИИ, Азинмаш и другие.

Наиболее простую конструкцию имеет испытатель пластов УфНИИ (рис. XII-40). Он состоит из корпуса запорного устройства *1*, запорного узла *А* с фланцем *2*, пакера (резиновой манжеты) *3*, перфорированной трубы *4* с башмаком *5* на нижнем конце ее. Верхняя часть перфорированной трубы соединена с трубчатым штоком *6*. Трубчатый шток может свободно входить внутрь фланца при сжатии пакера весом труб, на которых испытатель пластов спускается в скважину. От выпадения из фланца шток *6* удерживается в нем заплечиками.

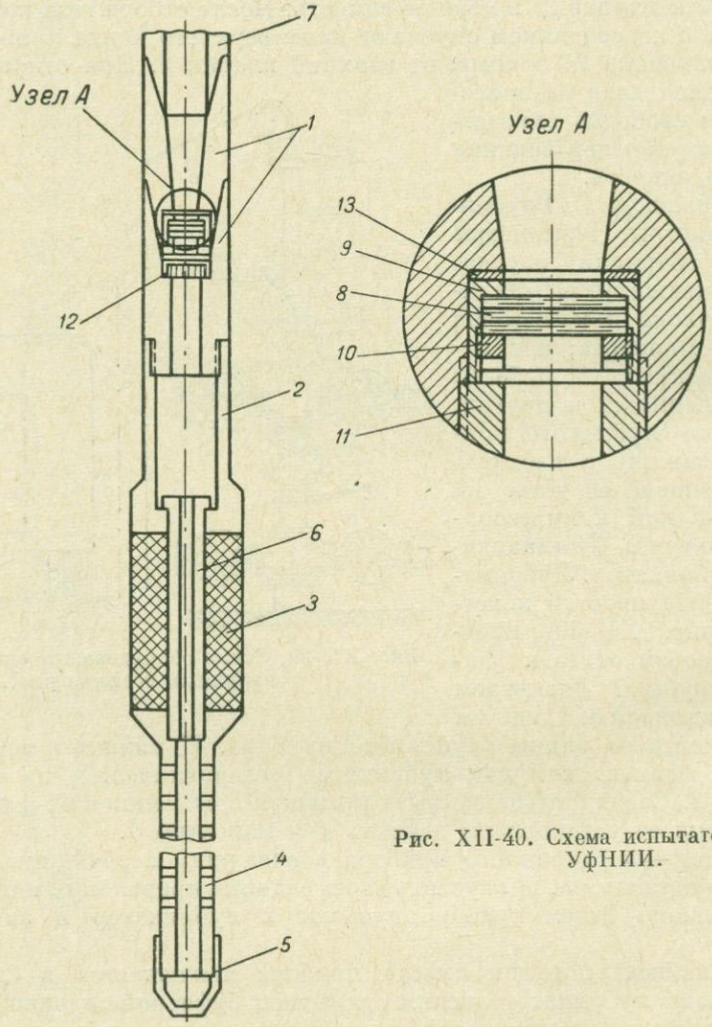


Рис. XII-40. Схема испытателя пластов УфНИИ.

Запорный узел *А* предназначен для герметизации бурильных труб *7* при спуске их с испытателем пластов в скважину. При открытии запорного устройства создается доступ содержимому пласта в пустые бурильные трубы.

Узел *А* состоит из пачки стеклянных пластинок *8*, склеенных для прочности канадским бальзамом, стеклодержателя *9*, прижимной гайки *10*, гайки *11*, решетки *12* и фибровой прокладки *13*. Места соприкосновения стеклодержателя с пачкой стекол смазываются расплавленным битумом. В качестве резиновой манжеты используется цилиндрический пакер

ГрозНИИ. Толщина пачки стеклянных пластинок определяется по формуле

$$\delta = 0{,}458\sqrt{H\gamma}, \qquad \text{(XII-21)}$$

где δ — толщина пачки стекол, *мм*;

H — глубина скважины, *м*;

γ — удельный вес глинистого раствора.

Испытатель пластов УфНИИ спускают в скважину на 4″, 5″ и 6″ бурильных трубах или на комбинированной колонне, составленной из бурильных труб (внизу) и насосно-компрессорных труб (вверху). Общий вес колонны должен быть достаточным для герметизации скважины сжатием пакера.

После установки испытателя пластов на место в бурильные трубы бросают металлический стержень диаметром 25 *мм*, длиной 1 *м*, нижний конец которого заострен под углом 60° и закален. Стержень разбивает пачку стекол запорного узла, и содержимое пласта начинает поступать в бурильные трубы. Стержень от падения в перфорированную трубу удерживается решеткой.

Герметичность уплотнения пакера проверяют по уровню глинистого раствора в затрубном пространстве. Снижение уровня раствора после открытия запорного устройства указывает на негерметичность установки пакера. Герметичность может быть достигнута дополнительной нагрузкой на пакер или вторичной проработкой ствола скважины.

По окончании испытания пласта с подъемом бурильных труб снимается нагрузка на пакер, который принимает первоначальные размеры. После чего испытатель пластов извлекается из скважины.

Испытатели пластов ГрозНИИ выпускаются типа ИП-2-4$^1/_2$ (для скважин 5″ и 6″) с цилиндрическим пакером и типа ИП-5$^3/_4$ (для скважин 7$^3/_4$″, 9$^3/_4$″, 10$^3/_4$″ и 11$^3/_4$″) с цилиндрическим и коническим пакерами.

Сваб. Откачка из глубоких скважин при гидрогеологическом их опробовании часто производится поршнем корзинчатого типа (свабом).

Поршень заводского изготовления состоит из полого штока и трех корзинок-поршней (рис. XII-41). Внутри штока находится обратный клапан. В скважину поршень спускается на канате. В случае надобности его утяжеляют грузовой штангой.

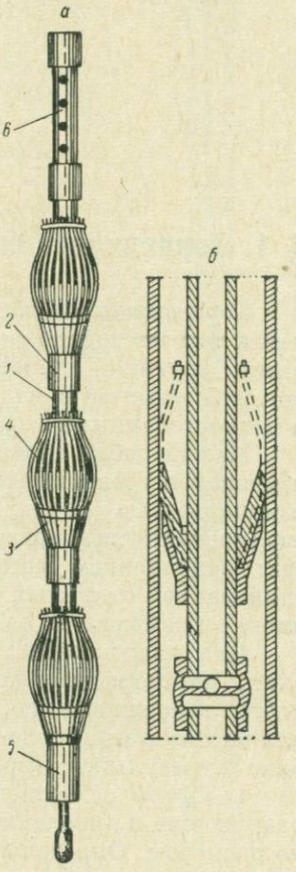


Рис. XII-41. Сваб. *а* — внешний вид поршня; *б* — деталь корзинки и обратного шарового клапана поршня;

1 — трубчатые стержни; *2* — муфты; *3* — воронки; *4* — резиновые манжеты; *5* — нижний ниппель; *6* — верхний дырчатый ниппель.

При погружении поршня в воду обратный клапан закрывается. Резиновые манжеты корзинок при подъеме поршня плотно прижимаются к трубам и на поверхность поднимается весь столб воды.

Откачку воды свабом производят при помощи бурового станка, тракторного агрегата «Бакинец» или какого-либо другого подъемника с вышкой.

МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДООБИЛЬНОСТИ СКВАЖИН

ГЛАВА XIII

§ 1. Торпедирование и перфорация скважин

Торпедирование скважин. При разведке подземных вод нередко в одном и том же водоносном горизонте одни скважины являются водообильными, другие — слабоводообильными или даже безводными. Особенно это наблюдается в водоносных горизонтах, сложенных трещиноватыми и закарстованными горными породами.

Малый дебит скважин или их безводность могут быть обусловлены изменением трещиноватости пород по глубине и простиранию; фациальной изменчивостью пород; различной степенью закарстованности пород; изолированностью трещин и пустот в одних и тех же породах и горизонтах; заполнением трещин вторичным песчано-глинистым материалом; глинизацией открытых трещин при бурении скважин с применением глинистой промывки и др.

Для малодебитных и безводных скважин, пройденных в магматических, метаморфических и крепких осадочных горных породах, применяется торпедирование, после которого скважины могут стать пригодными для эксплуатации подземных вод. При торпедировании скважины на глубине в результате взрыва образуются три сферы.

1) Сфера сплошного разрушения, в пределах которой происходит разрушение и дробление твердых пород *. Эта сфера (полость) небольшая по размерам. Определяется она, при сосредоточенном заряде, по формуле

$$R_{\text{разр}} = K_{\text{разр}} \sqrt[3]{C}, \qquad \text{(XIII-1)}$$

где $R_{\text{разр}}$ — радиус сферы разрушения, *м*;
$K_{\text{разр}}$ — коэффициент податливости горных пород разрушению (для скальных пород $R_{\text{разр}} = 0{,}1 \div 0{,}4$);
C — вес заряда ВВ (тротила), *кг*.

2) Сфера трещинообразования (необратимой деформации), в которой вследствие смещения пород и давления газов взрыва образуются радиальные и концентрические трещины в радиусе, достигающем в скальных породах величины $\approx 4R_{\text{разр}}$.

3) Сфера распространения упругой волны, не вызывающей разрушения породы (сфера сотрясения).

---

* Если породы мягкие, глинистые и пористые, тогда они под влиянием взрыва уплотняются и несколько метаморфизуются.

В пределах сферы трещинообразования значительно возрастают трещиноватость горных пород, размеры ранее существовавших трещин, повышается водопроницаемость пород, чем и обусловливается увеличение дебита скважины после ее торпедирования.

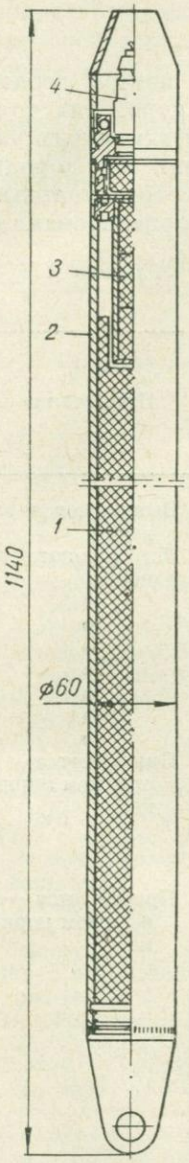


Рис. XIII-1. Торпеда Ф-2.

1 — заряд; *2* — корпус; *3* — промежуточный детонатор; *4* — взрыватель.

В настоящее время торпедирование широко применяется на нефтяных месторождениях, где для увеличения дебита нефтяных скважин и приемистости нагнетательных скважин используются различные торпеды, которые применимы и для торпедирования гидрогеологических разведочных и эксплуатационных скважин.

Торпеда любого типа состоит из заряда ВВ (часто составного), зарядной оболочки (кожуха), средств взрывания (взрыватель, патрон-боевик), головки и наконечника.

В конструктивном отношении торпеды разделяются на герметичные, у которых заряд ВВ заключен в прочную металлическую оболочку (рис. XIII-1), выдерживающую внешнее давление до 500 *ат*, и негерметичные, в которых имеется легкая алюминиевая, реже пластмассовая оболочка (рис. XIII-2), причем ВВ в этих торпедах находится в контакте со средой под давлением, существующим в окружающей жидкости. Ниже, в табл. XIII-1, приводится краткая техническая характеристика, основных типов торпед *.

Проект торпедирования скважины составляется на основе тщательного изучения ее геолого-литологического, гидрогеологического и технического разрезов.

Следует заметить, что для торпедирования гидрогеологических скважин целесообразнее применять негерметичные торпеды, так как при взрыве герметичных торпед образуется много осколков, засоряющих скважину и ее призабойную зону.

Гидрогеологическая оценка торпедирования может производиться по следующей формуле:

$$n = \frac{q_2}{q_1}, \qquad \text{(XIII-2)}$$

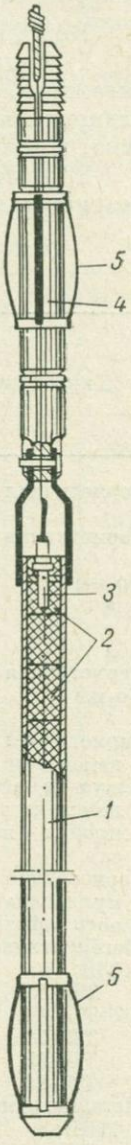


Рис. XIII-2. Схема торпеды ТШ.

1 — корпус; *2* — заряд; *3* — взрыватель; *4* — груз; *5* — центратор.

* Подробное описание торпед и условий их применения приводится в специальной литературе (см. например: С. А. Ловля, Л. А. Горбенко, Б. Л. Каплан. Торпедирование и перфорация скважин. Гостоптехиздат, 1959; Справочник геофизика. Под ред. С. Г. Комарова, т. II, Гостоптехиздат, 1961).

где n — коэффициент изменения дебита скважины;

q_1 — удельный дебит скважины до ее торпедирования;

q_2 — то же после ее торпедирования.

Коэффициент n может изменяться от 0 до 1 и более.

1) Если $n = 0$, торпедирование приводит к полной потере дебита скважины, что объясняется непригодностью водоносных пород для торпедирования (водоносные породы с высоким содержанием глинистых частиц, многочисленными прослойками и пропластками глинистых пород).

2) Если $n < 1$, но > 0, торпедирование приводит к отрицательным результатам, что объясняется непригодностью пород для торпедирования.

Таблица XIII-1

Краткая техническая характеристика торпед

Типы торпед	Наружный диаметр, *мм*	Длина, *мм*	Вес ВВ, *кг*	Примечание
Герметичная Ф-2	60	1140	2,5	Выпускаются заводом
Герметичная ТБ	60,3	1200	1,5—2,4	Изготовляются на месте
То же	48,3	1200	0,95—1,5	»
»	73,0	1200	2,3—3,6	»
»	88,9	1200	3,6—5,6	»
»	114,3	1200	5,9—9,4	»
Герметичная ТГ	48,3	1320	0,95—1,5	»
То же	60,3	1140	1,5—2,4	»
»	88,9	1140	3,6—5,6	»
Герметичная асбоцементная (кожух из асбестоцементных труб, пробки — из гипса)	101,6; 127; 152,4	Определяется конкретными условиями	Определяется в зависимости от длины	Применяется в опытном порядке
Герметичная кумулятивная осевого действия	70 и 120	То же	Заряд ВВ имеет кумулятивную выемку, обращенную книзу	Применяется в опытном порядке
Негерметичная ТШ:				
ТШ-35	40	3350	3,01	
ТШ-43	48	2760	3,37	
ТШ-50	55	2860	4,56	
ТШ-65	70	2310	4,68	
ТШ-84	90	1910	5,16	
Негерметичная ТШБ:				
ТШБ-106	106	500	5,5	
ТШБ-126	126	500	9,5	
ТШБ-166	166	500	17,1	
ТШБ-206	206	250	13,4	
ТШБ-236	236	250	17,7	
Негерметичная шнуровая ТДШ:				Применяется для очистки фильтров и перфораторных отверстий
ТДШ-25	25	Определяется конкретными условиями	Заряд состоит из детонирующего шнура	
ТДШ-50	50	То же	ДШ-В	

3) Если $n = 1$, торпедирование не дало должных результатов по различным причинам: недостаточная величина заряда; плохая очистка скважины от шлама; некоторая глинистость водоносных пород, не учтенная при составлении проекта торпедирования; недостаточная промывка скважины от глинистого раствора и др.

4) Если $n > 1$, торпедирование дало положительные результаты, дебит скважины увеличивается, иногда более чем на 100%.

Очевидно, что в первом и втором случаях не требуется повторное торпедирование, тогда как в третьем случае оно может дать положительный

Таблица XIII-2

Техническая характеристика пулевых и торпедного перфораторов

Параметры	ССП-4$^1/_4$	ССП-3$^1/_2$	ППЗ-98	ППЗ-80	ППЗ-65	ППЗ-55	АПХ-6 (АПХ-98)	АПХ-4 (АПХ-84)	ТПК-22
Наружный диаметр, *мм*	108	88	98	80	65	55	98	84	100
Длина, *мм*:									
перфоратора в сборе	2890	2890	1705	1690	1685	1582	1020	1010	775
головки	898	898	303	303	303	303	—	—	153
запальной секции	—	—	213	213	213	175	—	—	—
перфораторной секции	640	640	350	350	350	330	—	—	260
обтекателя	125	125	180	165	160	155	—	—	102
канала стволов . .	90	72	56	48	38	28	42	39	40
канала ствола . . .	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	10	12,7	12,7	22
Диаметр ствола и шаг резьбы, *мм*	—	—	45×4,5	45×4,5	39×4	36×4	—	—	60×3
Количество стволов в секции, шт.	10	10	3	3	3	3	3	3	2
Расстояние между стволами в секции, *мм* . .	50	50	75	75	75	60	56	56	88
Угол смещения осей соседних стволов в секции, град	180	180	30	40	45	45	36	36	180
Количество перфораторных секций в одной сборке, шт.	До 3	До 3	До 15	До 30	До 20	До 15	3	3	3
Объем пороховой камеры, *см*^{3}	4,5	3,7	6,8	4,5	3,8	3	3,9	3,3	40
Вес перфоратора в сборке, *кг*	140	100	78	56	34	21	48	36	33
Плотность перфорации (среднее количество стволов на 1 *м*) . . .	15,6	15,6	8,6	8,6	8,6	9	18	18	7,7
Допустимое гидростатическое давление, *ат*	500	500	600	600	600	600	700	700	500
Допустимая рабочая температура, °С . . .	120	120	120—180	120—180	120—180	120—180	120	120	120—165

Примечание. 1) Корпуса и стволы перфораторов ППЗ изготовляют из стали 18ХНВА, перфораторов ССП-4$^1/_4$, ССП-3$^1/_2$ и ТПК-22 из стали ОХНЗМ, перфораторов АПХ-6 и АПХ-4 — из той и другой стали. 2) Для перфораторов ССП-4$^1/_4$ и ССП-3$^1/_2$ взята длина при трех секциях с учетом кабельной головки. 3) Для ССП-4$^1/_4$ и ССП-3$^1/_2$ указана полная длина канала ствола; часть ее занята пороховым зарядом. Длина собственно канала ствола, проходимого пулей, составляет соответственно 52 и 42 *мм*. 4) Длина и диаметр запрессованного в корпусе ствола для перфоратора ССП-4$^1/_4$ составляет 107 и 42 *мм*, для перфоратора ССП-3$^1/_2$ — 89 и 38 *мм*. 5) Допустимая рабочая температура зависит от применяемых зарядов и воспламенителей.

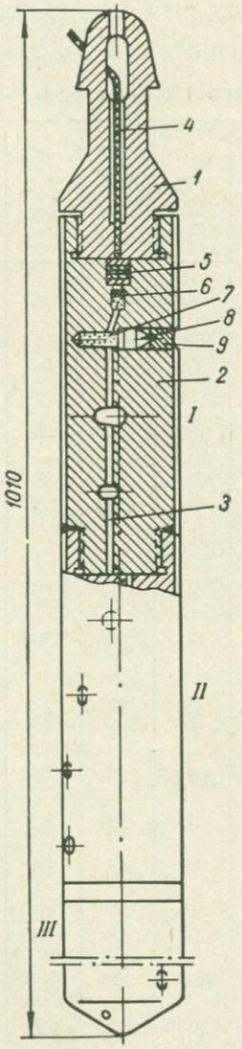


Рис. XIII-3. Перфоратор АПХ-4.

1 — кабельная головка; *2* — корпус; *3* — наконечник; *4* — кабель; *5* — уплотнение; *6* — электрозапал; *7* — пороховой заряд; *8* — пуля; *9* — резиновая пробка.

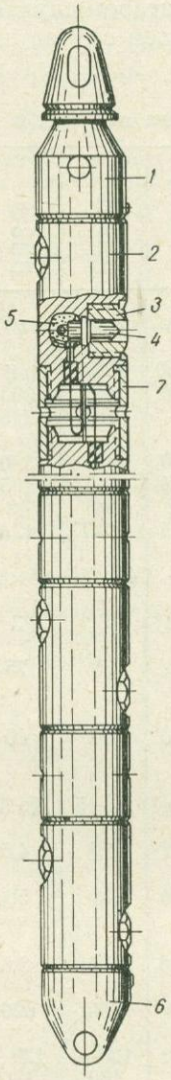


Рис. XIII-4. Торпедный перфоратор ТПК-22.

1 — кабельная головка; *2* — секция; *3* — ствол; *4* — снаряд; *5* — пороховая камера; *6* — наконечник; *7* — муфта соединительная.

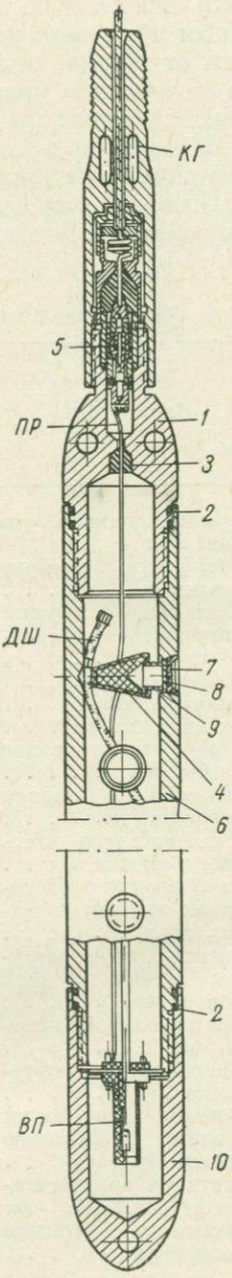


Рис. XIII-5. Кумулятивный перфоратор ПК-103.

КГ — кабельная головка; *ДШ* — детонирующий шнур; *ПР* — электропровод; *ВП* — взрывной патрон. *1* — головка перфоратора; *2* — герметизирующие резиновые уплотнения; *3* — резиновая уплотнительная пробка; *4* — кумулятивный заряд; *5* — электроввод; *6* — корпус перфоратора; *7* — резиновая пробка, герметизирующая отверстие; *8* — опорный диск; *9* — бумажная втулка; *10* — наконечник.

результат, если применять для повторного торпедирования торпеды типа ТШ или ТДШ.

Перфорация скважин производится в разведочных, эксплуатационных и нагнетательных скважинах для вскрытия нефтеносных, газоносных и водоносных пластов, перекрытых обсадными трубами и цементными кольцами. В некоторых случаях перфорацию производят и для увеличения дебита разведочных и эксплуатационных скважин или приемистости нагнетательных скважин.

Для перфорации применяются пулевые, торпедные и кумулятивные перфораторы (рис. XIII-3, 4, 5). В табл. XIII-2 и XIII-3 приводится техническая характеристика перфораторов.

Подробное описание перфораторов и их баллистических данных дается в специальной литературе.

Здесь мы только заметим, что для перфорации гидрогеологических скважин, пройденных в водоносных горизонтах, сложенных песками или слабосцементированными песчаниками, можно применять пулевые перфораторы.

Для скважин, пройденных в магматических, метаморфических и твердых осадочных горных породах, обладающих слабой водопроницаемостью, хорошие результаты в отношении увеличения водопроницаемости пород может дать применение торпедного перфоратора ТПК-22 или кумулятивных перфораторов типов ПК, ПКС и других.

Гидрогеологическая оценка перфорируемых скважин может производиться по формуле (XIII-2), если перфорация выполняется в целях повышения фильтрационных свойств водоносных горных пород, вскрытых или пройденных скважинами.

§ 2. Гидравлический разрыв пласта

Гидравлический разрыв пласта является эффективным средством увеличения проницаемости пород призабойной зоны скважин. Он применяется для ускорения притока жидкости из пластов к забоям эксплуатационных скважин и увеличения приемистости нагнетательных скважин при заводнениях нефтяного пласта.

Для образования разрывов и глубоких трещин в нефтеносные пласты под большим давлением через скважины закачивают нефть или специально вязкие жидкости. Трещины разрыва, возникающие в пластах, обнажают большие площади нефтеносных пород, что в значительной мере облегчает поступление нефти или воды в скважины из слабопроницаемых продуктивных пластов. В некоторых случаях дебит скважин после гидравлического разрыва увеличивается в несколько раз.

Методика гидравлического разрыва пласта заключается в создании на забое скважины высокого давления, превышающего местное горное давление в призабойном участке скважины, с прибавлением некоторой дополнительной величины, зависящей от прочности разрываемой породы. В процессе гидравлического разрыва в пласте расширяются естественные или возникают новые трещины, за счет чего и увеличивается проницаемость пород призабойного участка.

Для сохранения трещин в раскрытом состоянии вместе с вязкой жидкостью закачивается определенное количество крупнозернистого песка, препятствующего смыканию трещин после снижения давления.

Создание трещин, распространяющихся на значительные расстояния от призабойной зоны скважины, улучшает приток жидкости из природного коллектора (пласта) к скважине.

Таблица XIII-3

Техническая характеристика кумулятивных перфораторов

Параметры	Корпусные					Безкорпусные			Разрушающиеся				Раскрывающиеся	
	ПК-103-10	ПК-103-20	ПК-85-10	ПК-65-10	ПК-103-10×4	ПКС-100	ПКС-105	ПКС-80	КПР-100	КПР-80	КПР-65	КПР-50	ПКР-55	ПКР-45
Наибольший поперечный размер, *мм*	105	105	85	65	105	160	105	80	100	80	65	50	55/120	45/114
Длина перфоратора с кабельной головкой (в стандартной сборке), *мм*	1660	2510	1630	1500	1660	4900	4450	4420	2400	2400	2365	2200	2500	2400
Число зарядов в стандартной сборке, шт. . .	10	20	10	10	40	20	40	40	20	20	20	20	20	20
Расстояние между зарядами, *мм*	85	85	75	75	85	200	85	85	80	80	80	80	86	80
Угловой сдвиг между осями соседних зарядов, град	90	90	90	90	90/45	180	180	180	90	90	90	90	180	180
Количество отверстий на 1 *м* за один спуск в скважину, шт.	12	12	13	13	48	5	12	12	12,5	12,5	12,5	12,5	12	12,5
Вес в сборке, *кг*	50	80,5	36	22,5	48,9	80	70	27	14,5	12	10,5	6,5	10	9
Возможное увеличение секций (звеньев) до числа зарядов, шт.	30	40	30	30	80	50	200	300	200	200	200	200	100	100
Живучесть корпуса (по числу залпов), шт.	25—30	25—30	20	15	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание. 1) Допустимое гидростатическое давление составляет для всех перфораторов 500 *ат*, за исключением перфораторов ПКР с зарядами в пластмассовых оболочках (250 *ат*) и перфораторов КПР с зарядами в пластмассовых оболочках (300 *ат*). 2) Допустимая температура, при которой могут работать снаряженные перфораторы, зависит от применяемых зарядов, средств взрывания и герметизирующих деталей, не превышает 150° С. 3) Для ПКР-55 и ПКР-45 указан наибольший поперечный размер в сложенном положении (числитель) и в раскрытом положении (знаменатель). 4) Для ПК-103-10×4 указаны углы между осями зарядов, расположенных в одном (числитель) и в смежных сечениях (знаменатель). 5) Вместо ПК-85-10 раньше применяли перфоратор ПК-80, имеющий наружный диаметр 80 *мм*.

В последнее время гидравлический разрыв пласта производят следующим образом. В скважину под соответствующим давлением закачивают хорошо фильтрующуюся жидкость, например, воду или сырую нефть. В призабойной зоне создается при этом горизонтальная или наклонная трещина (возможно, ряд трещин), связывающая забой скважины с системой естественных трещин. После закачивают в скважину слабофильтрующуюся вязкую жидкость, содержащую песок. Эта жидкость, распространяясь по системе трещин, заполняет их песком, чем предупреждается смыкание их стенок после прекращения нагнетания. Вязкая жидкость, внедрившаяся в трещины, в дальнейшем извлекается из призабойной зоны оттартовыванием или свабированием.

Г. К. Максимович [1957] обращает внимание на универсальность метода гидравлического разрыва пласта. В самом деле, метод кислотной обработки применим только в карбонатных породах, метод торпедирования — в плотных монолитных породах, метод же гидравлического разрыва с успехом применяется в самых разнообразных геологических условиях.

Внедрение гидроразрыва пласта в практику опробования глубоких скважин на минеральные лечебные, промышленные и термальные воды является важной научно-практической задачей гидрогеологических исследований, проводимых при разведке и эксплуатации этих вод.

§ 3. Солянокислотная обработка скважин

При кислотной обработке скважин соляная кислота растворяет карбонатные породы как стенок ствола скважины, так и стенок трещин в пласте.

Наибольшее значение для увеличения дебита скважин имеет расширение трещин и образование каналов разъедания, протягивающихся на некоторое расстояние от ствола скважины. Эти трещины и каналы, соединяясь с естественными обводненными более крупными трещинами и пустотами, увеличивают тем самым производительность скважин.

Обработка соляной кислотой водозаборных, водопонижающих и водопоглощающих скважин широко практикуется в Подмосковном угольном бассейне. На промыслах Урало-Волжского нефтеносного района, где коллекторами нефти являются в основном карбонатные породы, также широкое распространение получила кислотная обработка скважин.

Практикой установлено, что при обработке маломощных пластов, сложенных карбонатными породами, и закачке в них по 4—6 $м^3$ кислоты дебиты скважин нередко увеличиваются в 3,5 и 10 раз по сравнению с дебитами до обработки [Абдулаев и др., 1956].

Для выявления истинных путей проникновения кислоты в породу призабойной зоны скважин и установления характера растворения пород были проведены опыты, приближенно моделировавшие обработку скважин соляной кислотой [Каширин, 1957]. Опытами установлено, что растворение карбонатных пород происходит, как правило, по одной или нескольким узким кавернообразным трещинам (каналам) разъедания.

Образование новых и расширение существующих трещин в породе пласта в процессе кислотной обработки приводит к резкому увеличению средней проницаемости пласта.

Описанные опыты свидетельствуют, что разрушительную работу кислота производит по ограниченному числу определенных путей в толще пород. Длина таких путей, по-видимому, не превышает 3—4 $м$ [Абдулаев и др., 1956].

Концентрацию соляной кислоты выбирают исходя из свойств подлежащего обработке пласта, в зависимости от его проницаемости и состава. Чаще применяют 10—15%-ный раствор соляной кислоты. Для пластов низкой проницаемости используют кислоту большей, а для пластов высокой проницаемости — меньшей концентрации. Кислоту с концентрацией более 15% применять не рекомендуется, так как многочисленные примеры указывают, что даже ингибированная кислота вредно воздействует на металл обсадных труб.

Количество соляной кислоты, потребной для обработки скважины, зависит от мощности и водопроницаемости пласта. В слабопроницаемых пластах на каждый метр обрабатываемого интервала скважины расходуется 0,4—0,6 $м^3$ 10—15%-ного раствора соляной кислоты, а в сильнопроницаемых пластах от 1,0 до 1,5 $м^3$ [Максимович, 1957].

После заливки в скважину соляной кислоты незамедлительно закачивается продавочная жидкость (нефть или вода). Последняя нагнетается в породы при высокой проницаемости породы под давлением до 10 *ат*, а при низкой проницаемости — до 25 *ат*. Назначение продавочной жидкости — вытеснить из ствола скважины раствор соляной кислоты в пласт известняка или других карбонатных пород. Объем продавочной жидкости должен быть равен объему заливочных труб плюс объем ствола скважины в интервале обработки. Как раствор кислоты, так и продавочную жидкость рекомендуется закачивать в технически возможный короткий срок (обычно от 30 *мин* до 2 *ч*).

С. В. Комиссаров [1959], основываясь на лабораторных исследованиях, считает, что обработку скважин возможно проводить и без закачки продавочной жидкости. В этом случае после окончания заливки кислоты скважину герметически закрывают. Выделяющаяся при реакции соляной кислоты с карбонатными породами углекислота резко повышает давление, что и способствует продавливанию из ствола скважины в пласт раствора кислоты. В производственных условиях этот способ еще не испытан.

В слабопроницаемые пласты нередко за один прием не удается закачать расчетное количество кислоты. В связи с этим прибегают к двукратной обработке. Вначале в скважину закачивают 2—3 $м^3$ раствора, после чего в ней поддерживают давление в течение нескольких часов. Когда давление в скважине снижается, закачивают вторично кислоту в объеме 5—7 $м^3$.

Скорость действия соляной кислоты на карбонатные породы зависит от следующих естественных и искусственных факторов: литологии пород и характера их трещиноватости и кавернозности; концентрации соляной кислоты; давления в зоне реакции; температуры раствора; наличия в растворе некоторых реагентов, оказывающих влияние на ход реакции.

Наблюдениями установлено, что процесс взаимодействия соляной кислоты с породами интенсивнее протекает в чистых кальцитовых и доломитизированных известняках: в них процесс заканчивается в 30—50 *мин*. Наличие сульфатов, силикатов и алюмосиликатов в известняках снижает скорость реакции. Повышенная трещиноватость пород способствует проникновению раствора в пласты на бóльшие расстояния.

На интервале течения реакции в скважине повышается давление. Высокое давление в значительной степени замедляет процесс взаимодействия кислоты с карбонатными породами, но благоприятствует более глубокому проникновению раствора по трещинам и пустотам в пласт. Например, если скорость реакции при атмосферном давлении принять равной единице, то при давлении 7,5—10 *ат* эта скорость замедляется в 30—35 раз.

Температура раствора также оказывает заметное влияние на скорость реакции. Так, например, при понижении температуры с 20 до 0° С скорость реакции замедляется почти в 2,5 раза.

В скважинах, вскрывших нефть, для замедления скорости реакции в раствор соляной кислоты добавляют препарат ДС («детергент советский»), представляющий собой натриевую соль сульфированного нефтепродукта. В случае добавления в раствор препарата ДС в количестве 0,5% скорость реакции снижается в 2,7 раза.

Обработка соляной кислотой водозаборных скважин, пройденных для целей водоснабжения, производится следующим образом [Комиссаров, 1959].

В законченную бурением скважину опускают до определенной глубины эрлифт с водоподъемными трубами диаметром 127 *мм* и воздухопроводными трубами 25,4 *мм*. С помощью эрлифта производят откачку воды из скважины. После откачки устье скважины герметически закрывают, а по колонне водоподъемных труб сливают из автоцистерны ингибированную соляную кислоту в течение 10—15 *мин*. Вслед за этим в течение 15—20 *мин* нагнетают в скважину сжатый воздух при помощи компрессора, а затем в обсадные трубы закачивают воду в объеме 1—2 цистерн, после чего вторично нагнетают воздух под давлением 2—5 *ат* и оставляют скважину под этим давлением на срок до одних суток. Для удаления из скважины продуктов реакции вторично производят откачку воды эрлифтом. Если кислотная обработка окажется недостаточно эффективной, проводят по указанной методике повторную обработку.

Нередко эффективность кислотной обработки скважин оказывается кратковременной (несколько месяцев). Поэтому иногда целесообразно прибегать к повторной обработке скважин соляной кислотой. Такая обработка обычно бывает менее эффективной по сравнению с первичной [Абдулаев и др., 1956], причем на каждую последующую обработку расходуется больше кислоты, чем на предыдущую. Это обстоятельство вызвано как расширением ствола скважины, так и более глубоким проникновением по трещинам в пласт раствора кислоты.

Эффективность кислотной обработки водозаборных скважин в ряде районов оказалась весьма высокой — с коэффициентом увеличения дебита 3—20 [Комиссаров, 1959]. Но на участках плотных слаботрещиноватых известняков кислотная обработка скважин показывает невысокую эффективность.

С целью увеличения производительности водопонижающих скважин в Подмосковном буроугольном бассейне применяются следующие методы кислотной обработки: заливка кислоты в скважину; заливка кислоты с последующей водной нагрузкой; заливка кислоты с последующей водной нагрузкой и продавливанием сжатым воздухом; заливка кислоты с продавливанием ее сжатым воздухом *. При этом применяется ингибированная техническая соляная кислота 20%-ной концентрации.

В остальном методика обработки водопонижающих скважин аналогична применяемой при обработке водозаборных скважин.

Если скважина, подлежащая обработке соляной кислотой, проходится с промывкой глинистым раствором, для разрушения глинистой корки и очистки призабойной части от шлама в скважину заливается соляная кислота крепостью 8—10%. Объем кислоты должен соответствовать объему интервала скважины, подлежащего обработке. Через 8—12 *ч* после заливки раствора при помощи желонки, сваба или эрлифта производят

---

* Эта методика может быть рекомендована и для увеличения приемистости водопоглощающих скважин.

откачку до полного осветления жидкости и исчезновения признаков наличия в воде раствора соляной кислоты и затем очищают желонкой забой скважины от шлама. Только после выполнения всех этих операций приступают к обработке соляной кислотой призабойной зоны скважины по методике, разобранной выше.

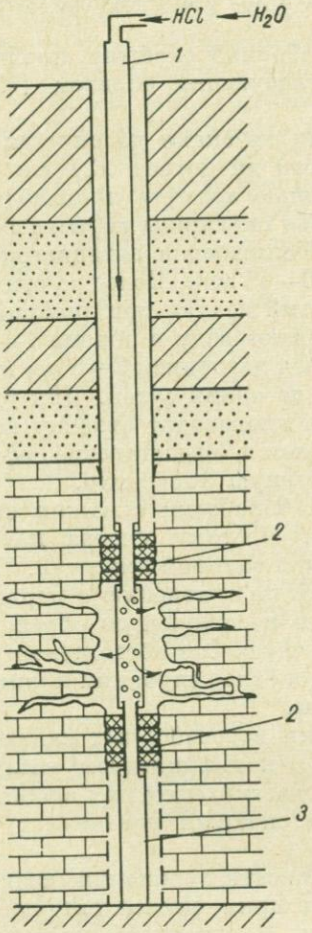


Рис. XIII-6. Схема зональной обработки скважин соляной кислотой с помощью пакеров АзНИИ (по С. В. Комиссарову).

1 — нагнетательная труба; *2* — пакеры; *3* — хвостовик.

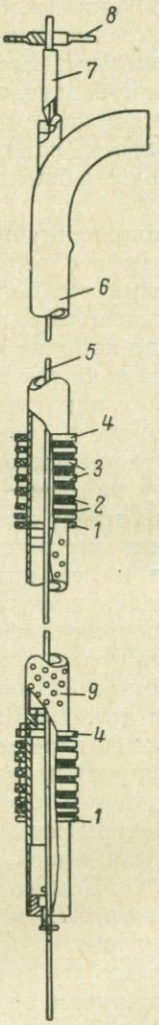


Рис. XIII-7. Двойной тампон типа «Ерыкла».

1 — нижнее опорное кольцо на натяжных трубах; *2* — металлические шайбы-прокладки; *3* — резиновые кольца; *4* — верхнее опорное кольцо на упорных трубах; *5* — внутренние натяжные трубы; *6* — внешние опорные трубы; *7* — опоры для домкратной муфты; *8* — домкратная муфта; *9* — перфорированная труба.

Существенное значение придается герметизации скважины на время взаимодействия соляной кислоты с карбонатными породами.

Нередко герметизация осуществлялась на отметке устья скважины. В этом случае фрезер и нижняя часть обсадных труб находятся в активной зоне реакции кислоты с породой, что обусловливает разрушение известняков на участке фрезера и может в итоге привести к нарушению изоляции обрабатываемого интервала скважины от вышележащих пластов пород и заключенных в них водоносных горизонтов.

Во избежание такого явления в последнее время для герметизации призабойного интервала скважины стали применять пакеры или одинарные тампоны. При зональной обработке ствола скважины на нагнетательной колонне труб монтируются два пакера, а часть трубы между пакерами перфорируется (рис. XIII-6). Для этой же цели применяются двойные тампоны (рис. XIII-7).

§ 4. Механическая прочистка фильтров эксплуатационных скважин

Некоторые скважины в процессе эксплуатации снижают свой дебит. Обусловливается это заносом фильтра скважины песчаным материалом. Если происходит занос фильтра мелким песком с диаметром частиц меньше проходных отверстий сетчатых фильтров, это указывает на несоответствие номера установленных сеток гранулометрическому составу песков водоносных пластов. Если же в фильтре обнаружен разнозернистый песок с диаметром частиц, крупнее проходных отверстий сетчатых фильтров, это сигнализирует о повреждении поверхности фильтра. Заполнение фильтра разнозернистым песком на значительную высоту может произойти по кольцевому зазору между надфильтровой и обсадной трубами вследствие повреждения тампонажного устройства.

Для выяснения причин заноса фильтра и снижения дебита скважины производят очистку фильтра, часто при помощи обычных желонок, опускаемых на штангах или тросе. Такой метод очистки должен применяться с большой осторожностью, особенно в фильтрах, оборудованных сетками. При работе желонкой осадок в фильтре уплотняется, а частью накапливается в зазоре между сеткой и каркасной трубой. Чрезмерное накопление в зазоре песка приводит к деформации (расширению) сетки, а в дальнейшем и к ее разрыву. Надежнее в работе поршневая желонка (рис. XIII-8), отсасывающая воду с породой из фильтра.

Наиболее надежные результаты дает способ обратной промывки скважины, если фильтр заполнен мелкозернистым песком: вода, нагнетаемая с помощью насосов в зазор между обсадными трубами и водоподъемной трубой, пропущенной в центре, через последнюю выносит на поверхность размываемый песок.

Хорошие результаты дает также очистка фильтров от песчаного материала при помощи эрлифта (рис. XIII-9). Этим способом можно производить очистку в короткие сроки и без всякого повреждения фильтров, из какого бы материала они ни были сделаны, причем удаляются на поверхность не только песчаные частицы, но и гравий и даже мелкие гальки.

Сопоставляя результаты откачек до и после очистки, представляется возможным судить о ее эффективности.

Если при откачках после очистки фильтра будет отмечен снова занос его песчаной породой, это будет свидетельствовать о повреждении фильтрующей поверхности. В данном случае требуется ремонт или замена фильтра.

Малая эффективность очистки фильтра может указывать на зарастание фильтра под влиянием физико-химических процессов.

Для удаления осадков с внутренней стороны фильтров нередко применяют специальные ерши (рис. XIII-10), опускаемые на тросе или штангах. Металлическая щетина ершей соскребает осадки и прочищает часть проходных отверстий сетки фильтра. Иногда на нижний конец ерша навинчивается патрубок, позволяющий во время соскребания осадков подавать через штанги воду под большим давлением. При таком

комбинированном способе одновременно соскребаются осадки и промываются проходные отверстия сетки фильтра.

Прочистка проходных отверстий фильтра от механической закупорки производится также гидравлическими ударами с последующим созданием в скважине вакуума, что осуществляется специальными поршнями с манжетами и клапаном. Для увеличения веса поршня на него навинчивается ударный патрон. При быстром погружении на тросе такого снаряда в скважину через столб воды передается давление на забой и стенки фильтра, что и приводит к частичному освобождению проходных отверстий от песчаного и другого заполнения. При дальнейшем погружении поршня клапан открывается и пропускает через него воду. Резкий подъем поршня создает в скважине вакуум,

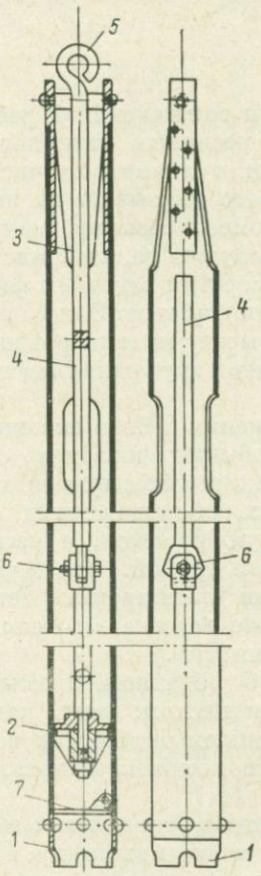


Рис. XIII-8. Поршневая колонка.

1 — башмак; *2* — поршень; *3* — отверстие вилки; *4* — шток поршня; *5* — ушко; *6* — шарнир штока; *7* — клапан.

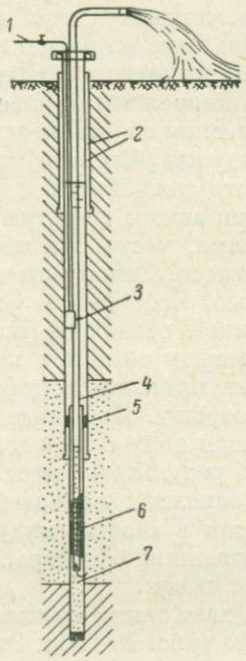


Рис. XIII-9. Очистка фильтра с помощью эрлифта при параллельном расположении водоподъемных и воздушных труб.

1 — воздушная труба; *2* — обсадные трубы; *3* — форсунка; *4* — водоподъемная труба; *5* — сальник; *6* — фильтр; *7* — осадки.

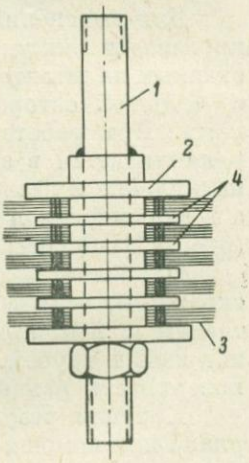


Рис. XIII-10. Ерш для прочистки сетки фильтра.

1 — штанга; *2* — опорный фланец; *3* — стальная проволока-щетина; *4* — промежуточные фланцы для крепления щетины.

под действием которого подземная вода с большой скоростью устремляется в скважину и частично вымывает песчаные и другие частицы, застрявшие в сетке фильтра и в отверстиях трубы, заклинившие рабочую поверхность фильтра. При использовании последнего метода необходимо соблюдать известные меры предосторожности во избежание повреждения сеток фильтров.

При помощи специального устройства, состоящего из дырчатого цилиндра с брезентовыми или резиновыми баллонами по концам, сильной

струей воды, устремляющейся из водоносного пласта в скважину, фильтр промывается только на отдельных участках или последовательно по всей длине. Нагнетаемый компрессором воздух не только создает вакуум на определенном участке скважины, но и изолирует этот участок от соседних путем заполнения воздухом баллонов устройства. При подаче на поверхность водяно-воздушная смесь выносит минеральные частицы, закупоривавшие проходные отверстия фильтра.

§ 5. Кислотная обработка фильтров эксплуатационных скважин

К кислотной обработке фильтров прибегают с целью восстановления дебита скважин, снизившегося в результате выпадения из воды осадков, закупоривающих проходные отверстия сеток фильтров и цементирующих прилегающие к фильтру породы. Реже аналогичную обработку производят в профилактических целях, а также при извлечении старых фильтров с целью уменьшения подъемных усилий. Для увеличения дебита эксплуатационных скважин используют растворяющие осадки, химические реагенты. При этом, конечно, каркасы и покрытия фильтров не должны подвергаться разъеданию (коррозии).

Выделяют два вида кислотной обработки: 1) однорастворную, когда в фильтр подается только соляная кислота для растворения минеральных осадков, и 2) двухрастворную, когда осадки состоят не только из минеральных, но и из органических веществ. Для разрушения последних производится повторная обработка фильтра серной кислотой.

В подземных водах с повышенной карбонатной жесткостью и с большим содержанием железа, обычно дающих значительное количество минеральных осадков, независимо от состава материалов, из которых изготовлены фильтры, рекомендуется применять фильтры с большей площадью проходных отверстий и бóльшим процентом скважности — до 60—70% [Гаврилко, 1954]. Очевидно, что в средне- и мелкозернистых песках фильтры указанного типа могут применяться только в комбинации с гравийной засыпкой. Зарастание фильтров с высоким процентом скважности происходит за более продолжительный срок, чем фильтров с малым процентом скважности. Рекомендуется периодически проводить профилактические кислотные промывки скважин, в которых происходит отложение минеральных осадков.

При обработке фильтров кислотами необходимо учитывать конструкцию скважины; гранулометрический состав водоносных пород, в которые поставлен фильтр; полный химический анализ эксплуатируемых вод; химический анализ осадков, закупоривающих сетки фильтров (на тех водозаборах, где смена фильтров и перебуривание скважин производились неоднократно); материалы, из которых изготовлены каркасы фильтров (эти материалы должны быть устойчивы против кислот — нержавеющая сталь, пластмассы, керамика, дерево и т. п.).

В том случае, если фильтры изготовлены из некислотоупорных стальных труб, применяется так называемое ингибирование кислот — введение в соляную кислоту органических добавок, замедляющих процесс разрушения металлов.

Перед кислотной обработкой скважины рекомендуется очистить фильтр от песчано-глинистого заполнения и произвести интенсивную откачку воды с возможно наибольшим понижением уровня.

Состав осадков, закупоривающих проходные отверстия фильтров и цементирующих прилегающие к нему породы, различен. На практике

чаще приходится встречаться с осадками, состоящими из гидратов окиси железа, углекислого кальция и магния и аморфного кремнезема.

При химической обработке фильтров в качестве основного растворителя обычно применяется техническая соляная кислота крепостью 15% и более, под воздействием которой гидрат окиси железа, основное углекислое железо, углекислый кальций и другие соединения из нерастворимого в воде состояния переходят в растворимое.

Обработка фильтров кислотами не всегда приводит к положительным результатам. Если проходные отверстия фильтра закупорены кварцевыми зернами или солями кремнекислоты, обработка фильтра раствором соляной кислоты не дает сколько-нибудь заметного эффекта. Для растворения силикатов кальция и магния вводят в соляную кислоту добавку фтористого аммония в количестве 2% от объема кислоты. При этом образуется фтористоводородная кислота, которая способна растворять силикаты.

Серную кислоту для разрушения органических веществ вводят в фильтр только после промывки скважины откачкой от соляной кислоты.

Заливка кислоты производится через резиновый шланг или черные газовые трубы, которые опускают на забой скважины, а по мере заполнения кислотой фильтра их постепенно приподнимают. Под воздействием налитой кислоты фильтр находится 12—18 *ч*, после чего проводится контрольная откачка воды. Для удобства сравнения результатов откачки до и после кислотной обработки величины понижения уровня должны быть приблизительно одинаковыми. Об эффективности кислотной обработки фильтров судят по общим и удельным дебитам, полученным при откачках до и после обработки.

Для освобождения скважины от кислот в течение первых (обычно 2—3) часов откачку следует производить на выброс, проверяя реакцию воды на лакмус или титруя воду азотнокислым серебром на содержание иона хлора.

§ 6. Вакуумирование скважин

Установлено, что изменение атмосферного давления оказывает влияние на дебит источников, скважин и колодцев. В случае повышения давления дебит источников или уровень воды в колодцах понижается и наоборот. Это природное явление использовано с целью увеличения производительности скважин.

При благоприятных естественных условиях искусственное разрежение в напорном пласте или в скважине, вскрывшей грунтовые воды, может существенно влиять на дебит скважин. Принцип работы вакуум-скважин, разработанный еще в 1933 г. А. Н. Нифонтовым, заключается в том, что специальным тампоном нижняя часть скважины изолируется от атмосферы (рис. XIII-11). Тампон, поставленный в верхней части обсадных труб, способствует созданию при откачке из скважины разрежения.

Разрежение может быть создано также при помощи специального вакуум-насоса или же водоструйного насоса, работающего на напорной воде, выкачиваемой из скважины эксплуатационным насосом. При водоотборе из скважины, работающей с разрежением (оборудованной вакуум-насосом), необходимо на интервале ее приемной части поддерживать заданный вакуум, что достигается периодическим включением вакуум-насоса. Схема действия водокольцевого вакуум-насоса ясна из рис. XIII-12.

Устранением атмосферного противодавления достигается увеличение напора, что, естественно, обусловливает повышенный водоприток в скважину. Наиболее эффективной работа вакуум-скважин будет при откачках из напорных пластов.

Рассмотрим работу вакуум-скважины в напорном пласте. Как известно, откачки из скважин и шахтных колодцев вызывают понижение в них напорного уровня, в результате чего у водозаборных точек образуется депрессионная поверхность подземных вод (кривая *ab* на рис. XIII-11). В случае оборудования скважины тампоном внутри создается разрежение. Местная изоляция водоносного горизонта от атмосферного давления обусловливает возникновение дополнительного напора (отрезок *bc*).

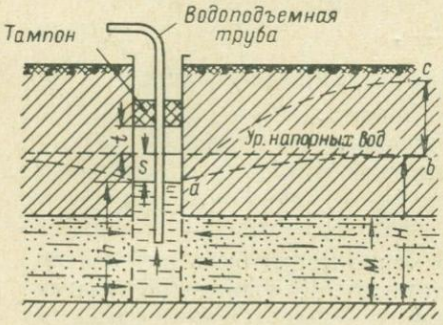


Рис. XIII-11. Схема вакуум-скважины в напорном горизонте.

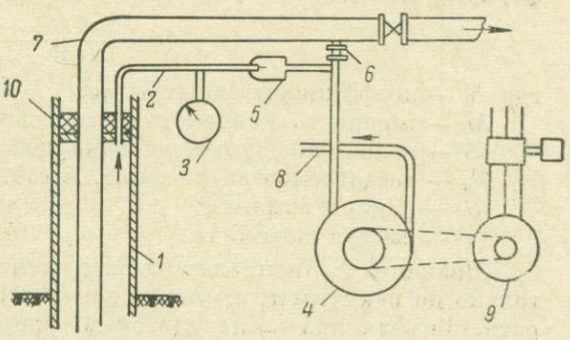


Рис. XIII-12. Схема установки водокольцевого вакуум-насоса на скважине.

1 — скважина; *2* — всасывающая трубка, пропущенная через тампон; *3* — вакуумметр; *4* — вакуум-насос; *5* — клапан, предотвращающий проникновение воздуха в скважину при остановке вакуум-насоса; *6* — регулировочный кран; *7* — водоподъемный трубопровод; *8* — воздуховодоотводящая трубка; *9* — электродвигатель; *10* — тампон.

Чем больше будет разрежение, создаваемое внутри скважины, тем сильнее оказывает влияние атмосферное давление на производительность скважины. Приращение напора теоретически можно довести до 10 *м*; практически же оно, по-видимому, не будет превышать 8—8,5 *м*. Создаваемое при этом дополнительное давление увеличивает уклон потока вблизи скважины, что и обеспечивает увеличение расхода скважин в среднем в 2,5—3,5 раза (этот уклон представлен на рисунке кривой *ac*).

В табл. XIII-4 приводятся данные, характеризующие эффективность работы вакуумных фильтров и колодцев [Комиссаров, 1959].

Таблица XIII-4

Эффективность работы вакуумных фильтров и колодцев

Тип осушительного устройства	Величина вакуума, *мм рт. ст.*	Коэффициент увеличения дебита
Забивной вакуум-фильтр	150—230	2,6—3,0
Шахтный грунтовой вакуум-колодец . . .	320—530	2,4—3,54
Шахтный артезианский вакуум-колодец . .	260	3,9
Трубчатая артезианская вакуум-скважина	635	3,04
То же	540	2,1—3,6
То же	500—530	2,9—3,0
Водопонижающая артезианская вакуум-скважина	600	5,0
То же	—	1,5

По данным работ, выполненных в Подмосковном угольном бассейне, вакуумирование оказалось эффективным средством увеличения дебита скважин, вскрывшим как напорные, так и безнапорные водоносные горизонты, независимо от глубины их залегания (Комиссаров, 1959).

Расчеты показывают, что вакуум-скважины дают наибольший эффект при относительно небольшом понижении уровня. М. Е. Альтовский [1946] определил, исходя из прямолинейной зависимости дебита скважины от понижения, что разрежение, равное 8 *м вод. ст.*, при понижении уровня на 8 *м* дает увеличение дебита в 2 раза, а при понижении уровня на 40 *м* — только в 0,2 раза.

М. Е. Альтовский, преобразуя формулу Дюпюи, дает следующую формулу для дебита артезианской вакуум-скважины:

$$Q = \frac{2\pi KM(S + h_a)}{\ln R - \ln r}, \qquad \text{(XIII-3)}$$

где K — коэффициент фильтрации;
M — мощность напорного водоносного пласта;
S — величина понижения напорного уровня;
h_a — создаваемое разрежение, *м вод. ст.*;
R — радиус влияния;
r — радиус скважины.

Величина h_a (поправка на разрежение) точно может быть определена только по вакуумметру, укрепленному в тампоне. Для предварительных расчетов величина h_a находится по формуле

$$h_a = \frac{10S}{S + t}, \qquad \text{(XIII-4)}$$

где t — высота установки тампона над уровнем напорных вод (см. рис. XIII-11).

Опытные данные показывают, что величина h_a не может превышать 8,0—8,5 *м вод. ст.*

Вводя поправку на разрежение в формулу Дюпюи для дебита грунтового колодца, С. В. Комиссаров для скважины, вскрывшей грунтовые воды, работающей с воздухонепроницаемым тампонирующим устройством в обсадной трубе, получил формулу дебита в следующем виде:

$$Q = \frac{\pi K(2H + h_a - S)(S + h_a)}{\ln R - \ln r}, \qquad \text{(XIII-5)}$$

где H — мощность безнапорного водоносного пласта;
S — величина понижения безнапорного уровня.

Остальные обозначения прежние.

Вакуум-скважины с бóльшим успехом могут применяться для грунтовых вод при наличии над уровнем воды 3—5-метровой толщи относительно слабопроницаемых для воздуха пород. Очевидно, что при откачках грунтовых вод наибольшее разрежение получается в обсадных трубах на участке от тампона до динамического уровня.

В разреженном пространстве скважин вакуум постепенно снижается вследствие выделения из воды воздуха и газов. Это явление устраняется периодическим отсасыванием воздуха и газов компрессорной установкой с помощью специальной трубки, пропущенной через тампон (см. рис. XIII-12).

Работа вакуум-скважин в производственных условиях была проверена на строительстве канала им. Москвы и при осушении буроугольных месторождений в Подмосковном бассейне. Проверка показала хорошие результаты.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗОЛЯЦИИ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

ГЛАВА XIV

§ 1. Предварительные замечания

В процессе бурения гидрогеологической скважины при встрече песчаных, пористых и трещиноватых пород необходимо испытать их на воду. Для испытания (опробования) пласта необходимо его изолировать от других водоносных горизонтов, т. е. произвести тампонаж. Тампонаж скважин для испытания пластов производится следующим образом: 1) задавливанием башмака обсадных труб в породу (глину, суглинок); 2) задавливанием башмака обсадных труб в предварительно забросанную в скважину пластичную глину; 3) цементированием.

Перечисленные способы изоляции требуют для своего осуществления спуска колонн обсадных труб в скважину и тем самым обладают следующими недостатками: а) на производство тампонажа затрачивается много времени; б) расходуются дорогостоящие трубы, которые часто (а при цементировании всегда) остаются в скважине; в) для опробования каждого пласта требуется обсадная колонна труб, которая остается в скважине и уменьшает ее диаметр на 4—6″. При большом количестве испытуемых пластов такое уменьшение диаметра может привести к тому, что скважина не достигнет проектной глубины. Опробование указанными способами применяется в тех случаях, когда скважиной вскрывается один (реже два) водоносный пласт.

Выше говорилось об испытаниях пластов сверху вниз, по мере углубления скважины. Что касается испытания снизу вверх после окончания бурения скважины до проектной глубины, то этими способами можно произвести только один тампонаж (на забое скважины).

При бурении гидрогеологических скважин часто бывает необходимо исследовать все водоносные горизонты, пересекаемые скважиной. В этом случае применяется временный тампонаж при помощи пакеров. Изоляция водоносных горизонтов пакерами имеет следующие достоинства и преимущества: пакеры дают возможность быстро производить изоляцию и испытание пласта; после каждого испытания пласта пакер и трубы, на которых он опускается в скважину, извлекаются на поверхность; после испытания пласта бурение скважины может продолжаться тем же диаметром. Возможность испытывать пласты без потери диаметра составляет основное достоинство пакеров.

В нефтяной практике для опробования глубоких горизонтов на нефть и газ применяют испытатели пластов, которыми можно производить опробование пластов на воду (см. гл. XII, § 7).

Отличительной особенностью испытателя пластов является то, что жидкость поступает в трубы, на которых спускается испытатель,

благодаря большому перепаду давления между исследуемой частью скважины и внутренним пространством труб. По количеству отобранной из пласта жидкости и продолжительности опробования определяют ориентировочный дебит скважины.

§ 2. Тампонаж скважин

Наиболее распространенным и простым способом изоляции водоносного горизонта является задавливание или забивка труб в водоупор. Если водоупором служит плотная глина или тяжелый суглинок, задавливание или забивка башмака труб производится на глубину 3—5 *м*. После этого проверяют надежность изоляции водоносного горизонта путем закачки воды в трубы под высоким давлением.

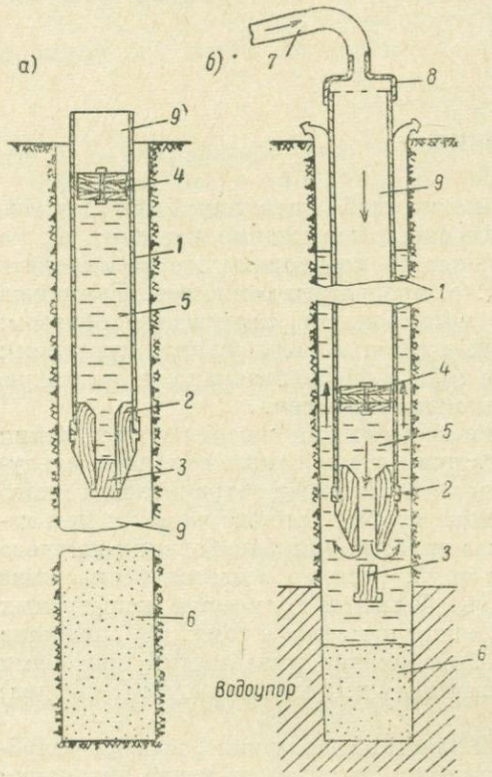


Рис. XIV-1. Схема тампонажа глиной по методу И. И. Кононова. *а* — спуск колонны труб с нефтью; *б* — продавливание нефти.

1 — обсадная колонна; *2* — нижняя пробка; *3* — пробка для выпуска нефти; *4* — верхняя пробка; *5* — нефть; *6* — тампонажная глина; *7* — нагнетательный шланг; *8* — заливочная головка; *9* — глинистый раствор.

В том случае, когда подстилающим слоем является порода недостаточно водоупорная, башмак труб устанавливают выше забоя на 1—2 *м* и в скважину забрасывают из жирной глины шары диаметром 20—50 *мм*. Периодически глиняные шары трамбуют при помощи ударной штанги или желонки с деревянной пробкой. Глиняный тампон должен быть достаточно плотным и заполнять пространство под башмаком и в трубах на 2—3 *м* выше башмака. Затем башмак колонны труб задавливают в образовавшийся глиняный тампон.

Если водоупорные пласты представлены скальными породами (известняки, песчаники, сланцы), то тампонаж простым вдавливанием башмака в предварительно забросанную глину нельзя рекомендовать из-за трудности последующего извлечения обсадных труб из скважины.

В практике бурения структурно-поисковых скважин широко внедрен тампонаж глиной по методу И. И. Кононова, заключающийся в том, что колонна обсадных труб смазывается снаружи нефтью и вдавливается в пластичную глину, предварительно доставленную на забой. Этот вид тампонажа обеспечивает легкое извлечение обсадной колонны труб. Доставка глины на забой осуществляется с помощью длинной колонковой трубы, внутреннюю поверхность которой предварительно смазывают нефтью. На колонковую трубу навертывают коронку, плотно набитую глиной, и заполняют ее хорошо промятой вязкой глиной, скатанной в шарики размером меньше внутреннего диаметра колонковой трубы. Для предохранения глины от размыва поверх ее вкладывается пробка с манже-

тами. Заполненная глиной колонковая труба спускается на забой. При помощи насоса в колонковую трубу закачивается глинистый раствор, под давлением которого глинистый материал выдавливается на забой. Количество спускаемой глины берется из расчета плотного заполнения ствола скважины на высоту 4—6 *м*. После этого спускают обсадную колонну (рис. XIV-1). В башмак вставляют деревянную пробку *2*, имеющую в центре точеную пробку *3* с буртиком. В трубы заливают нефть. Количество нефти для заполнения затрубного пространства рассчитывается по формуле

$$V = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\,H \cdot 1{,}3, \qquad \text{(XIV-1)}$$

где V — объем нефти, $дм^3$;
D — диаметр скважины, *дм*;
d — наружный диаметр труб, *дм*;
H — высота подъема нефти в затрубном пространстве, *дм*;
1,3 — коэффициент поглощения нефти в породу.

После залива нефти в трубы спускают деревянную продавочную пробку *4* с манжетами. Через головку *8* при помощи насоса производится прокачка в колонну труб глинистого раствора *9*, под давлением которого нефть через центральное отверстие в нижней пробке вытесняется в затрубное пространство (рис. XIV-1, *б*).

Выдавив из колонны всю нефть, верхняя пробка доходит до башмака и перекрывает центральное выходное отверстие, в результате чего на насосе происходит резкое повышение давления. После этого обсадная колонна опускается к забою и вдавливается в глину *6*, при этом глинистая масса выдавливается в затрубное пространство и поднимается значительно выше башмака обсадной колонны.

На устье скважины устраивается из пенькового каната сальник с заливкой цементом на высоту 10—15 *см*. После затвердения цемента приступают к дальнейшему углублению скважины.

§ 3. Цементирование скважин

Тампонаж скважин при помощи цементного раствора применяется в более ответственных случаях и в основном служит для обеспечения длительной изоляции испытуемого пласта от верхних или нижних вод; укрепления неустойчивых пород путем плотного сцепления цементного раствора со стенками скважины и с трубами обсадной колонны; предохранения колонны обсадных труб от смятия внешним давлением и от коррозии.

Для цементирования гидрогеологических скважин применяют «тампонажный» наиболее высококачественный портландцемент. Консистенция цементного раствора 40—60% воды (по весу). Сроки схватывания 50%-ного раствора, затворенного на пресной воде, согласно техническим условиям, следующие: начало схватывания не ранее 3 *ч* после затворения раствора; конец схватывания — не позднее 3 *ч* после начала схватывания.

С целью ускорения схватывания цементного раствора применяют различные ускорители ($CaCl_2$; $NaCl$; Na_2CO_3 и др.), добавляемые в количестве 2—3% по весу сухого цемента. Высокая температура также является активным ускорителем схватывания цемента.

Поэтому в глубоких скважинах, где у забоя бывает высокая температура, применяют специальные медленно схватывающиеся цементы. Кроме того, к цементному раствору прибавляют замедлители схватывания (известковое молоко, буру, глинистый раствор).

Наиболее простой способ цементирования башмака колонны труб при отсутствии насоса заключается в следующем. Под башмаком труб расширяют скважину на глубину 2—3 *м*. В трубы опускают колонну штанг, оканчивающихся на поверхности воронкой, и непрерывной струей заливают на забой скважины цементный раствор. Количество заливаемого цементного раствора должно примерно на 50% превышать объем расширенной части у забоя скважины. По окончании заливки колонну обсадных труб немедленно опускают до забоя и внутрь забрасывают глину, которую при помощи бурового долота перемешивают с оставшимся в трубах цементным раствором во избежание его схватывания и затвердевания.

После затвердевания цемента проводят испытание тампонажа и продолжают дальнейшее бурение. Цементную пробку в трубах разбуривают.

Цементирование через заливочные трубки. Перед цементированием скважина промывается водой и обсаживается колонной труб. Колонну не доводят до забоя и подвешивают на хомуте. На ее верх надевают пробку с промывочным сальником. Затем промывают зазор между обсадной колонной и стенками скважины. В обсадные трубы опускают заливочные трубы — бурильные штанги, через которые сначала производится промывка скважины, а затем подается цементный раствор. По мере заполнения скважины цементным раствором заливочные трубки постепенно поднимают. Отвинчивание свечей производят как можно быстрее, чтобы сократить перерыв в подаче цементного раствора до минимума. После заливки расчетной порции цементного раствора колонна обсадных труб опускается до забоя, а заливочные трубки промываются от остатка цемента водой. Цементную пробку в трубах разбуривают через сутки, а дальнейшую проходку скважины продолжают через двое-трое суток.

Недостатком этого способа является то, что высота цементной пробки в трубах обычно получается несколько большей, чем высота цементного кольца в затрубном пространстве. Поэтому большая часть цемента расходуется бесполезно.

Более совершенным является метод цементирования через заливочные трубки под давлением. Для этого в очищенную скважину спускают две колонны труб: тампонажную *1* и заливочную *2* (рис. XIV-2). На верх тампонажной колонны навинчивается сальниковая головка *3*, и по нагнетательному шлангу *5* подают в трубки *2* воду или глинистый раствор. Нагнетаемая жидкость поднимается в колонне *1* и изливается из крана *4*. Как только из крана *4* пойдет чистая жидкость без шлама, его перекрывают. В этом случае вся жидкость, нагнетаемая насосом по заливочным трубкам, устремится в кольцевой зазор между стенками скважины и колонной труб *1* и будет изливаться вместе со шламом на поверхность.

Промывка при закрытом кране *4* должна продолжаться до полной очистки кольцевого зазора, после чего сразу по заливочным трубкам начинают нагнетать цементный раствор.

После закачки расчетной порции цементного раствора в заливочные трубки закачивают воду или глинистый раствор до полного вытеснения цементного раствора из заливочных трубок (при закрытом кране *4*). Затем колонну обсадных труб опускают на забой и, открыв кран *4*, производят промывку внутри обсадной колонны. Наконец закрывают задвижку *4* и в колонне при помощи насоса создается повышенное давление; скважину оставляют в покое до затвердения цемента.

Цементирование с двумя разделяющими пробками (метод Перкинса) применяют при глубоком бурении. Стенки скважины в месте цементирования должны быть сложены из водонепроницаемой породы. Перед спуском обсадных труб скважина проверяется на цилиндричность и промывается чистой водой или новым глинистым раствором. Обсадные трубы

проверяют и свинчивают звеньями по две-три трубы. К нижней башмачной трубе приваривают планки. Спуск обсадной колонны должен производиться быстро без перебоев.

После спуска в скважину колонны на верхней обсадной трубе устанавливают заливочную головку и приступают к промывке скважины. Промыв скважину, снимают заливочную головку, опускают нижнюю пробку, снова надевают заливочную головку и закачивают расчетное количество цементного раствора. Затем снимают заливочную головку, устанавливают верхнюю пробку, снова быстро надевают заливочную головку и закачивают глинистый раствор, продавливая при этом цементный раствор между пробками вниз (рис. XIV-3б) Когда нижняя пробка опустится

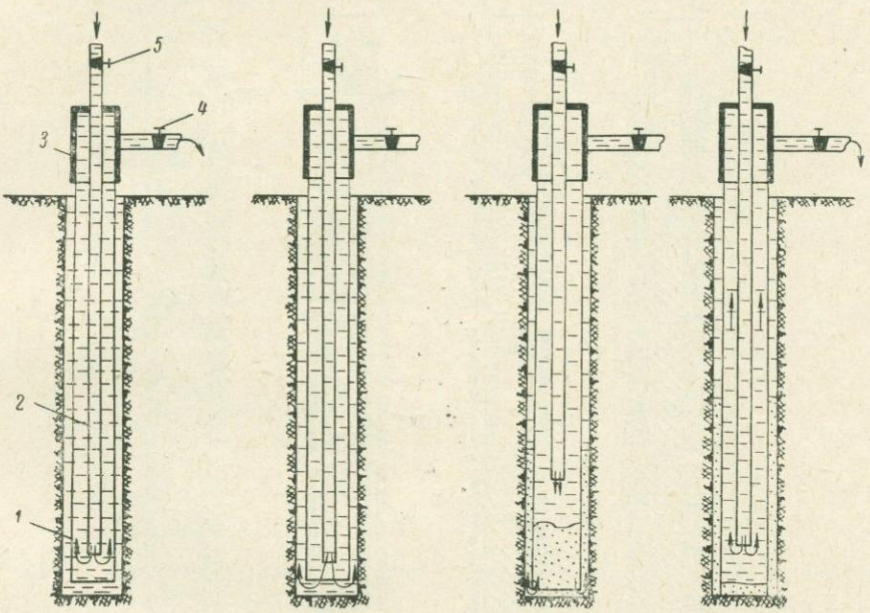


Рис. XIV-2. Схема цементации через заливочные трубки.

до башмака колонны (рис. XIV-3в), верхняя пробка продолжит движение и вытеснит цементный раствор в затрубное пространство (рис. XIV-3г). Обычно цементирование производят до полного схождения верхней и нижней пробок (до момента «стоп»). Количество закачиваемого цементного и глинистого растворов проверяют с помощью специальных мерников.

После окончания закачки глинистого раствора насос останавливают, колонну опускают на забой и вентиль заливочной головки закрывают. В таком виде колонна оставляется на 48 *ч* до затвердения цемента.

Проверка герметичности колонны и герметичности тампонажа производится двумя способами: способом нагнетания и способом понижения уровня жидкости в трубах.

При первом способе в трубы нагнетают глинистый раствор через заливочную головку под давлением 40—50 *ат*, затем закрывают все задвижки и наблюдают за показаниями манометра. Если в течение 20 *мин* давление упадет менее чем на 5 *ат*, то герметичность признается достаточной. Если колонна негерметична, место течи определяют нагнетанием, для чего вводят в колонну пробку, надевают заливочную головку на колонну и нагнетают жидкость, при этом пробка будет опускаться только

до тех пор, пока она не дойдет до места течи. При помощи каната с грузом определяют расстояние от устья до места остановки пробки, спускают заливочные трубки на эту глубину и нагнетают в затрубное пространство цементный раствор (иногда производят предварительно перфорацию труб).

По второму способу воду (или раствор) с помощью желонки откачивают (тартают) до самого низа скважины или при глубоких скважинах —

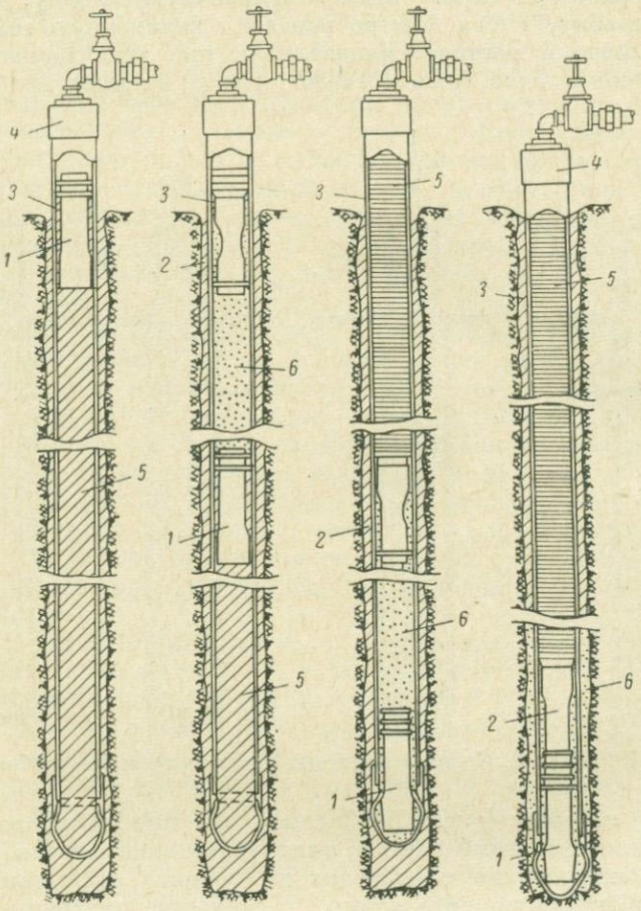


Рис. XIV-3. Схема цементации с двумя разделяющими пробками.

1 — нижняя пробка; *2* — верхняя пробка; *3* — обсадная колонна; *4* — заливочная головка; *5* — промывочная жидкость; *6* — цементный раствор.

значительно ниже уровня вод. Затем скважину закрывают, опечатывают и через 24 *ч* измеряют изменение уровня жидкости в скважине. Герметичность признается удовлетворительной, если изменение уровня меньше 1 *м*.

Если уровень в трубах сильно изменился, в скважину на половину ее глубины спускают на канате желонку с манжетом, диаметр которого равен внутреннему диаметру обсадных труб. Желонку оставляют в скважине в течение 30 *мин*, затем поднимают. Если желонка пустая — ее спускают на $^3/_4$, а если с водой, то на $^1/_4$ глубины скважины. Таким путем

находят место течи и производят закачку цемента тем же способом, как и в первом случае.

Расчетный объем цементного раствора V для цементирования скважины определяется по формуле

$$V = K \cdot 0{,}785 \left[(D^2 - d^2) H_1 + (D_0^2 - D^2) H_2 + d_1 H_3 \right], \quad \text{(XIV-2)}$$

где K — коэффициент, учитывающий утруску цемента и расход цементного раствора в кавернах и порах пород. Обычно принимают $K = 1{,}2 - 1{,}40$.

Остальные обозначения см. на рис. XIV-4. Рекомендуется все размеры брать в дециметрах.

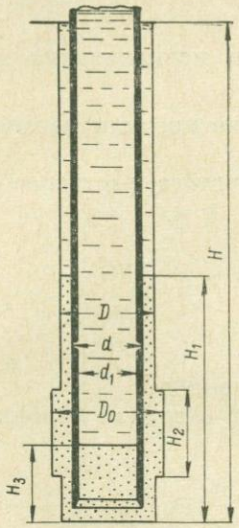


Рис. XIV-4. Схема для расчета тампонажа.

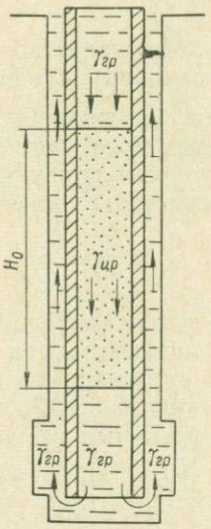


Рис. XIV-5. Схема для определения давления.

Количество сухого цемента q, необходимое для приготовления 1 $м^3$ цементного раствора, определяют по формуле

$$V'_{\text{ц}} = \frac{q}{\gamma_{\text{ц}}}, \quad \text{(XIV-3)}$$

где $\gamma_{\text{ц}}$ — удельный вес сухого цемента.

Необходимый объем воды $V'_{\text{в}}$ на 1 $м^3$ цементного раствора:

$$V'_{\text{в}} = \frac{qm}{\gamma_{\text{ц}}}, \quad \text{(XIV-4)}$$

где m — водоцементное отношение (В : Ц) $m = 0{,}4 - 0{,}5$.

Вес сухого цемента в тоннах, необходимого для приготовления 1 $м^3$ цементного раствора, определяют следующим образом. Так как объем цемента и воды составляет 1 $м^3$ цементного раствора, то можно записать:

$$\frac{q}{\gamma_{\text{ц}}} + \frac{mq}{\gamma_{\text{в}}} = 1, \quad \gamma_{\text{ц}}\gamma_{\text{в}} = q\gamma_{\text{в}} + mq\gamma_{\text{ц}};$$

откуда

$$q = \frac{\gamma_{\text{ц}}\gamma_{\text{в}}}{\gamma_{\text{в}} + m\gamma_{\text{ц}}}. \quad \text{(XIV-5)}$$

Количество воды или глинистого раствора для продавливания цемента

$$V_{пр} = 0{,}785\, d_1^2 (H - H_з). \qquad \text{(XIV-6)}$$

Время на закачку цементного раствора определяется производительностью насоса $Q_н$, а также объемами цементного раствора V и продавочной жидкости $V_{пр}$, необходимой для продавливания этого раствора.

$$t_1 = \frac{V + V_{пр}}{Q_н} \qquad \text{(XIV-7)}$$

Общее время на подачу цементного раствора и продавливание его в затрубное пространство будет

$$t = t_1 + t_2, \qquad \text{(XIV-8)}$$

где t_2 — добавочное время на свинчивание и навинчивание головки и закладку пробок, $t_2 = 10—15$ *мин*.

Время t должно быть значительно меньше времени начала схватывания цементного раствора.

В процессе закачки цементного и глинистого растворов давление насоса меняется и определяется по формуле

$$p_0 = p_1 + p_2 + p_3 - \frac{H_0}{10}(\gamma_{ц.р} - \gamma_{г.р})\ кГ/см^2, \qquad \text{(XIV-9)}$$

где p_1 — потеря напора в обсадной колонне;
p_2 — потеря напора в кольцевом зазоре;
p_3 — сумма потерь от местных сопротивлений;
H — высота столба цементного раствора в обсадной колонне;
$\gamma_{ц.р}$ — удельный вес цементного раствора;

при $m = 0{,}4$ $\gamma_{ц.р} = 1{,}94$;

при $m = 0{,}5$ $\gamma_{ц.р} = 1{,}83$;

$\gamma_{г.р}$ — удельный вес глинистого раствора.

Сумма потерь $p_1 + p_2 + p_3$ определяется по манометру в конце промывки кольцевого зазора перед началом заливки цементного раствора.

В конце закачки цементного раствора в затрубное пространство давление в трубах повышается и достигает следующей величины (рис. XIV-5):

$$p_{max} = p_1 + p_2 + p_3 + \frac{H_1 - H_3}{10}(\gamma_{ц.р} - \gamma_{г.р}). \qquad \text{(XIV-10)}$$

§ 4. Временный тампонаж при помощи тампонов (пакеров)

При бурении инженерно-геологических и геологических скважин часто бывает необходимо исследовать все пересекаемые скважиной пористые горизонты. В этом случае для разделения отдельных участков скважины применяются тампоны (пакеры).

При бурении скважин испытание пластов с помощью пакеров можно производить двояким способом: последовательно по мере углубления скважины; по достижении скважиной намеченной глубины или перед обсадкой трубами пробуренного интервала. Первый способ имеет преимущество в том, что испытания пластов производят последовательно при достижении скважиной каждого предполагаемого водоносного горизонта, причем пакер устанавливается непосредственно над испытуемым пластом.

При втором способе пласт необходимо изолировать как от верхних, так и от нижних водоносных горизонтов, что усложняет операцию испытания и требует применения пакеров более сложной конструкции (пакеры двойного действия).

Пакер в зависимости от его конструкции имеет ту или иную эластичную оболочку, служащую для заполнения промежутка между стенками скважины и его корпусом. Пакер простого действия представляет собой сальник, который разграничивает буровую скважину на две части: верхнюю (над пакером) и нижнюю (под пакером). Пакеры двойного действия (двойные пакеры) разделяют скважину на три участка.

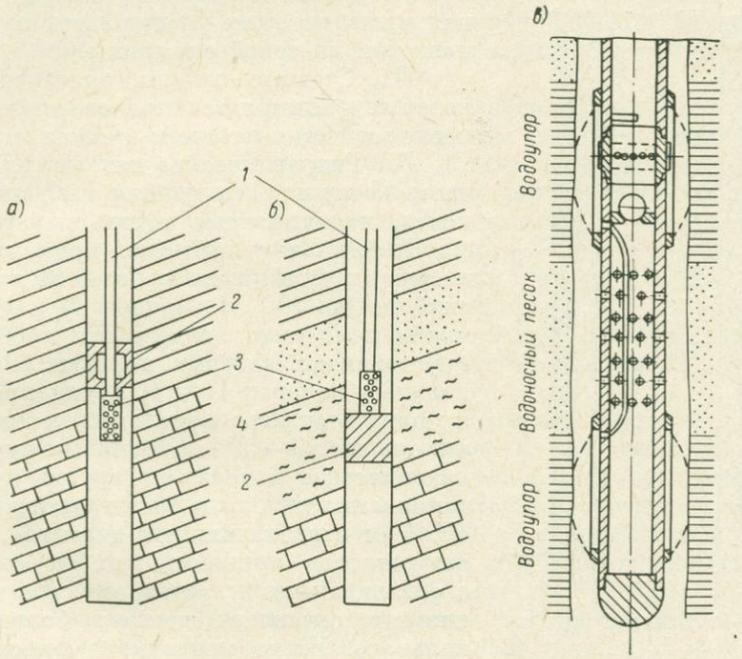


Рис. XIV-6. Схемы постановки пакеров. *а* — в кровле испытуемого пласта; *б* — в подошве испытуемого пласта:

1 — пакерные трубы; *2* — тампон; *3* — фильтровая часть пакера; *4* — водоупорный пласт. *в* — схема постановки пакера двойного действия системы Г. Л. Мочульского.

Пакер спускается в скважину на трубах или штангах, которые через внутреннюю полость пакера соединяются с изолированной частью скважины. Через пакерные трубы (штанги) можно производить откачку воды из пласта.

Успех испытания пласта зависит прежде всего от правильного выбора места установки пакера. Чтобы точнее установить местоположение испытуемого пласта, необходимо керн из кровли и подошвы водоупорного пласта брать с той же тщательностью, как и из самого испытуемого пласта. Пакер устанавливается в кровле пласта или его подошве в зависимости от положения испытуемого пласта относительно водоносных горизонтов и обязательно против водоупорного пласта (рис. XIV-6).

К пакерам предъявляются следующие требования:

1) изоляция испытуемого пласта должна быть полная;

2) установка (зарядка) пакера в намеченном месте и разрядка его с целью извлечения на поверхность должны происходить быстро, безотказно;

3) конструкция пакера должна позволять производить повторные его зарядки с тем, чтобы обязательно осуществить изоляцию пласта;

4) конструкция пакера должна быть надежной и обеспечивать производство испытаний многократно;

5) пакер должен обладать несложной конструкцией, обеспечивающей простоту сборки, разборки и эксплуатации при опробовании.

По способу действия пакеры разбиты на четыре группы.

I. Пакеры, эластичная часть которых расширяется от размокания (бобы, пшеница, льняное семя, мягкое дерево и пр.).

II. Донные (якорные) пакеры, эластичная часть которых расширяется при постановке их на забой скважины.

III. Стенные пакеры, эластичная часть которых расширяется при осевом давлении, после заклинки пакера в стенках скважины.

IV. Гидравлические пакеры, эластичная часть которых расширяется давлением жидкости, накачиваемой внутрь пакера.

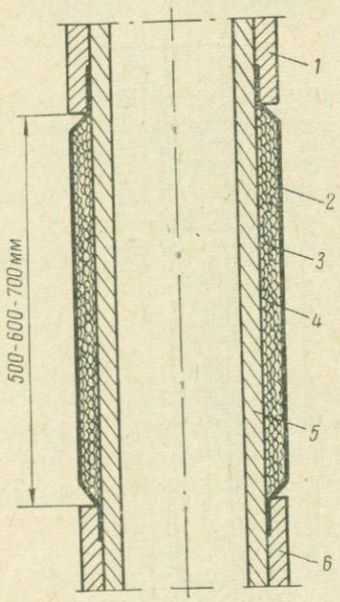


Рис. XIV-7. Пакер I группы.

1 — кольцо верхнее; *2* — кожа сыромятная; *3* — холст; *4* — семя разбухающее; *5* — труба; *6* — кольцо нижнее.

Пакеры I группы можно применить лишь в твердых устойчивых породах на небольшой глубине (до 100 *м*). Пакеры II и III групп можно применить в скважинах, пробуренных в устойчивых твердых породах. Резиновые кольца в пакерах II—III групп при сжатии их до 60% от первоначальной высоты расширяются на 13—15%. Резиновые муфты в гидравлических пакерах IV группы при нагнетании в них жидкости расширяются на 350—400% от первоначального диаметра, что дает возможность применять их в скважинах с обваливающимися стенками, где истинный диаметр скважины намного больше номинального. Ниже приводится описание действия указанных выше типов пакеров.

Пакеры I группы (рис. XIV-7). На короткую трубу надевают холст. В пространство между холостом и надеваемым сверху холста куском сыромятной кожи насыпается какое-нибудь разбухающее семя (бобы, пшеница, льняное семя). Концы кожи закрепляются железными кольцами (верхнее и нижнее). Семя в воде разбухает, нажимает на кожух и прижимает его к стенкам скважины, чем осуществляется изоляция испытуемого пласта от водоносных горизонтов. Простота конструкции пакера — его главное достоинство. К недостаткам можно отнести ненадежность изоляции; испытание пакером можно произвести лишь один раз, так как пакер разрушается каждый раз при извлечении его из скважины — после испытания пласта.

К пакерам I группы можно отнести устройство для герметизации пластов (франц. патент 1.232.480, 10.10.1960). Скважина разбуривается против изолируемого пласта, причем в эту расширенную камеру в желонке опускается эластичная оболочка с вяжущим веществом (синтетическая смола). Эластичная оболочка разрушается под действием закачиваемой в трубы воды или глинистого раствора, и вяжущее вещество заполняет расширенную часть скважины. После затвердевания вяжущего вещества скважину разбуривают обычным способом.

Донные пакеры. Имеется несколько типов донных пакеров, характеристика устройства и действия которых приводится ниже.

а) Заряжание пакера (рис. XIV-8а), т. е. расширение пеньковой веревки и прижатие ее к стенкам скважины, производится после установки эластичной части над испытуемым пластом, а нижней трубы *7* — на забое скважины. При опускании пакерных труб *1* патрубок *3* своим нижним торцом сожмет пеньковый канат *5*, намотанный вокруг патрубка *4*, и прижмет его к стенкам скважины. Недостатки: обмотка при спуске пакера в скважину может деформироваться, вследствие чего пакер не выполнит своего назначения.

б) Главным отличием пакера (рис. XIV-8б) является длинная толстостенная резиновая труба, которая надета на внутреннюю металлическую трубу. Последняя при помощи верхнего переходника соединена с пакерными трубами.

Пакер спускается в скважину, причем к муфте снизу пакера привинчиваются трубы такой длины, чтобы резиновая труба находилась над испытуемым пластом против водоупорного пласта. При опускании пакерных труб верхний переходник давит на верхний торец резиновой трубы и сжимает ее. Резиновая труба при этом расширяется и прижимается к стенкам скважины, чем осуществляется изоляция. При заряжании пакера внутренняя труба опускается вместе с пакерными трубами и входит в нижнюю трубу, которая служит для нее направлением.

в) Пакер (рис. XIV-8в) состоит из наружной трубы, на которую снизу навернута муфта. На муфту опираются два резиновых и два стальных кольца.

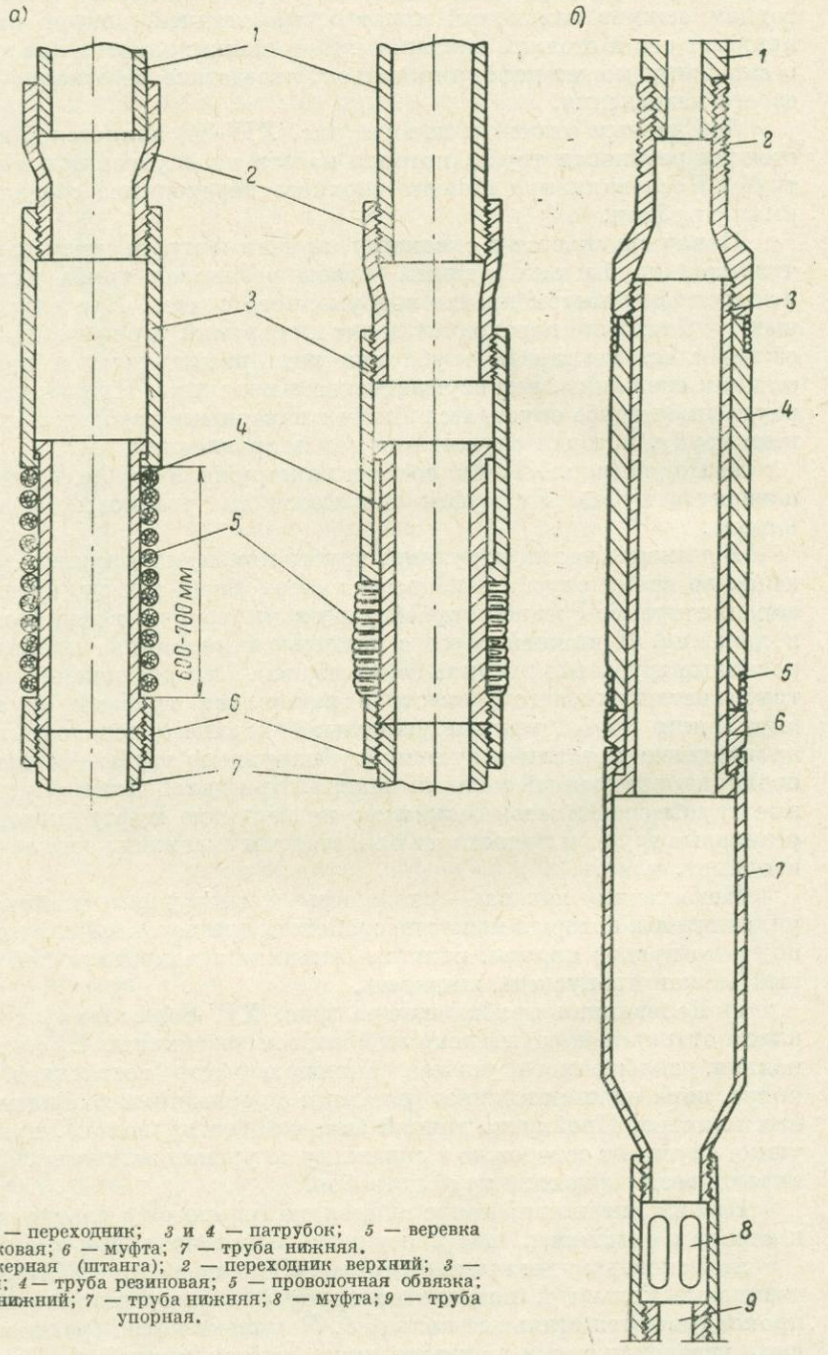
В нижней части наружной трубы помещена пружина, поддерживающая во время спуска и подъема пакера шток-гильзу, среднюю трубу и скрепленную со средней трубой наружную трубу в вытянутом (несжатом) положении. К нижней трубе с помощью переходника крепятся перфорированные трубы (на рисунке не показаны). При достижении забоя нижняя труба останавливается; вместе с пакерными трубами опускается вниз внутренняя труба, причем уплотнение верхнего переходника опирается на верхнюю металлическую муфту наружной трубы, осуществляя этим изоляцию внутренней полости пакера. При дальнейшем опускании пакерные трубы своим весом нажимают на верхнюю муфту, которая давит на резиновые трубы и прижимает их к стенкам скважины, чем осуществляется изоляция пласта.

Недостатки пакера — сложность конструкции, наличие верхнего уплотнителя, который может не сработать при перекосе или при попадании под него кусков породы, наличие сальника в направляющей муфте, который может пропускать жидкость.

г) Деревянная пробка пакера (рис. XIV-8г) изолирует испытуемый пласт от нижней воды, вскрытой забоем скважины. Пробка состоит из кольца, снабженного ушком. Нижнюю часть составляет деревянный конус, пара нижних клиньев (плашек); с последними соединена пара верхних клиньев. Пробку на тонкой бичевке или проволоке, привязанной за ушко, спускают осторожно в скважину до уровня жидкости. Затем проталкивают весом колонны труб до забоя.

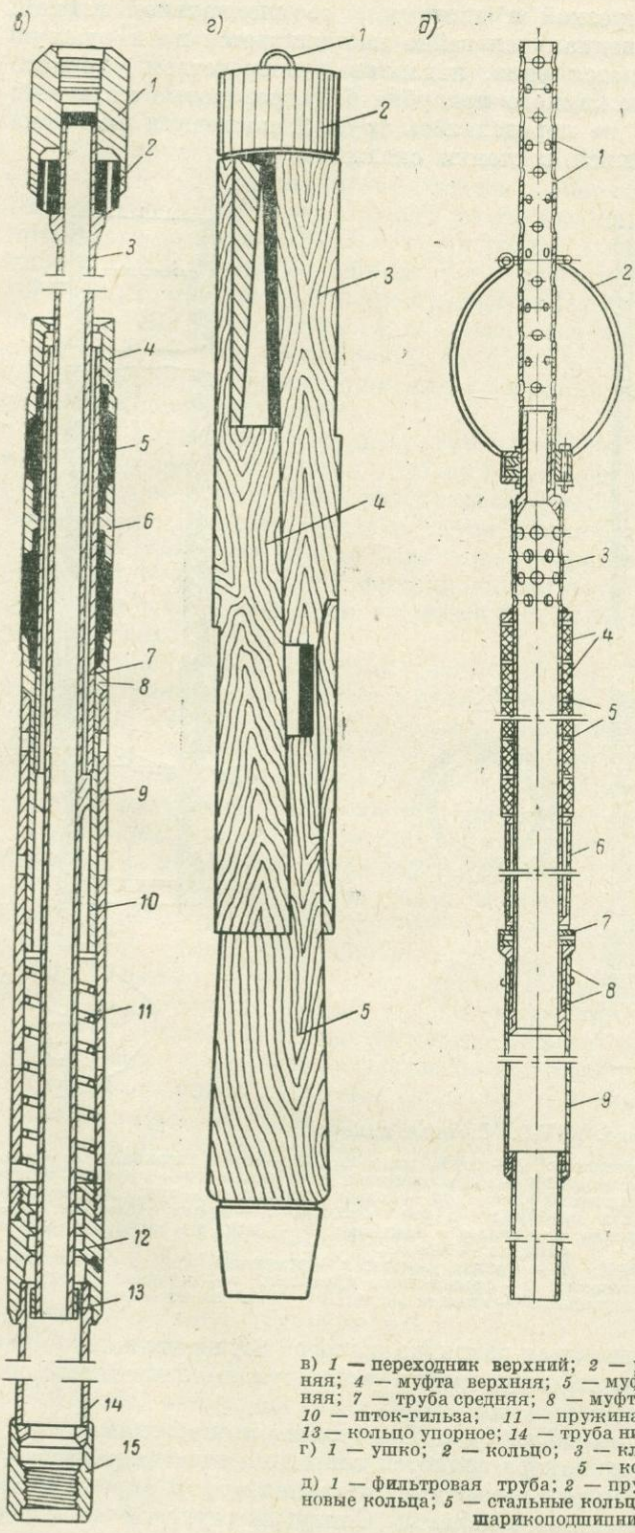
При надвигании на конус клинья расширяются и плотно прижимаются к стенкам скважины, чем и осуществляется изоляция забоя.

д) Основными деталями в тампоне «Ленгидэп» (рис. XIV-8д) являются резиновые кольца *4*, надетые на трубу *3*. Между резиновыми кольцами прокладываются стальные кольца *5*. Комплект колец (резиновых и стальных) устанавливается на упоре, приваренном к трубе *3*. Осевое нажатие с целью раздавливания резиновых колец осуществляется при помощи



а) *1* — труба; *2* — переходник; *3* и *4* — патрубок; *5* — веревка пеньковая; *6* — муфта; *7* — труба нижняя.
б) *1* — труба пакерная (штанга); *2* — переходник верхний; *3* — труба внутренняя; *4* — труба резиновая; *5* — проволочная обвязка; *6* — переходник нижний; *7* — труба нижняя; *8* — муфта; *9* — труба упорная.

Рис. XIV-8.



в) *1* — переходник верхний; *2* — уплотнение; *3* — труба внутренняя; *4* — муфта верхняя; *5* — муфта резиновая; *6* — муфта средняя; *7* — труба средняя; *8* — муфта нижняя; *9* — труба наружная; *10* — шток-гильза; *11* — пружина; *12* — муфта направляющая; *13* — кольцо упорное; *14* — труба нижняя; *15* — переходник нижний.
г) *1* — ушко; *2* — кольцо; *3* — клин верхний; *4* — клин нижний; *5* — конус.
д) *1* — фильтровая труба; *2* — пружины; *3, 9* — трубы; *4* — резиновые кольца; *5* — стальные кольца; *6* — зажимной патрубок; *7* — шарикоподшипник; *8* — винты.

Донные пакеры.

трубы *9*, скрепленной нарезкой и винтами *8* со специальной гайкой. При вращении трубы *9* специальная гайка навинчивается на наружную резьбу трубы *3* и опускается вниз, надавливая посредством упорного шарикоподшипника *7* и зажимного патрубка *6* на резиновые кольца *4*. Чтобы вращение трубы *9* не передавалось трубе *3*, последняя снабжена пружинами *2*, упирающимися в стенки скважины.

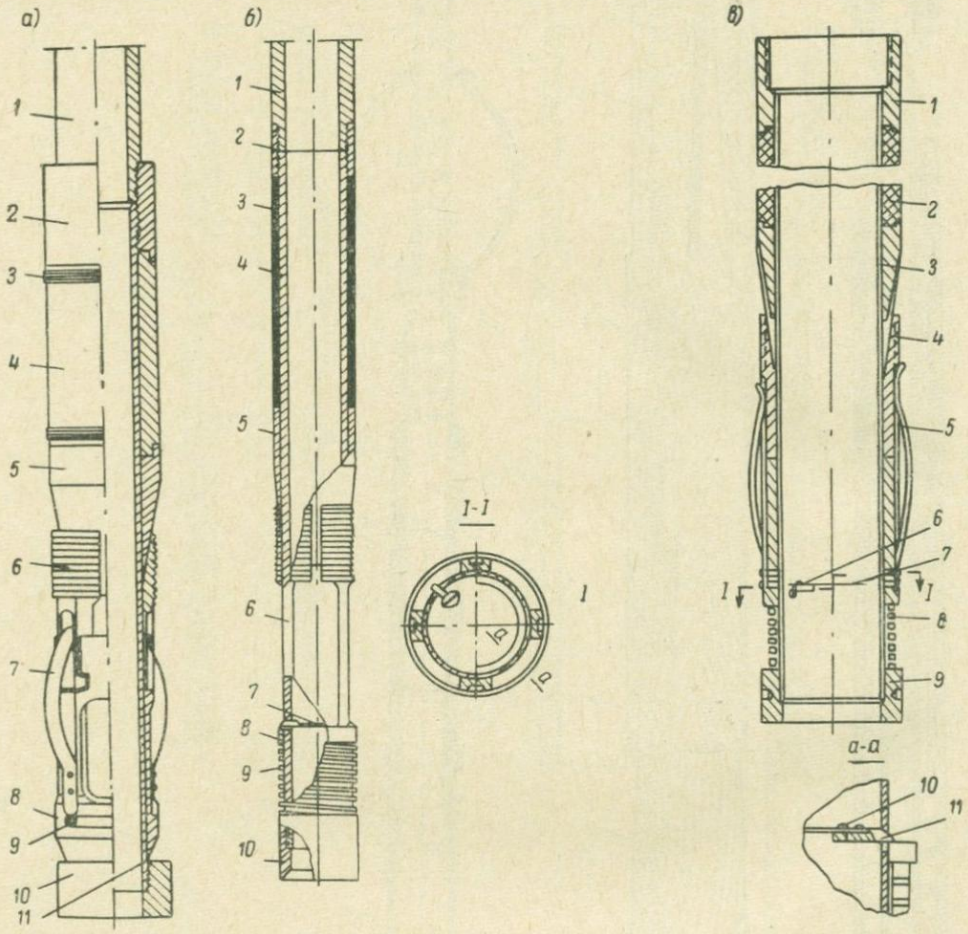


Рис. XIV-9. Стенные пакеры.

а) Пакер с фрикционными пружинами: *1* — труба пакерная; *2* — муфта верхняя; *3* — проволока обмоточная; *4* — муфта резиновая; *5* — муфта конусная; *6* — плашки; *7* — пружина фрикционная; *8* — гильза; *9* — штифт штыкового замка; *10* — кольцо упорное; *11* — труба внутренняя.
б) Пакер дисковый: *1* — пакерная труба; *2* — муфта верхняя; *3* — муфта резиновая; *4* — труба внутренняя; *5* — муфта нижняя; *6* — гильза с плашками; *7* — диск; *8* — кольцо; *9* — пружина; *10* — башмак.

в) Пакер конструкции ЦНИГРИ: *1* — верхняя муфта; *2* — резиновая труба; *3* — коническая муфта; *4* — фрикционные плашки; *5* — фрикционные пружины; *6* — стальная труба; *7* — гильза; *8* — спиральная пружина; *9* — нижняя муфта; *10* — диск; *11—12* — лапки.

После испытания скважины разрядка пакера осуществляется вращением трубы *9* в обратную сторону, причем те же пружины *2* препятствуют вращению трубы *3*.

Стенные пакеры. *Стенной пакер с фрикционными пружинами* (*рис. XIV-9а*). Основной деталью пакера является длинная и толстая резиновая муфта. Сверху резиновой муфты помещается стальная муфта, скрепленная с внутренней трубой при помощи нарезки. Снизу на внутреннюю трубу навинчивается опорное кольцо. Фрикционные пружины и плашки скре-

плены с гильзой, которая надета на внутреннюю трубу и висит на опорном кольце. В незаряженном виде при спуске пакера в скважину штифт штыкового замка внутренней трубы заведен в прорезь. В низу резиновой муфты помещается конусная стальная муфта, входящая своим узким концом в плашки, скрепленные с гильзой.

Для заряжания пакера после установки резиновой муфты в требуемом месте скважины поворачивают пакерные трубы на пол-оборота вправо, в результате чего штифт штыкового замка выводится из прорези штыкового затвора гильзы, так как гильза задерживается фрикционными пружинами о стенку скважины. После разъединения гильзы с фрикционными пружинами и плашками от внутренней трубы, осторожно начинают опускать пакерные трубы, а следовательно, и внутреннюю трубу вместе с верхней муфтой, резиновой муфтой, стальной конусной муфтой и опорным кольцом. Разъединенная гильза с фрикционными пружинами и плашками остается неподвижной.

При опускании пакерных труб стальная конусная муфта входит внутрь рифленых стальных плашек и прижимает их к стенкам скважины. Одновременно происходит раздавливание резиновой муфты и заполнение резиной пространства между пакером и стенками скважины.

К достоинствам пакера надо отнести сравнительно простую его конструкцию. Стенной пакер с фрикционными пружинами и плашками может с успехом действовать лишь в скважинах, проходимых в твердых устойчивых породах.

Стенной пакер, дисковый (*рис. XIV-9б*). Главной деталью пакера является длинная резиновая муфта, которая находится между верхней и нижней металлическими муфтами. Нижняя муфта выполнена в виде усеченного конуса. С верхней муфтой скреплена внутренняя труба. На внутреннюю трубу надета гильза с фрикционными пружинами (плашками). В низу гильзы помещается спиральная (в сжатом виде) пружина, упирающаяся внизу в верхний выступ нижнего башмака — в нижний торец гильзы. Гильза удерживается лапками диска.

Для заряжания пакера через пакерные трубы бросают небольшой кусок трубы (диаметром 30—40 *мм*), который и разрушает чугунный диск и тем самым освобождает пружину. Пружина поднимает кольцо, а следовательно, и гильзу с плашками. Плашки надвигаются на нижнюю стальную конусную муфту, раздвигаются при этом и расклиниваются в стенках скважины. После расклинки плашек пакерные трубы опускают вниз и они своим весом раздавливают резиновую муфту.

Стенной пакер, дисковый (*рис. XIV-9в*) *конструкции ЦНИГРИ* по существу ничем не отличается от дискового пакера.

Главной деталью пакера является резиновая труба, которая помещается на стальной трубе *6* с верхней муфтой *1* и нижней *9*. На стальной трубе надеты коническая стальная муфта *3*, гильза *7* с фрикционными пружинами *5* и фрикционными плашками *4*. Спиральная пружина *8* упирается в нижнюю муфту *9* и лапки *11* чугунного диска *10*.

После установки пакера на заданной глубине через пакерные трубы бросают обрезок трубы, который ломает чугунный диск *10*, отломанные лапки *11* падают внутрь пакера и освободившаяся спиральная пружина *8* поднимает гильзу *7*, надвигая плашки *4* на коническую стальную муфту *3*, в результате чего происходит раздвигание плашек и заклинивание пакера в стенках скважины. Пакерные трубы опускают вниз, и они своим весом загоняют коническую стальную муфту *3* внутрь плашек *4*, вследствие чего произойдет дальнейшее заклинивание пакера. Одновременно происходит сжатие резиновой трубы-тампона *2*, в результате чего резина заполняет кольцевое пространство между пакером и стенками скважины.

Кроме этих пакеров, при гидрогеологических исследованиях применяют одинарные и двойные тампоны системы «Днепрострой» и другие.

Гидравлические пакеры. *Гидравлический одинарный пакер Мочульского* (*рис. XIV-10*). Основой гидравлического пакера является резиновая труба *6*, расширяемая под воздействием промывочной жидкости, закачиваемой внутрь пакера по трубам. Длина резиновой трубы около 2 *м*, толщина — от 12 до 25 *мм* и больше, в зависимости от диаметра скважины. Резиновая труба надевается на стальную трубу *2—8—10*, состоящую из трех патрубков, соединенных между собой. Патрубок *8* (ниппель) имеет два отверстия. На ниппель *8* надевается резиновый кольцевой клапан *9*. В соединительной трубе *8* высверлены также два отверстия, в которые герметично вставляется трубка *7*.

Концы резиновой трубы *6* крепятся с помощью верхнего и нижнего зажимов, каждый из которых состоит из трех секторов *5*, вращающихся вокруг осей *3*. Секторы удерживаются в рабочем положении при помощи зажимных колец *4*. На соединительную муфту *11* навинчивается клапанное гнездо *12* шарового клапана *14*.

Если испытуемый пласт представлен несвязными породами (пески, рыхлые песчаники и т. п.), то для предотвращения обвалов к клапанному гнезду *12* снизу привинчивается перфорированная труба *16*, имеющая внутри шток *13* с грузом. Для промывки скважины пакер опускают на забой. Шток *13* при этом открывает клапан *14*, что дает возможность промыть скважину. В устойчивых породах можно работать без перфорированной трубы. Зарядка пакера, т. е. прижатие резиновой трубы *6* к стенкам скважины производится накачиванием воды или глинистого раствора в пакер. Жидкость подают под давлением 10—12 *ат* и более. При нагнетании воды в пакер клапан *14* закрывает отверстие в клапанном гнезде и вода через отверстия в ниппеле *2* поступает в резиновую трубу *6*. Под давлением нагнетаемой жидкости резиновая труба *6* расширяется и прижимается к стенкам скважины.

После проведения гидрогеологических исследований приступают к извлечению пакера из скважины. Перед извлечением пакера разрушают спускную (разрядную) трубку *7*, в результате чего жидкость вытекает из резиновой трубы *6* и последняя принимает первоначальный диаметр. Разрушение трубки производят небольшим долотом, сбрасываемым через пакерные трубы или спускаемым на тросе.

Достоинства пакера:

1) эластичная резиновая труба может расширяться на 300—350% и более и заполняет все неровности в стенках скважины, в результате достигается полная изоляция испытуемого пласта. Пакер может применяться в скважинах неправильной формы, а также в тех случаях, когда действительный диаметр скважины намного больше номинального;

2) по показанию манометра на насосе можно судить о диаметре расширенной резиновой трубы пакера;

3) зарядка пакера (расширение резиновой трубы) производится быстро (10—12 *мин*);

4) разрядка пакера (сужение резиновой трубы) осуществляется быстро (5—10 *мин*) и надежно;

5) после извлечения из скважины пакер может быть использован для последующих испытаний. Чтобы не произошло самозарядки пакера во время его подъема, необходимо понизить уровень в пакерных трубах, так чтобы он был ниже уровня в затрубном пространстве, или повысить уровень в затрубном пространстве; снабдить нижнюю пакерную трубу разрядной трубкой, аналогичной (но бо́льшего диаметра) разрядной трубке пакера и разрушить ее одновременно с последней;

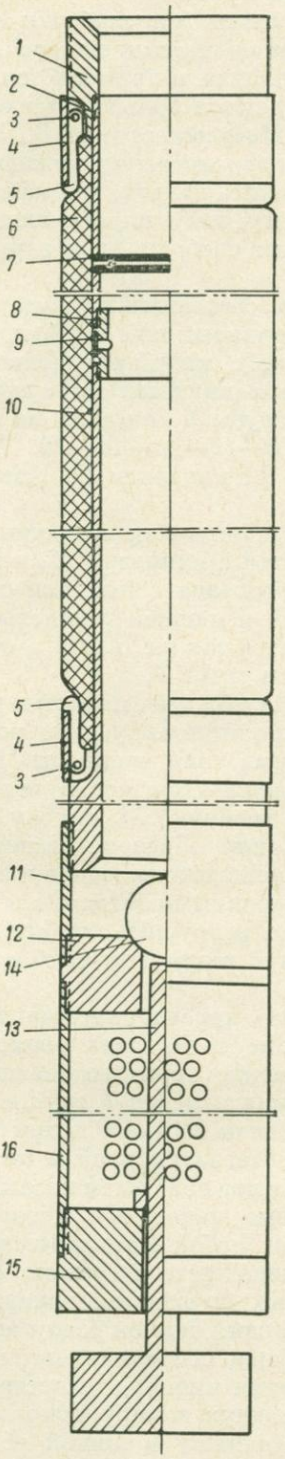


Рис. XIV-10. Гидравлический одинарный пакер Ч. Л. Мочульского.

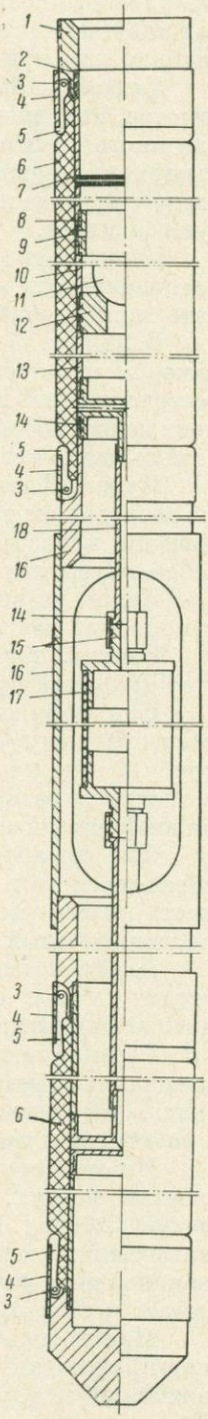


Рис. XIV-11. Двойной гидравлический пакер Ч. Л. Мочульского.

6) сборка и разборка пакера проста, занимает не более 1 *ч* и производится на скважине силами буровой бригады.

Многорусный гидравлический пакер для глубоких скважин системы Мочульского состоит из 2, 3 и более одинарных пакеров, расположенных над клапанным гнездом шарового клапана, и применяется на значительной глубине, где при испытании наблюдаются большие давления.

Двойной гидравлический пакер Мочульского (*рис. XIV-11*). Испытание пластов, находящихся между двумя водоносными горизонтами, одинарным или многорусным пакером производить нельзя, так как резиновая труба пакера прекращает доступ к испытуемому пласту лишь воде верхнего горизонта; вода же нижнего горизонта свободно может проникнуть в испытуемый пласт.

Двойной гидравлический пакер, состоящий из двух резиновых труб *6*, расположенных выше и ниже перфорированных труб, позволяет изолировать испытуемый пласт от верхних и нижних водоносных горизонтов.

Верхняя часть двойного пакера является по существу одинарным пакером и состоит из резиновой трубы *6*, надетой на стальную трубу, состоящую из патрубков *2—8—10—12—13—14—16*. Муфта *10* соединяет между собой ниппель клапана *9* с ниппелем *12*. Ниппель *12* является седлом шарикового клапана *11*.

Муфта *13* соединяет ниппель *12* с ниппелем — тройником *14*. Ниппель *14* посредством трубки *18* соединяется с ниппелем *15*, к которому, в свою очередь, присоединен шланг *17*, предназначенный для соединения между собой внутренних полостей верхней и нижней резиновых труб *6*.

Концы резиновых труб *6* крепятся так же, как и в одинарном пакере, с помощью зажимных секторов *5* и муфт *4*.

Верхняя часть пакера соединена с нижней с помощью перфорированных труб *16*, длина которых равна мощности испытуемого горизонта (пласта).

При заряжании пакера промывочная жидкость (вода, глинистый раствор) через отверстия в ниппеле *8* попадает в верхнюю резиновую трубу *6* и далее через отверстие в тройнике *14*, трубку *18* и шланг *17* — в нижнюю резиновую трубу *6*. Таким образом, расширение верхней и нижней резиновых труб пакера производится одновременно.

Для извлечения пакера из скважины необходимо с помощью долота, сбрасываемого в пакер через трубы, разрушить трубку *7*. При этом жидкость вытесняется из обоих полостей резиновых труб и пакер принимает первоначальный диаметр.

Двойной гидравлический пакер характеризуется теми же достоинствами, что и одинарный, и, кроме того, дает возможность производить испытание пластов, лежащих между двумя водоносными горизонтами.

Резиновые трубы гидравлических пакеров 4 группы исполняются из специальной резины, расширяющейся на 350—450% при закачивании в них жидкости; резина должна быть нефтегазоупорной и не деформироваться при температуре до 100° С, а также под действием кислых и щелочных вод.

Иногда применяются резиновые пакеры, в которых используется сжатый воздух. Они представляют собой металлическую оправу, имеющую выточку. К оправе прикреплена листовая резина. Воздух (или вода) нагнетается по трубам, на которых спускается пакер, и через систему каналов попадает под резину. Резиновый баллон раздувается и плотно прилегает к стенкам скважины, разобщая последнюю на отдельные участки.

При небольшой глубине скважин иногда в качестве тампона применяют разрезанную поперек велосипедную камеру, один конец которой привязывают к трубам, а второй соединяют с тонкой резиновой трубкой. Воздух через трубку закачивают в камеру. Камера раздувается и закрывает межтрубный зазор.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ПЕРЕСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

Единицы	Метрические (внесистемные) единицы	Единицы СИ
Длина	1 *мк* (микрон)	1 *мкм* (микрометр) = $= 10^{-6}$ *м*
Масса	1 *т*	10^3 *кг*
Сила	1 *кГ*	9,80665 *н* *
	1 *дин* (дина)	10^{-5} *н*
Плотность	1 *т/м*^{3} 1 *кг/дм*^{3} 1 *г/см*^{3}	1000 *кг/м*^{3}
Удельный объем	1 *м*^{3}*/т*	
	1 *дм*^{3}*/кг*	10^{-3} *м*^{3}*/кг*
	1 *см*^{3}*/кг*	
Давление	1 *бар*	10^5 *н/м*^{2}
	1 *мбар*	100 *н/м*^{2}
	1 *мкбар*	0,1 *н/м*^{2}
	1 *кГ/см*^{2} 1 *ат* (атмосфера техническая)	0,980665 *бар* = $= 98066{,}5$ *н/м*^{2}
Динамическая вязкость	1 *пз* (пуаз)	0,1 *н·сек/м*^{2}
	1 *спз* (сантипуаз)	10^{-3} *н·сек/м*^{2}
	1 *мпз*	10^{-4} *н·сек/м*^{2}
	1 *мкпз*	10^{-7} *н·сек/м*^{2}
Кинематическая вязкость	1 *ст* (стокс)	1 *см*^{2}*/сек* = $= 10^{-4}$ *м*^{2}*/сек*
	1 *сст* (сантистокс)	10^{-6} *м*^{2}*/сек*
Работа и энергия	1 *кгм*	9,80665 *дж*
	1 *эрг*	10^{-7} *дж*
	1 *кал*	4,1868 *дж*
Мощность	1 *ккал*	4186,8 *дж*
	1 *кГ·м/сек*	9,80665 *вт*
	1 *л. с.*	735,499 *вт*
	1 *ккал/ч*	1,163 *вт*
Поверхностное натяжение	1 *кал/сек*	4,1868 *вт*
	1 *эрг/см*^{2}	10^{-3} *дж/м*^{2}
	1 *дин/см*	10^{-3} *н/м*
Удельная массовая теплоемкость	1 *ккал/(кг·град)*	4186,8 *дж/(кг·град)*
Коэффициент теплопроводности	1 *кал/(г·град)*	4,1868 *кдж/(кг·град)*
	1 *ккал/(м·ч·град)*	1,163 *вт/(м·град)*
Поверхностная активность	1 *кал/(см·сек·град)*	418,68 *вт* (*м·град*)
	1 *гиббс* = $= (1$ *дин/см* : 1 *моль/дм*$^3)$	10^{-3} (*н/м* : *кмоль/м*^{3}) = $= 1$ (*мн/н* : *кмоль/м*^{3}) = $= 1$ *мн·м*^{2}*/кмоль*
Проницаемость	1 *д* (дарси)	10^{-12} *м*^{2}

* *н* — ньютон в системе СИ принимается за единицу силы, которая телу массой в 1 *кг* сообщает ускорение 1 *м/сек*^{2}.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

РАСЧЕТ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Единица измерения	*см*^{3}*/сек*	*л/сек*	*л/мин*	*л/ч*	*м*^{3}*/мин*	*м*^{3}*/ч*
см^3*/сек*	1	10^{-3}	$6 \cdot 10^{-2}$	3,6	$6 \cdot 10^{-5}$	$36 \cdot 10^{-4}$
л/сек	1000	1	60	3600	$6 \cdot 10^{-2}$	3,6
л/мин	16,67	$167 \cdot 10^{-4}$	1	60	10^{-3}	$6 \cdot 10^{-2}$
л/ч	0,278	$278 \cdot 10^{-6}$	$167 \cdot 10^{-4}$	1	$167 \cdot 10^{-7}$	10^{-3}
м^3*/мин*	16 670	16,67	1000	60 000	1	60
м^3*/ч*	277,8	0,2778	16,67	1000	$167 \cdot 10^{-4}$	1

ПРИЛОЖЕНИЕ III

ТАБЛИЦА НАТУРАЛЬНЫХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Градусы	sin	tg	Градусы	ctg	cos
0	0,0000	0,0000	90	∞	1,000
1	0,017	0,017	89	57,29	1,000
2	0,035	0,035	88	28 64	0,999
3	0,052	0,052	87	19,08	0,999
4	0,070	0,070	86	14,30	0,998
5	0,087	0,087	85	11,43	0,996
6	0,105	0,105	84	9,51	0,995
7	0,122	0,123	83	8,14	0,993
8	0,139	0,141	82	7,12	0,990
9	0,156	0,158	81	6,31	0,988
10	0,174	0,176	80	5,67	0,985
11	0,191	0,194	79	5,14	0,982
12	0,208	0,213	78	4,70	0,978
13	0,225	0,231	77	4,33	0,974
14	0,242	0,249	76	4,01	0,970
15	0,259	0,268	75	3,73	0,966
16	0,276	0,287	74	3,49	0,961
17	0,292	0,306	73	3,27	0,956
18	0,309	0,325	72	3,08	0,951
19	0,326	0,344	71	2,90	0,946
20	0,342	0,364	70	2,75	0,940
21	0,358	0,384	69	2,61	0,934
22	0,375	0,404	68	2,48	0,927
23	0,391	0,424	67	2,36	0,921
24	0,407	0,445	66	2,25	0,914
25	0,423	0,466	65	2,14	0,906
26	0,438	0,488	64	2,05	0,899
27	0,454	0,510	63	1,96	0,891
28	0,469	0,532	62	1,88	0,883
29	0,485	0,554	61	1,80	0,875
30	0,500	0,577	60	1,73	0,866
31	0,515	0,601	59	1,66	0,857
32	0,530	0,625	58	1,60	0,848
33	0,545	0,649	57	1,54	0,839
34	0,559	0,675	56	1,48	0,829
35	0,574	0,700	55	1,43	0,819
36	0,588	0,727	54	1,38	0,809
37	0,602	0,754	53	1,33	0,799
38	0,616	0,781	52	1,28	0,788
39	0,629	0,810	51	1,23	0,777
40	0,643	0,839	50	1,19	0,766
41	0,656	0,869	49	1,15	0,755
42	0,669	0,900	48	1,11	0,743
43	0,682	0,933	47	1,07	0,731
44	0,695	0,966	46	1,04	0,719
45	0,707	1,000	45	1,00	0,707

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

ТАБЛИЦЫ ДЕСЯТИЧНЫХ ЛОГАРИФМОВ ЧИСЕЛ ОТ 0 ДО 1000

Число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		00 000	30 103	47 712	60 206	69 897	77 815	84 510	90 309	95 424
1	00 000	04 139	07 918	11 394	14 613	17 609	20 412	23 045	25 527	27 875
2	30 103	32 222	34 242	36 173	38 021	39 794	41 497	43 136	44 716	46 240
3	47 712	49 136	50 515	51 851	53 148	54 407	55 630	56 820	57 978	59 106
4	60 206	61 278	62 235	63 347	64 345	65 321	66 276	67 210	68 124	69 020

Число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	60 897	70 757	71 600	72 428	73 239	74 036	74 819	75 587	76 343	77 085
6	77 815	78 533	79 239	79 934	80 618	81 291	81 954	82 607	83 251	83 885
7	84 510	85 126	85 733	86 332	86 923	87 506	88 081	88 649	89 209	89 763
8	90 309	90 849	91 381	91 908	92 428	92 942	93 450	93 952	94 448	94 939
9	95 424	95 904	96 379	96 848	97 313	97 772	98 227	98 677	99 123	99 564
10	00 000	00 432	00 860	01 284	01 703	02 119	02 531	02 938	03 342	03 743
11	04 139	04 532	04 922	05 308	05 690	06 070	06 446	06 819	07 188	07 555
12	07 918	08 279	08 636	08 991	09 342	09 691	10 037	10 380	10 721	11 059
13	11 394	11 727	12 057	12 385	12 710	13 033	13 354	13 672	13 988	14 301
14	14 613	14 922	15 229	15 534	15 836	16 137	16 435	16 732	17 026	17 319
15	17 609	17 898	18 184	18 469	18 752	19 033	19 312	19 590	19 866	20 140
16	20 412	20 683	20 952	21 219	21 484	21 748	22 011	22 272	22 531	22 789
17	23 045	23 300	23 553	23 805	24 055	24 304	24 551	24 797	25 042	25 285
18	25 527	25 768	26 007	26 245	26 482	26 717	26 951	27 184	27 416	27 646
19	27 875	28 103	28 330	28 556	28 780	29 003	29 226	29 447	29 667	29 885
20	30 103	30 320	30 535	30 750	30 963	31 175	31 387	31 597	31 806	32 015
21	32 222	32 428	32 634	32 838	33 041	33 244	33 445	33 646	33 846	34 044
22	34 242	34 439	34 635	34 830	35 025	35 218	35 411	35 603	35 793	35 984
23	36 173	36 361	36 549	36 736	36 922	37 107	37 291	37 475	37 658	37 840
24	38 021	38 202	38 382	38 561	38 739	38 917	39 094	39 270	39 445	39 620
25	39 794	39 967	40 140	40 312	40 483	40 654	40 824	40 993	41 162	41 330
26	41 497	41 664	41 830	41 996	42 100	42 325	42 488	42 651	42 813	42 975
27	43 136	43 297	43 457	43 616	43 775	43 933	44 091	44 248	44 404	44 560
28	44 716	44 871	45 025	45 179	45 332	45 484	45 637	45 788	45 939	46 090
29	46 240	46 389	46 538	46 687	46 835	46 982	47 129	47 276	47 422	47 567
30	47 712	47 857	48 001	48 144	48 287	48 430	48 572	48 714	48 855	48 996
31	49 136	49 276	40 415	49 554	49 693	49 831	49 969	50 106	50 243	50 379
32	50 515	50 651	50 786	50 920	51 055	51 188	51 322	51 455	51 587	51 720
33	51 851	51 983	52 114	52 244	52 375	52 504	52 634	52 763	52 892	53 020
34	53 148	53 275	53 403	53 529	53 656	53 782	53 908	54 033	54 158	54 283
35	54 407	54 531	54 654	54 777	54 900	55 023	55 145	55 267	55 388	55 509
36	55 630	55 751	55 871	55 991	56 110	56 229	56 348	56 467	56 585	56 703
37	56 820	56 937	57 054	57 171	57 287	57 403	57 519	57 634	57 749	57 864
38	57 978	58 092	58 206	58 320	58 433	58 546	58 659	58 771	58 883	58 995
39	59 106	59 218	59 329	59 439	59 550	59 660	59 770	59 879	59 988	60 097
40	60 206	60 314	60 423	60 531	60 638	60 746	60 853	60 959	61 066	61 172
41	61 278	61 384	61 490	61 595	61 700	61 805	61 909	62 014	62 118	62 221
42	62 325	62 428	62 531	62 634	62 737	62 839	62 941	63 043	63 144	63 246
43	63 347	63 448	63 548	63 649	63 749	63 849	63 949	64 048	64 147	64 246
44	64 345	64 444	64 542	64 640	64 738	64 836	64 933	65 031	65 128	65 225
45	65 321	65 418	65 514	65 610	65 706	65 801	65 896	65 992	66 087	66 181
46	66 276	66 370	66 464	66 558	66 652	66 745	66 839	66 932	67 025	67 117
47	67 210	67 302	67 394	67 486	67 578	67 669	67 761	67 852	67 943	68 034
48	68 124	68 215	68 305	68 395	68 485	68 574	68 664	68 753	68 842	68 931
49	69 020	69 108	69 197	69 285	69 373	69 461	69 548	69 636	69 723	69 810
50	69 897	69 984	70 070	70 157	70 243	70 329	70 415	70 501	70 586	70 672
51	70 757	70 842	70 927	71 012	71 096	71 181	71 265	71 349	71 433	71 517
52	71 600	71 684	71 767	71 850	71 933	72 016	72 099	72 181	72 263	72 346
53	72 428	72 509	72 591	72 673	72 754	72 835	72 916	72 997	73 078	73 159
54	73 239	73 320	73 400	73 480	73 560	73 640	73 719	73 799	73 878	73 957
55	74 036	74 115	74 194	74 273	74 351	74 429	74 507	74 586	74 663	74 741
56	74 819	74 896	74 974	75 051	75 128	75 205	75 282	75 358	75 435	75 511
57	75 587	75 664	75 740	75 815	75 891	75 967	76 042	76 118	76 193	76 268
58	76 343	76 418	76 492	76 567	76 641	76 716	76 790	76 864	76 938	77 012
59	77 085	77 159	77 232	77 305	77 379	77 452	77 525	77 597	77 670	77 743

Число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	77 815	77 887	77 960	78 032	78 104	78 176	78 247	78 319	78 390	78 462
61	78 533	78 604	78 675	78 746	78 817	78 888	78 958	79 029	79 099	79 169
62	79 239	79 309	79 379	79 449	79 518	79 588	79 657	79 727	79 796	79 865
63	79 934	80 003	80 072	80 140	80 209	80 277	80 346	80 414	80 482	80 550
64	80 618	70 686	80 754	80 821	80 889	80 956	81 023	81 090	81 058	81 224
65	81 291	81 358	81 425	81 491	81 558	81 624	81 690	81 757	81 823	81 889
66	81 954	82 020	82 086	82 151	82 217	82 282	82 347	82 413	82 478	82 543
67	82 607	82 672	82 737	82 802	82 866	82 930	82 995	83 059	83 123	83 187
68	83 251	83 315	83 378	83 442	83 506	83 569	83 632	83 696	83 759	83 822
69	83 885	83 948	84 011	84 073	84 136	84 198	84 261	84 323	84 386	84 448
70	84 510	84 572	84 634	84 696	84 757	84 819	84 880	84 942	85 003	85 065
71	85 126	85 187	85 248	85 309	85 370	85 431	85 491	85 552	85 612	85 673
72	85 733	85 794	85 854	85 914	85 974	86 034	86 094	86 153	86 213	86 273
73	86 332	86 392	86 451	86 510	86 570	86 629	86 688	86 747	86 806	86 864
74	86 923	86 982	87 040	87 099	87 157	87 216	87 274	87 332	87 390	87 448
75	87 506	87 564	87 622	87 679	87 737	87 795	87 852	87 910	87 967	88 024
76	88 081	88 438	88 195	88 252	88 309	88 366	88 423	88 480	88 536	88 593
77	88 649	88 705	88 762	88 818	88 874	88 930	88 986	89 042	89 098	89 154
78	89 209	89 265	89 321	89 376	89 432	89 487	89 542	89 597	89 653	89 708
79	89 763	89 818	89 873	89 927	89 982	90 037	90 091	90 146	90 200	90 255
80	90 309	90 363	90 417	90 472	90 526	90 580	90 634	90 687	90 741	90 795
81	90 849	90 902	90 956	91 009	91 062	91 116	91 169	91 222	91 275	91 328
82	91 381	91 434	91 487	91 540	91 593	91 645	91 698	91 751	91 803	91 855
83	91 809	91 960	92 012	92 065	92 117	92 169	92 221	92 273	92 324	92 376
84	92 428	92 480	92 531	92 583	92 634	92 686	92 737	92 788	92 840	92 891
85	92 942	92 993	93 044	93 095	93 146	93 197	93 247	93 298	93 349	93 399
86	93 450	93 500	93 551	93 601	93 651	93 702	93 752	93 802	93 852	93 902
87	93 952	94 002	94 052	94 101	94 151	94 201	94 250	94 300	94 349	94 399
88	94 448	94 498	94 547	94 596	94 645	94 694	94 743	94 792	94 841	94 890
89	94 939	94 988	95 036	95 085	95 134	95 182	95 231	95 279	95 328	95 376
90	95 424	95 472	95 521	95 569	95 617	95 665	95 713	95 761	95 809	96 856
91	95 904	95 952	95 999	96 047	96 095	96 142	96 190	96 237	96 284	96 332
92	96 379	96 426	96 473	96 520	96 567	96 614	96 661	96 708	96 755	96 802
93	96 848	96 895	96 942	96 988	97 035	97 081	97 128	97 174	97 220	97 267
94	97 313	97 359	97 405	97 451	97 497	97 543	97 589	97 635	97 681	97 727
95	97 772	97 818	97 864	97 909	97 955	98 000	98 046	98 091	98 137	98 182
96	98 227	98 272	98 318	98 363	98 408	98 453	98 498	98 543	98 588	98 632
97	98 677	98 722	98 767	98 811	98 856	98 900	98 945	98 989	99 034	99 078
98	99 123	99 167	99 211	99 255	99 300	99 344	99 388	99 432	99 476	99 520
99	99 564	99 607	99 651	99 695	99 739	99 782	99 826	99 870	99 913	99 957

ПРИЛОЖЕНИЕ V

ТАБЛИЦА ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Значения функции e^x										
0,0	1,000	1,010	1,020	1,030	1,041	1,051	1,062	1,073	1,083	1,094
0,1	1,105	1,116	1,128	1,139	1,150	1,162	1,174	1,185	1,197	1,209
0,2	1,221	1,234	1,246	1,259	1,271	1,284	1,297	1,310	1,323	1,336
0,3	1,350	1,363	1,377	1,391	1,405	1,419	1,433	1,448	1,462	1,477
0,4	1,492	1,507	1,522	1,537	1,553	1,568	1,594	1,600	1,616	1,632
0,5	1,649	1,665	1,682	1,699	1,716	1,733	1,751	1,768	1,786	1,804
0,6	1,822	1,840	1,859	1,878	1,896	1,916	1,935	1,954	1,974	1,994
0,7	2,014	2,034	2,054	2,075	2,096	2,117	2,138	2,160	2,181	2,203

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,8	2,226	2,248	2,270	2,293	2,316	2,340	2,363	2,387	2,411	2,435
0,9	2,460	2,484	2,509	2,535	2,560	2,586	2,612	2,638	2,664	2,691
1,0	2,718	2,746	2,773	2,801	2,829	2,858	2,886	2,915	2,945	2,974
1,1	3,004	3,034	3,065	3,096	3,127	3,158	3,190	3,222	3,254	3,287
1,2	3,320	3,353	3,387	3,421	3,456	3,490	3,525	3,561	3,597	3,633
1,3	3,669	3,706	3,743	3,781	3,819	3,857	3,896	3,935	3,975	4,015
1,4	4,055	4,096	4,137	4,179	4,221	4,263	4,306	4,349	4,393	4,437
1,5	4,482	4,527	4,572	4,618	4,665	4,711	4,759	4,807	4,855	4,904
1,6	4,953	5,003	5,053	5,104	5,155	5,207	5,259	5,312	5,366	5,419
1,7	5,474	5,529	5,585	5,641	5,697	5,755	5,812	5,871	5,930	5,989
1,8	6,050	6,110	6,172	6,234	6,297	6,360	6,424	6,488	6,554	6,619
1,9	6,686	6,753	6,821	6,890	6,959	7,029	7,099	7,171	7,243	7,316
2,0	7,389	7,463	7,538	7,614	7,691	7,768	7,846	7,925	8,004	8,085
2,1	8,166	8,248	8,331	8,415	8,499	8,585	8,671	9,758	8,846	8,935
2,2	9,025	9,116	9,207	9,300	9,393	9,488	9,583	9,679	9,777	9,875
2,3	9,974	10,07	10,18	10,28	10,38	10,49	10,59	10,70	10,80	10,91
2,4	11,02	11,13	11,25	11,36	11,47	11,59	11,70	11,82	11,94	12,06
2,5	12,18	12,30	12,43	12,55	12,68	12,81	12,94	13,07	13,20	13,33
2,6	13,46	13,60	13,74	13,87	14,01	14,15	14,30	14,44	14,59	14,73
2,7	14,88	15,03	15,18	15,33	15,49	15,64	15,80	15,96	16,12	16,28
2,8	16,44	16,61	16,78	16,95	17,12	17,29	17,46	17,64	17,81	17,99
2,9	18,17	18,36	18,54	18,73	18,92	19,11	19,30	19,49	19,69	19,89
3,0	20,09	20,29	20,49	20,70	20,91	21,12	21,33	21,54	21,76	21,98
3,1	22,20	22,42	22,65	22,87	23,10	23,34	23,57	23,81	24,05	21,29
3,2	24,53	24,78	25,03	25,28	25,53	25,79	26,05	26,31	26,58	26,84
3,3	27,11	27,39	27,66	27,94	28,22	28,50	28,79	29,08	29,37	29,67
3,4	29,96	30,27	30,57	30,88	31,19	31,50	31,82	32,14	32,46	32,79
3,5	33,12	33,45	33,78	34,12	34,47	34,81	35,16	35,52	35,87	36,23
3,6	36,60	36,97	37,34	37,71	38,09	38,47	38,86	39,25	39,65	40,04
3,7	40,45	40,85	41,26	41,68	42,10	42,52	42,95	43,38	43,82	44,26
3,8	44,70	45,15	45,60	46,06	46,53	46,99	47,47	47,94	48,42	48,91
3,9	49,40	49,90	50,40	50,91	51,42	51,94	52,46	52,98	53,52	54,05
4,0	54,60	55,15	55,70	56,26	56,83	57,40	57,97	58,56	59,15	59,74
4,1	60,36	60,95	61,56	62,18	62,80	63,43	64,07	64,72	65,37	66,02
4,2	66,69	67,36	68,03	68,72	69,41	70,11	70,81	71,52	72,24	72,97
4,3	73,70	74,44	75,19	75,94	76,71	77,48	78,26	79,04	79,84	80,46
4,4	81,45	82,27	83,10	83,93	84,78	85,63	86,49	87,36	88,23	89,12
4,5	90,02	90,92	91,84	92,76	93,69	94,63	95,58	96,54	97,51	98,49
4,6	99,48	100,5	101,5	102,5	103,5	104,6	105,6	106,7	107,8	108,9
4,7	109,9	111,1	112,2	113,3	114,4	115,6	116,7	117,9	119,1	120,3
4,8	121,5	122,7	124,0	125,2	126,5	127,7	129,0	130,3	131,6	133,0
4,9	134,3	135,6	137,0	138,4	139,8	141,2	142,6	144,0	145,2	146,9
5,0	148,4	149,9	151,4	152,9	154,5	156,0	157,6	159,2	160,8	162,4

2. Значения функции Shx

0,0	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090
0,1	0,100	0,110	0,120	1,130	0,140	0,151	0,161	0,171	0,181	0,191
0,2	0,201	0,212	0,222	0,232	0,242	0,253	0,263	0,273	0,284	0,294
0,3	0,305	0,315	0,325	0,336	0,347	0,357	0,368	0,378	0,389	0,400
0,4	0,411	0,422	0,432	0,443	0,454	0,465	0,476	0,488	0,499	0,510
0,5	0,521	0,532	0,544	0,555	0,567	0,578	0,590	0,601	0,613	0,625
0,6	0,637	0,649	0,660	0,673	0,685	0,697	0,709	0,721	0,734	0,746
0,7	0,759	0,771	0,784	0,797	0,809	0,822	0,835	0,848	0,862	0,875
0,8	0,888	0,902	0,915	0,929	0,942	0,956	0,970	0,984	0,998	1,012
0,9	1,027	1,041	1,055	1,070	1,085	1,099	1,114	1,129	1,145	1,160
1,0	1,175	1,191	1,206	1,222	1,238	1,254	1,270	1,286	1,303	1,319
1,1	1,336	1,352	1,369	1,386	1,403	1,421	1,438	1,456	1,474	1,491
1,2	1,509	1,528	1,546	1,564	1,583	1,602	1,621	1,640	1,659	1,679
1,3	1,698	1,718	1,738	1,758	1,779	1,799	1,820	1,841	1,862	1,883
1,4	1,904	1,926	1,948	1,970	1,992	2,014	2,037	2,060	2,083	2,106
1,5	2,129	2,153	2,177	2,201	2,225	2,250	2,274	2,299	2,324	2,350
1,6	2,376	2,401	2,428	2,454	2,481	2,507	2,535	2,562	2,590	2,617

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,7	2,646	2,674	2,703	2,732	2,761	2,790	2,820	2,850	2,881	2,911
1,8	2,942	2,973	3,005	3,037	3,069	3,101	3,134	3,167	3,200	3,234
1,9	3,268	3,302	3,337	3,372	3,408	3,443	3,479	3,516	3,552	3,589
2,0	3,627	3,665	3,703	3,741	3,780	3,820	3,859	3,899	3,940	3,981
2,1	4,022	4,064	4,106	4,148	4,191	4,234	4,278	4,322	4,367	4,412
2,2	4,457	4,503	4,549	4,596	4,643	4,691	4,739	4,788	4,837	4,887
2,3	4,937	4,988	5,039	5,090	5,142	5,195	5,248	5,302	5,356	5,411
2,4	5,466	5,522	5,578	5,635	5,693	5,751	5,810	5,869	5,929	5,989
2,5	6,050	6,112	6,174	6,237	6,300	6,365	6,429	6,495	6,561	6,627
2,6	6,695	6,763	6,831	6,901	6,971	7,042	7,113	7,185	7,258	7,332
2,7	7,406	7,481	7,557	7,634	7,711	7,789	7,868	7,948	8,028	8,110
2,8	8,192	8,275	8,359	8,443	8,529	8,615	8,702	8,790	8,879	8,969
2,9	9,060	9,151	9,244	9,337	9,431	9,527	9,623	9,720	9,819	9,918
3,0	10,02	10,12	10,22	10,32	10,43	10,53	10,64	10,75	10,86	10,97
3,1	11,08	11,19	11,30	11,42	11,53	11,65	11,76	11,88	12,00	12,12
3,2	12,25	12,37	12,49	12,62	12,75	12,88	13,01	13,14	13,27	13,40
3,3	13,54	13,67	13,81	13,95	14,09	14,23	14,38	14,52	14,67	14,82
3,4	14,97	15,12	15,27	15,42	15,58	15,73	15,89	16,05	16,21	16,38
3,5	16,54	16,71	16,88	17,05	17,22	17,39	17,57	17,74	17,92	18,10
3,6	18,28	18,47	18,66	18,84	19,03	19,22	19,42	19,61	19,81	20,01
3,7	20,21	20,41	20,62	20,83	21,04	21,25	21,46	21,68	21,90	22,12
3,8	22,34	22,56	22,79	23,02	23,25	23,49	23,72	23,96	24,20	24,45
3,9	24,69	24,94	25,19	25,44	25,70	25,96	26,22	26,48	26,75	27,02
4,0	27,29	27,56	27,84	28,12	28,40	28,69	28,98	29,27	29,56	29,86
4,1	30,16	30,46	30,77	31,08	31,39	31,71	32,03	32,35	32,68	33,00
4,2	33,34	33,67	34,01	34,35	34,70	35,05	35,40	35,75	36,11	36,48
4,3	36,84	37,21	37,59	37,97	38,35	38,73	39,12	39,52	39,91	40,31
4,4	40,72	41,13	41,54	41,96	42,38	42,81	43,24	43,67	44,11	44,56
4,5	45,00	45,46	45,91	46,37	46,84	47,31	47,79	48,27	48,75	49,24
4,6	49,74	50,24	50,74	51,25	51,77	52,29	52,81	53,34	53,88	54,42
4,7	54,97	55,52	56,08	56,64	57,21	57,79	58,37	58,96	59,55	60,15
4,8	60,75	61,36	61,98	62,60	63,23	63,87	64,51	65,16	65,81	66,47
4,9	67,14	67,82	68,50	69,19	69,88	70,58	71,29	72,01	72,73	73,46
5,0	74,20	74,95	75,70	76,46	77,23	78,01	78,79	79,58	80,38	81,19

3. Значения функции ch$x$

0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004
0,1	1,005	1,006	1,007	1,008	1,010	1,011	1,013	1,014	1,016	1,018
0,2	1,020	1,022	1,024	1,027	1,029	1,031	1,034	1,037	1,039	1,042
0,3	1,045	1,048	1,052	1,055	1,058	1,062	1,066	1,069	1,073	1,077
0,4	1,081	1,085	1,090	1,094	1,098	1,103	1,108	1,112	1,117	1,122
0,5	1,128	1,133	1,138	1,144	1,149	1,155	1,161	1,167	1,173	1,179
0,6	1,185	1,192	1,198	1,205	1,212	1,219	1,266	1,233	1,240	1,248
0,7	1,255	1,263	1,271	1,278	1,286	1,295	1,303	1,311	1,320	1,329
0,8	1,337	1,346	1,355	1,365	1,374	1,384	1,393	1,403	1,413	1,423
0,9	1,433	1,443	1,454	1,465	1,475	1,486	1,497	1,508	1,520	1,531
1,0	1,543	1,555	1,567	1,579	1,591	1,604	1,616	1,629	1,642	1,655
1,1	1,669	1,682	1,696	1,709	1,723	1,737	1,752	1,766	1,781	1,796
1,2	1,811	1,826	1,841	1,857	1,872	1,888	1,905	1,921	1,937	1,954
1,3	1,971	1,988	2,005	2,023	2,040	2,058	2,076	2,095	2,113	2,132
1,4	2,151	2,170	2,189	2,209	2,229	2,249	2,269	2,290	2,310	2,331
1,5	2,352	2,374	2,395	2,417	2,439	2,462	2,484	2,507	2,530	2,554
1,6	2,577	2,601	2,625	2,650	2,675	2,700	2,725	2,750	2,776	2,802
1,7	2,828	2,855	2,882	2,909	2,936	2,964	2,992	3,021	3,049	3,078
1,8	3,107	3,137	3,167	3,197	3,228	3,259	3,290	3,321	3,353	3,385
1,9	3,418	3,451	3,484	3,517	3,551	3,585	3,620	3,655	3,690	3,726
2,0	3,762	3,799	3,835	3,873	3,910	3,948	3,987	4,026	4,065	4,104
2,1	4,144	4,185	4,226	4,267	4,309	4,351	4,393	4,436	4,480	4,524
2,2	4,568	4,613	4,658	4,704	4,750	4,797	4,844	4,891	4,939	4,988
2,3	5,037	5,087	5,137	5,188	5,239	5,290	5,343	5,395	5,449	5,503
2,4	5,557	5,612	5,667	5,723	5,780	5,837	5,895	5,954	6,012	6,072
2,5	6,132	6,193	6,255	6,317	6,379	6,443	6,507	6,571	6,636	6,702

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,6	6,769	6,836	6,904	6,973	7,042	7,112	7,183	7,255	7,327	7,400
2,7	7,473	7,548	7,623	7,699	7,776	7,853	7,932	8,011	8,090	8,171
2,8	8,253	8,335	8,418	8,502	8,587	8,673	8,759	8,847	8,935	9,024
2,9	9,115	9,206	9,298	9,390	9,484	9,579	9,675	9,772	9,869	9,968
3,0	10,07	10,17	10,27	10,37	10,48	10,58	10,69	10,79	10,90	11,01
3,1	11,12	11,23	11,35	11,46	11,57	11,69	11,81	11,92	12,04	12,16
3,2	12,29	12,41	12,53	12,66	12,79	12,91	13,04	13,17	13,31	13,44
3,3	13,57	13,71	13,85	13,99	14,13	14,27	14,41	14,56	14,70	14,85
3,4	15,00	15,15	15,30	15,45	15,61	15,77	15,92	16,08	16,24	16,41
3,5	16,57	16,74	16,91	17,08	17,25	17,42	17,60	17,77	17,95	18,13
3,6	18,31	18,50	18,68	18,87	19,06	19,25	19,44	19,64	19,84	20,03
3,7	20,24	20,44	20,64	20,85	21,06	21,27	21,49	21,70	21,92	22,14
3,8	22,36	22,59	22,81	23,04	23,27	23,51	23,74	23,98	24,22	24,47
3,9	24,71	24,96	25,21	25,46	25,72	25,98	26,24	26,50	26,77	27,04
4,0	27,31	27,58	27,86	28,14	28,42	28,71	29,00	29,29	29,58	29,88
4,1	30,18	30,48	30,79	31,10	31,41	31,72	32,04	32,37	32,69	33,02
4,2	33,35	33,69	34,02	34,37	34,71	35,06	35,41	35,77	36,13	36,49
4,3	36,86	37,23	37,60	37,98	38,36	38,75	39,13	39,53	39,92	40,33
4,4	40,73	41,14	41,55	41,97	42,39	42,82	43,25	43,68	44,12	44,57
4,5	45,01	45,47	45,92	46,38	46,85	47,32	47,80	48,28	48,76	49,25
4,6	49,75	50,25	50,75	51,26	51,78	52,30	52,82	53,35	53,89	54,43
4,7	54,98	55,53	56,09	56,65	57,22	57,80	58,38	58,96	59,56	60,15
4,8	60,76	61,37	61,99	62,61	63,24	63,87	64,52	65,16	65,82	66,48
4,9	67,15	67,82	68,50	69,19	69,89	70,59	71,30	72,02	72,74	73,47
5,0	74,21	74,96	75,71	76,47	77,24	78,01	78,80	79,59	80,39	81,20

4. Значения функции thx

0,0	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090
0,1	0,100	0,110	0,119	0,129	0,139	0,149	0,159	0,168	0,178	0,188
0,2	0,197	0,207	0,216	0,226	0,236	0,245	0,254	0,264	0,273	0,282
0,3	0,291	0,308	0,310	0,318	0,328	0,336	0,345	0,354	0,363	0,371
0,4	0,380	0,388	0,397	0,405	0,414	0,422	0,430	0,438	0,446	0,454
0,5	0,462	0,470	0,478	0,485	0,493	0,500	0,508	0,515	0,523	0,530
0,6	0,537	0,544	0,551	0,558	0,565	0,572	0,578	0,585	0,592	0,598
0,7	0,604	0,611	0,617	0,623	0,629	0,635	0,641	0,647	0,653	0,658
0,8	0,664	0,670	0,675	0,680	0,686	0,691	0,696	0,701	0,706	0,711
0,9	0,716	0,721	0,726	0,731	0,735	0,740	0,744	0,749	0,753	0,757
1,0	0,762	0,766	0,770	0,774	0,778	0,782	0,786	0,790	0,793	0,797
1,1	0,800	0,804	0,808	0,811	0,814	0,818	0,821	0,824	0,828	0,831
1,2	0,834	0,837	0,840	0,843	0,846	0,848	0,851	0,854	0,856	0,859
1,3	0,862	0,864	0,867	0,869	0,872	0,874	0,876	0,879	0,881	0,883
1,4	0,885	0,888	0,890	0,892	0,894	0,896	0,798	0,900	0,902	0,903
1,5	0,905	0,907	0,909	0,910	0,912	0,914	0,915	0,917	0,919	0,920
1,6	0,922	0,923	0,925	0,926	0,928	0,929	0,930	0,932	0,933	0,934
1,7	0,935	0,937	0,938	0,939	0,940	0,941	0,942	0,944	0,945	0,946
1,8	0,947	0,948	0,949	0,950	0,951	0,952	0,953	0,954	0,954	0,955
1,9	0,956	0,957	0,958	0,959	0,960	0,960	0,961	0,962	0,963	0,963
2,0	0,964	0,965	0,965	0,966	0,967	0,967	0,968	0,969	0,969	0,970
2,1	0,970	0,971	0,972	0,972	0,973	0,973	0,974	0,974	0,975	0,975
2,2	0,976	0,976	0,977	0,977	0,978	0,978	0,978	0,979	9,979	0,980
2,3	0,980	0,980	0,981	0,981	0,982	0,982	0,982	0,983	0,983	0,983
2,4	0,984	0,984	0,984	0,985	0,985	0,985	0,986	0,986	0,986	0,986
2,5	0,987	0,987	0,987	0,987	0,988	0,988	0,988	0,988	0,989	0,989
2,6	0,989	0,989	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991
2,7	0,991	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
2,8	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994
2,9	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995
3,0	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
3,1	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,997	0,997
3,2	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
3,3	0,997	0,997	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИИ $E_i(-x)$

x	$E_i(-x)$	x	$E_i(-x)$	x	$E_i(-x)$
0,00	—	0,95	−0,239	3,5	$-0{,}697 \cdot 10^{-2}$
0,01	−4,038	1,00	−0,219	3,6	$-0{,}616 \cdot 10^{-2}$
0,02	−3,355	1,1	−0,186	3,7	$-0{,}545 \cdot 10^{-2}$
0,03	−2,959	1,2	−0,158	3,8	$-0{,}482 \cdot 10^{-2}$
0,04	−2,681	1,3	−0,135	3,9	$-0{,}427 \cdot 10^{-2}$
0,05	−2,468	1,4	−0,116	4,0	$-0{,}378 \cdot 10^{-2}$
0,06	−2,295	1,5	−0,100	4,1	$-0{,}335 \cdot 10^{-2}$
0,07	−2,151	1,6	−0,0868	4,2	$-0{,}297 \cdot 10^{-2}$
0,08	−2,027	1,7	−0,0746	4,3	$-0{,}263 \cdot 10^{-2}$
0,09	−1,919	1,8	−0,0647	4,4	$-0{,}234 \cdot 10^{-2}$
0,10	−1,823	1,9	−0,0562	4,5	$-0{,}207 \cdot 10^{-2}$
0,15	−1,465	2,0	−0,0489	4,6	$-0{,}184 \cdot 10^{-2}$
0,20	−1,223	2,1	−0,0426	4,7	$-0{,}164 \cdot 10^{-2}$
0,25	−1,044	2,2	−0,0372	4,8	$-0{,}145 \cdot 10^{-2}$
0,30	−0,906	2,3	−0,0325	4,9	$-0{,}129 \cdot 10^{-2}$
0,35	−0,794	2,4	−0,0284	5,0	$-0{,}115 \cdot 10^{-2}$
0,40	−0,702	2,5	−0,0249	6,0	$-0{,}360 \cdot 10^{-3}$
0,45	−0,625	2,6	−0,0219	7,0	$-0{,}116 \cdot 10^{-3}$
0,50	−0,560	2,7	−0,0192	8,0	$-0{,}377 \cdot 10^{-4}$
0,55	−0,503	2,8	−0,0169	9	$-0{,}125 \cdot 10^{-4}$
0,60	−0,454	2,9	−0,0148	10	$-0{,}416 \cdot 10^{-5}$
0,65	−0,412	3,0	−0,0130	11	$-0{,}140 \cdot 10^{-5}$
0,70	−0,374	3,1	−0,0115	12	$-0{,}475 \cdot 10^{-6}$
0,75	−0,340	3,2	−0,0101	13	$-0{,}162 \cdot 10^{-6}$
0,80	−0,311	3,3	$-0{,}894 \cdot 10^{-2}$	14	$-0{,}557 \cdot 10^{-7}$
0,85	−0,284	3,4	$-0{,}789 \cdot 10^{-2}$	15	$-0{,}192 \cdot 10^{-7}$
0,90	−0,260				

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

ТАБЛИЦА ФУНКЦИИ $J_0(x)$

x	$J_0(x)$	x	$J_0(x)$	x	$J_0(x)$
0	+1	2,4	3,049	4,8	22,79
0,1	1,003	2,5	3,29	4,9	24,91
0,2	1,01	2,6	3,553	5	27,24
0,3	1,023	2,7	3,842	5,1	29,79
0,4	1,04	2,8	4,157	5,2	32,58
0,5	1,063	2,9	4,503	5,3	35,65
0,6	1,092	3	4,881	5,4	39,01
0,7	1,126	3,1	5,294	5,5	42,69
0,8	1,167	3,2	5,747	5,6	46,74
0,9	1,213	3,3	6,243	5,7	51,17
1	1,266	3,4	6,785	5,8	56,04
1,1	1,326	3,5	7,378	5,9	61,38
1,2	1,394	3,6	8,028	6	67,23
1,3	1,469	3,7	8,739	6,1	73,66
1,4	1,553	3,8	9,517	6,2	80,72
1,5	1,647	3,9	10,37	6,3	88,46
1,6	1,75	4	11,3	6,4	96,96
1,7	1,864	4,1	12,32	6,5	106,3
1,8	1,99	4,2	13,44	6,6	116,5
1,9	2,128	4,3	14,67	6,7	127,8
2	2,28	4,4	16,01	6,8	140,1
2,1	2,446	4,5	16,48	6,9	153,7
2,2	2,629	4,6	19,09	7	178,6
2,3	2,83	4,7	20,86	7,1	185,0

x	$J_0(x)$	x	$J_0(x)$	x	$J_0(x)$
7,2	202,9	8,4	621,9	9	1094
7,3	222,7	8,5	683,2	9,1	1202
7,4	244,3	8,6	750,5	9,2	1321
7,5	268,2	8,7	824,4	9,3	1451
7,6	294,3	8,8	905,8	9,4	1595
7,7	323,1	8,9	995,2	9,5	1753
7,8	354,7			9,6	1927
7,9	389,4			9,7	2119
8	427,6			9,8	2329
8,1	469,5			9,9	2561
8,2	515,6			10	2816
8,3	566,3				

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

ТАБЛИЦА ФУНКЦИЙ БЕССЕЛЯ $K_0(\alpha)$

α	$K_0(\alpha)$	α	$K_0(\alpha)$	α	$K_0(\alpha)$	α	$K_0(\alpha)$	Примечания
0,00	∞	0,34	1,259	0,69	0,671	1,30	0,278	При $\alpha < 0{,}1$
0,01	4,721	0,35	1,233	0,70	0,660	1,35	0,260	$K_0(\alpha) \approx$
0,02	4,028	0,36	1,208	0,71	0,650	1,40	0,244	$\approx \left(0{,}577 + \ln\frac{\alpha}{2}\right)$
0,03	3,624	0,37	1,183	0,72	0,640	1,45	0,228	
0,04	3,336	0,38	1,160	0,73	0,630	1,50	0,214	
0,05	3,114	0,39	1,137	0,74	0,620	1,55	0,200	При $\alpha > 5$
0,06	2,933	0,40	1,114	0,75	0,611	1,60	1,188	$K_0(\alpha) \approx$
0,07	2,780	0,41	1,093	0,76	0,601	1,65	0,176	$\approx e^{-\alpha}\sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}}$
0,08	2,647	0,42	1,072	0,77	0,592	1,70	0,165	
0,09	2,531	0,43	1,052	0,78	0,583	1,75	0,155	
0,10	2,427	0,44	1,032	0,79	0,574	1,80	0,146	
0,11	2,333	0,45	1,013	0,80	0,565	1,85	0,137	
0,12	2,248	0,46	0,994	0,81	0,557	1,90	0,129	
0,13	2,170	0,47	0,976	0,82	0,548	1,95	0,121	
0,14	2,097	0,48	0,958	0,83	0,540	2,0	0,114	
0,15	2,030	0,49	0,941	0,84	0,532	2,1	0,101	
0,16	1,967	0,50	0,924	0,85	0,524	2,2	0,089	
0,17	1,909	0,51	0,908	0,86	0,516	2,3	0,079	
0,18	1,854	0,52	0,892	0,87	0,509	2,4	0,070	
0,19	1,802	0,53	0,876	0,88	0,501	2,5	0,062	
0,20	1,753	0,54	0,861	0,89	0,494	2,6	0,055	
0,21	1,706	0,55	0,846	0,90	0,487	2,7	0,0493	
0,22	1,662	0,56	0,832	0,91	0,480	2,8	0,0438	
0,23	1,620	0,57	0,818	0,92	0,473	2,9	0,0347	
0,24	1,580	0,58	0,804	0,93	0,466	3,0	0,0347	
0,25	1,524	0,59	0,791	0,94	0,459	3,1	0,0310	
0,26	1,505	0,60	0,777	0,95	0,452	3,2	0,0276	
0,27	1,470	0,61	0,765	0,96	0,446	3,3	0,0246	
0,28	1,436	0,62	0,752	0,97	0,440	3,4	0,0220	
0,29	1,404	0,63	0,740	0,98	0,433	3,5	0,0196	
0,30	1,372	0,64	0,728	0,99	0,427	3,6	0,0175	
0,31	1,342	0,65	0,716	1,00	0,421	3,7	0,0156	
0,32	1,314	0,66	0,704	1,05	0,392	3,8	0,0140	
0,33	1,286	0,67	0,693	1,10	0,366	3,9	0,0125	
		0,68	0,682	1,15	0,341	4,0	0,0112	
				1,20	0,318	4,2	0,0089	
				1,25	0,298	4,4	0,0071	
						4,6	0,0057	
						4,8	0,0046	
						5,0	0,0037	

ТАБЛИЦЫ

ФУНКЦИЙ $\varphi(\eta)$ ДЛЯ РАСЧЕТА УРАВНЕНИЙ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД (ПО ПАВЛОВСКОМУ)

Прямой уклон ($i \geqslant 0$). Кривая спада

η	$\varphi(\eta)$	η	$\varphi(\eta)$	η	$\varphi(\eta)$
0,01	—0,00004	0,42	—0,1247	0,910	—1,4980
0,02	—0,0002	0,44	—0,1398	0,920	—1,6057
0,03	—0,0004	0,46	—0,1562	0,930	—1,7293
0,04	—0,0008	0,48	—0,1738	0,940	—1,8734
0,05	—0,0013	0,50	—0,1932	0,950	—2,0457
0,06	—0,0019	0,52	—0,2140	0,960	—2,2589
0,07	—0,0026	0,54	—0,2365	0,970	—2,5366
0,08	—0,0034	0,56	—0,2610	0,975	—2,7147
0,09	—0,0043	0,58	—0,2875	0,980	—2,9320
0,10	—0,0053	0,60	—0,3162	0,982	—3,0354
0,12	—0,0078	0,62	—0,3475	0,984	—3,1512
0,14	—0,0108	0,64	—0,3816	0,986	—3,2827
0,16	—0,0144	0,66	—0,4188	0,988	—3,4348
0,18	—0,0185	0,68	—0,4595	0,990	—3,6152
0,20	—0,0231	0,70	—0,5040	0,992	—3,8363
0,22	—0,0285	0,72	—0,5530	0,994	—4,1220
0,24	—0,0345	0,74	—0,6071	0,996	—4,5255
0,26	—0,0411	0,76	—0,6671	0,998	—5,2167
0,28	—0,0485	0,78	—0,7342	0,999	—5,9088
0,30	—0,0567	0,80	—0,8094		
0,32	—0,0657	0,82	—0,8948		
0,34	—0,0755	0,84	—0,9926		
0,36	—0,0863	0,86	—0,1061		
0,38	—0,0980	0,88	—1,2402		
0,40	—0,1108	0,90	—1,4026		

Прямой уклон ($i > 0$). Кривая подпора

η	$\varphi(\eta)$	η	$\varphi(\eta)$	η	$\varphi(\eta)$
100,0	104,5951	34,0	37,4969	12,0	14,3979
90,0	94,4886	32,0	35,4340	11,0	13,3026
80,0	84,3695	30,0	33,3673	10,0	12,1972
70,0	74,2341	28,0	31,2958	9,0	11,0794
65,0	69,1589	26,0	29,2189	8,0	9,9459
60,0	64,0775	24,0	27,1352	7,0	8,7918
55,0	58,9890	22,0	25,0445	6,0	7,6094
50,0	53,8918	20,0	22,9444	5,0	6,3863
48,0	51,8502	19,0	21,8904	4,5	5,7528
46,0	49,8067	18,0	20,8332	4,0	5,0986
44,0	47,7612	17,0	19,7726	3,5	4,4163
42,0	45,7136	16,0	18,7081	3,0	3,6934
40,0	43,6636	15,0	17,6391	2,5	2,9055
38,0	41,6109	14,0	16,5649	2,0	2,0000
36,0	39,5554	13,0	15,4849	1,8	1,5769

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
1,6	1,0892	1,18	—0,5348	1,022	—2,7947
1,5	0,8069	1,17	—0,6020	1,020	—2,8920
1,45	0,6515	1,16	—0,6726	1,018	—2,9994
1,40	0,4837	1,15	—0,7471	1,016	—3,1192
1,36	0,3383	1,14	—0,8261	1,014	—3,2547
1,34	0,2612	1,13	—0,9102	1,012	—3,4111
1,32	0,1805	1,12	—0,0003	1,010	—3,5952
1,30	0,0959	1,11	—1,0973	1,009	—3,7015
1,29	0,0520	1,100	—1,2026	1,008	—3,8203
1,28	0,0069	1,090	—1,3180	1,007	—3,9548
—	—	1,080	—1,4457	1,006	—4,1100
1,27	—0,0393	1,070	—1,5893	1,005	—4,2933
1,26	—0,0871	1,060	—1,7534	1,004	—4,5175
1,25	—0,1363	1,050	—1,9457	1,003	—4,8062
				1,002	—5,2126
1,24	—0,1871	1,040	—2,1789		
1,23	—0,2397	1,035	—2,3174	1,001	—5,9068
1,22	—0,2941	1,030	—2,4766	—	—
1,21	—0,3506	1,028	—2,5476	—	—
1,20	—0,4094	1,026	—2,6237		
1,19	—0,4707	1,024	—2,7057		

Обратный уклон ($i > 0$)

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,010	—0,00005	0,38	—0,0579	0,88	—0,2487
0,015	—0,0001	0,40	—0,0635	0,90	—0,2581
0,020	—0,0002	0,42	—0,0693	0,92	—0,2677
0,025	—0,0003	0,44	—0,0754	0,94	—0,2773
0,030	—0,0004	0,46	—0,0816	0,96	—0,2871
0,040	—0,0008	0,48	—0,0879	0,98	—0,2969
0,050	—0,0012	0,50	—0,0945	1,0	—0,3069
0,060	—0,0017	0,52	—0,1013	1,2	—0,4116
0,070	—0,0024	0,54	—0,1082	1,4	—0,5245
0,080	—0,0030	0,56	—0,1153	1,6	—0,6445
0,090	—0,0038	0,58	—0,1226	1,8	—0,7704
0,100	—0,0047	0,60	—0,1300	2,0	—0,9014
0,12	—0,0067	0,62	—0,1376	2,2	—1,0369
0,14	—0,0090	0,64	—0,1453	2,4	—1,1762
0,16	—0,0116	0,66	—0,1532	2,6	—1,3191
0,18	—0,0144	0,68	—0,1612	2,8	—1,4650
0,20	—0,0177	0,70	—0,1694	3,0	—1,6137
0,22	—0,0212	0,72	—0,1777	4,0	—2,3906
0,24	—0,0249	0,74	—0,1861	5,0	—3,2082
0,26	—0,0289	0,76	—0,1947	6,0	—4,0541
0,28	—0,0331	0,78	—0,2034	7,0	—4,9206
0,30	—0,0376	0,80	—0,2122	8,0	—5,8028
0,32	—0,0424	0,82	—0,2212	9,0	—6,6974
0,34	—0,0473	0,84	—0,2302	10,0	—7,6021
0,36	—0,0525	0,86	—0,2394	11,0	—8,5151

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
12,0	—9,4351	24,0	—20,7811	50,0	—46,0682
13,0	—10,3609	26,0	—22,7042	60,0	—55,8891
14,0	—11,2920	28,0	—24,6327	70,0	—65,7374
15,0	—12,2274	30,0	—26,5660	80,0	—75,6055
16,0	—13,1668	32,0	—28,5035	90,0	—85,4891
17,0	—14,1096	34,0	—30,4447	100,0	—95,3849
18,0	—15,0556	36,0	—32,3891		
19,0	—16,0043	38,0	—34,3365		
20,0	—16,9555	40,0	—36,2864		
22,0	—18,8645	45,0	—41,1713		

ПРИЛОЖЕНИЕ X

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСТВОРИМОСТИ ГАЗОВ В ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

(объем газа, растворяющегося в единице объема жидкости при давлении этого газа над жидкостью, равном 760 *мм рт. ст.*; газ приведен к 0° С и давлению 760 *мм рт. ст.*)

°С	Кислород	Азот	Водород	Гелий	Неон	Аргон	Радон	Метан	Этан	Углекислота	Сероводород
0	0,0489	0,0235	0,0215	0,0094	0,0127	0,0524	0,510	0,0556	0,0987	1,713	4,670
5	0,0429	0,0209	0,0204	0,0093	—	0,0465	—	0,0481	0,0803	1,424	3,977
10	0,0380	0,0186	0,0196	0,0091	0,0113	0,0418	0,350	0,0418	0,0650	1,194	3,399
15	0,0342	0,0169	0,0188	0,0090	—	0,0375	—	0,0369	0,0550	1,019	2,945
20	0,0310	0,0155	0,0182	0,0088	0,0104	0,0336	0,255	0,0331	0,0472	0,878	2,582
25	0,0283	0,0144	0,0175	0,0087	—	0,0310	—	0,0301	0,0410	0,759	2,282
30	0,0261	0,0134	0,0170	0,0086	0,0099	0,0289	0,200	0,0276	0,0362	0,665	2,037
35	0,0244	0,0126	0,0167	0,00	—	0,0268	—	0,0255	0,0323	0,591	1,84
40	0,0231	0,0118	0,0164	0,0083	0,0095	0,0254	0,160	0,0237	0,0292	0,531	1,67
45	0,0220	0,0114	0,0163	0,0082	—	0,0237	—	0,0224	0,0268	0,482	1,53
50	0,0209	0,0109	0,0161	0,0080	0,0091	0,0225	0,140	0,0213	0,0246	0,423	1,41
60	0,0191	0,0104	—	—	—	—	0,127	0,0198	0,0220	0,363	1,21
70	0,0185	0,0101	—	—	—	—	0,118	0,0187	0,0200	—	1,04
80	0,0181	0,0099	—	—	—	—	0,112	0,0182	0,0188	—	0,917
90	0,0177	0,0098	—	—	—	—	0,109	0,0180	0,0181	—	0,867
100	0,0177	0,0098	—	—	—	—	0,107	0,0177	0,0180	—	0,844

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИИ $N(\bar{r}, \alpha)$ ПРИ РАЗНЫХ α

$\bar{r}$	$\alpha = 0{,}775$	$\alpha = 0{,}895$	$\alpha = 0{,}95$	$\alpha = -0{,}775$	$\alpha = -0{,}895$	$\alpha = -0{,}95$
0,01	1,574	2,346	3,038	—0,6448	—0,7207	—0,7527
0,5	1,436	2,182	2,862	—0,5278	—0,5860	—0,6095
1,0	1,228	1,932	2,591	—0,3756	—0,4136	—0,4286
5,0	0,533	1,008	1,530	—0,0877	—0,0958	—0,0981
15,0	0,216	0,475	0,816	—0,0288	—0,0304	—0,0296

ГРАФИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕСОВЕРШЕНСТВА СКВАЖИН (ПО В. И. ЩУРОВУ)

1. Скважина, несовершенная по степени вскрытия пласта

Дополнительное сопротивление притоку жидкости к скважине, несовершенной по степени вскрытия пласта, зависит от отношения

$$\delta = \frac{h_0}{H} \text{ и отношения } \alpha = \frac{h_0}{D},$$

где h_0 — вскрытая (перфорированная) мощность пласта, *м*;
H — общая эффективная мощность пласта, *м*;
D — диаметр скважины, *м*.

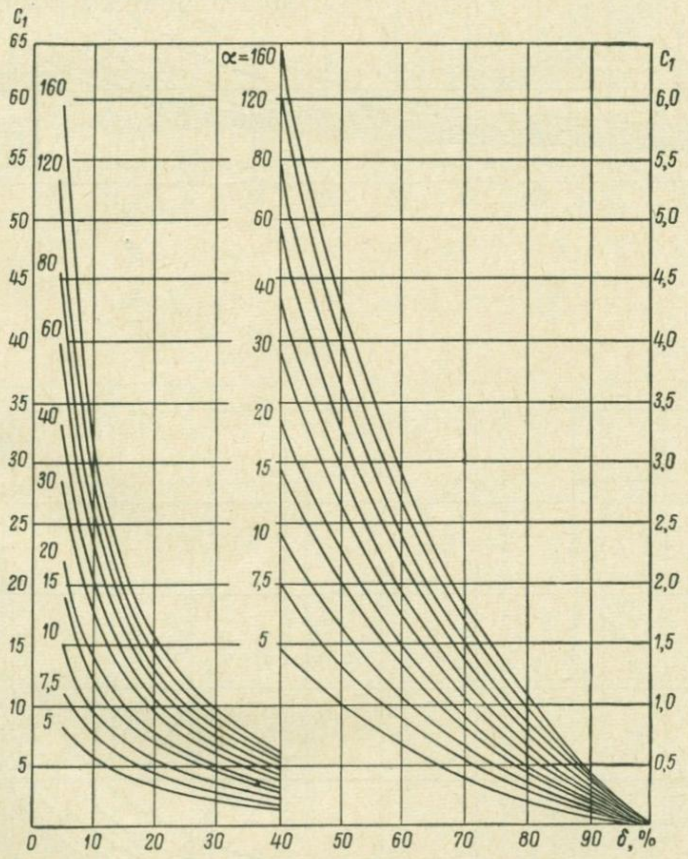


Рис. 1.

По значениям δ и α и графику на рис. 1 находится величина коэффициента C_1, который подставляется в формулу для определения дебита несовершенной скважины.

2. Скважина, несовершенная по характеру вскрытия пласта

Дополнительное сопротивление притоку жидкости к скважине, несовершенной по характеру вскрытия пласта, зависит 1) от отношения $l = \frac{l_1}{D}$, 2) от отношения $\alpha = \frac{d}{D}$, 3) от величины nD.

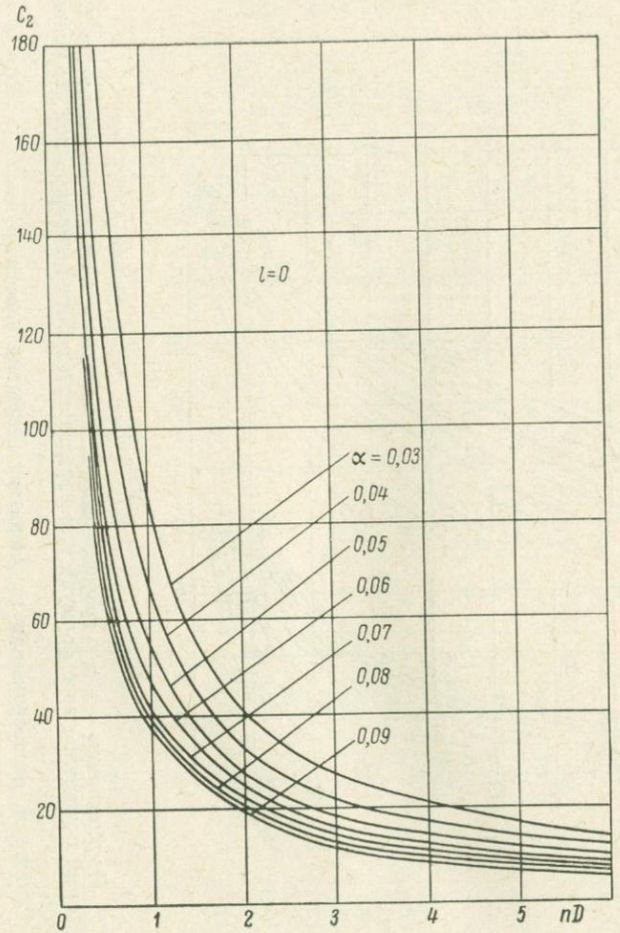

C_2
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
nD
l=0
α = 0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,08
0,09

Рис. 2а.

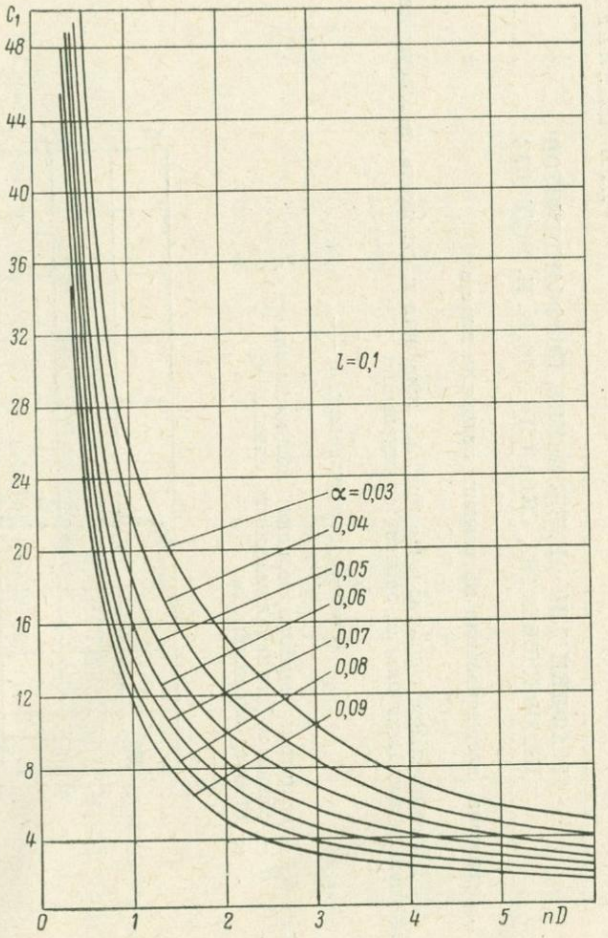

C_1
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
1
2
3
4
5
nD
l=0,1
α = 0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,08
0,09

Рис. 2б.

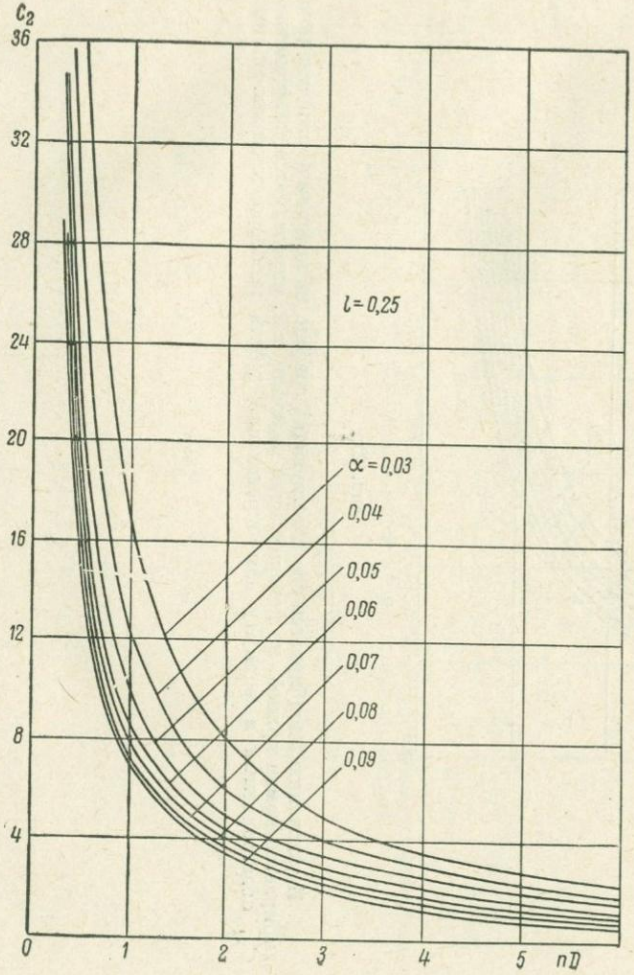

C_2
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
1
2
3
4
5
nD
l = 0,25
α = 0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,08
0,09

Рис. 2в.

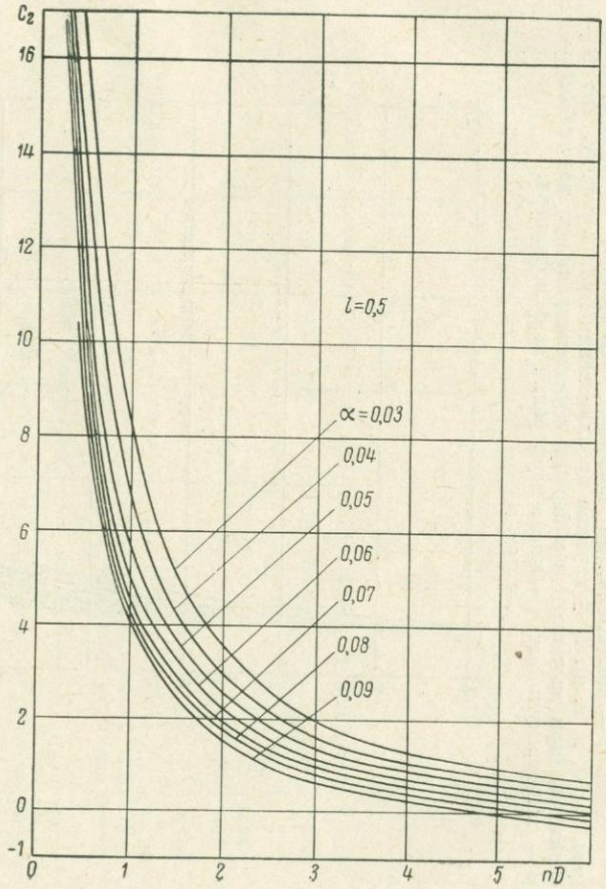

C_2
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-1
0
1
2
3
4
5
nD
l = 0,5
α = 0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,08
0,09

Рис. 2г.

Здесь l — показатель, по которому подбирается соответствующий график (рис. 2а, б, в, г, д); l_1 — глубина проникновения пули в породу, *см*; D — диаметр скважины (при расчетах l и α берется в сантиметрах, при расчете nD — в метрах); d — диаметр пуль, *см*; n — число перфораций на 1 *м* фильтра.

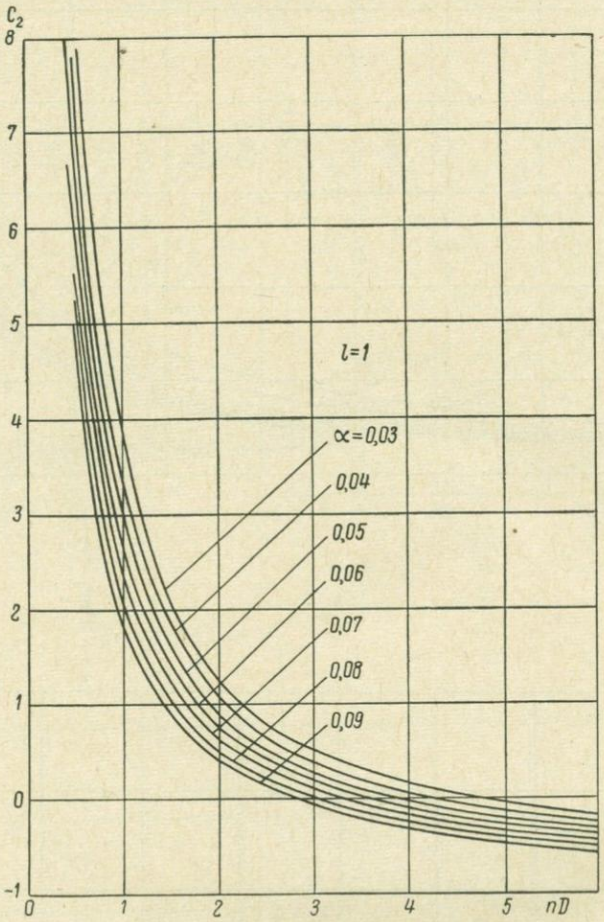


Рис. 2д.

По значению l подбирается соответствующий график, на котором по отношению α выбирается номер кривой, по которой, зная величину nD, определяется коэффициент C_2, подставляемый в формулу для определения дебита несовершенной скважины.

ГРАФИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЕКТНОГО ДЕБИТА $Q_п$ ПРИ ПОНИЖЕНИИ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ НА $S_п$ *м* (ИЛИ НАОБОРОТ $S_п$ ПО $Q_п$) И НАХОЖДЕНИЕ ЕДИНИЧНОГО УДЕЛЬНОГО ДЕБИТА $q_{1,0}$, ЕСЛИ ИЗВЕСТНЫ ДАННЫЕ ОДНОГО ФАКТИЧЕСКОГО ПОНИЖЕНИЯ $Q_к$ И $S_к$ (СОСТАВИЛ Н. Г. ПАУКЕР)

Ключ к пользованию графиком

1. Для нахождения проектного дебита $Q_п$ сначала на вертикальной шкале слева находят отношение $\frac{S_п}{S_к}$; затем проводят прямую до пересечения с диагональю 1—5 и от точки пересечения опускают перпендикуляр на ось N. Тогда $Q_п = Q_к N$.

2. Для нахождения единичного удельного дебита $q_{1,0}$ при $S > 1$ *м* поступают аналогичным образом, проводя прямую от вертикальной шкалы $S_к$ до пересечения с диагональю 1—5 и опускают перпендикуляр на ось N_1. Тогда $q_{1,0} = \frac{Q_к}{N_1}$. Если же $S < 1$ *м*, то используют шкалу справа ($S_к$ от 0,1 до 1 *м*) и проводят прямую до пересечения с наклонной линией 3,3—10, опуская перпендикуляр на ось N_2. Тогда $q_{1,0} = Q_к N_2$. Для всех трех случаев последовательность действий показана стрелками.

3. Для нахождения проектного понижения $S_п$ по заданному проектному дебиту $Q_п$ находят сначала $\frac{Q_п}{Q_к}$, восстанавливают перпендикуляр от оси N до пересечения с диагональю 1—5, а затем параллельно оси N проводят прямую до вертикальной шкалы $\frac{S_п}{S_к}$ тогда $S_п = \left(\frac{S_п}{S_к}\right) S_к$.

Единичный удельный дебит $q_{1,0}$ позволяет более объективно сопоставлять и оценивать водообильность различных водопунктов, а также определять водопроводимость пласта KM или KH (*м²/сутки*).

Примеры для расчета неустановившейся фильтрации

Пример 1. Водохранилище ежегодно наполняется за 1 месяц и затем срабатывается до горизонта мертвого объема в течение 11 месяцев ($H_1 = H_3 = \ldots$, $H_0 = H_2 = H_4 = \ldots$). Отметка нормального подпорного горизонта 36 *м*, отметка горизонта мертвого объема 32 *м*, отметка водоупорного ложа прибрежного грунтового потока 28 *м*. Коэффициент фильтрации берегового водоносного слоя $K = 2$ *м/сутки*, величина инфильтрации $W = 0{,}00005$ *м/сек*, расход грунтового потока у реки $q_0 = 0{,}05$ *м²/сутки*, $\mu = 0{,}2$.

Найти глубину потока на расстоянии $x = 600$ *м* от водохранилища в конце 4-го полуцикла — после второй сработки, т. е. в конце второго года колебаний.

По формуле (XXI-24) имеем

$$h_0 = \sqrt{(32-28)^2 + \frac{2 \cdot 0{,}5}{2} 600 - \frac{0{,}0005 \cdot 600^2}{2}} = 6{,}1 \text{ м};$$

далее по формуле (XXI-21)

$$\alpha = 0;$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \frac{(36-28)^2 - (32-28)^2}{1} = \frac{8^2 - 4^2}{1} = 48 \text{ м}^2/\text{месяц}$$

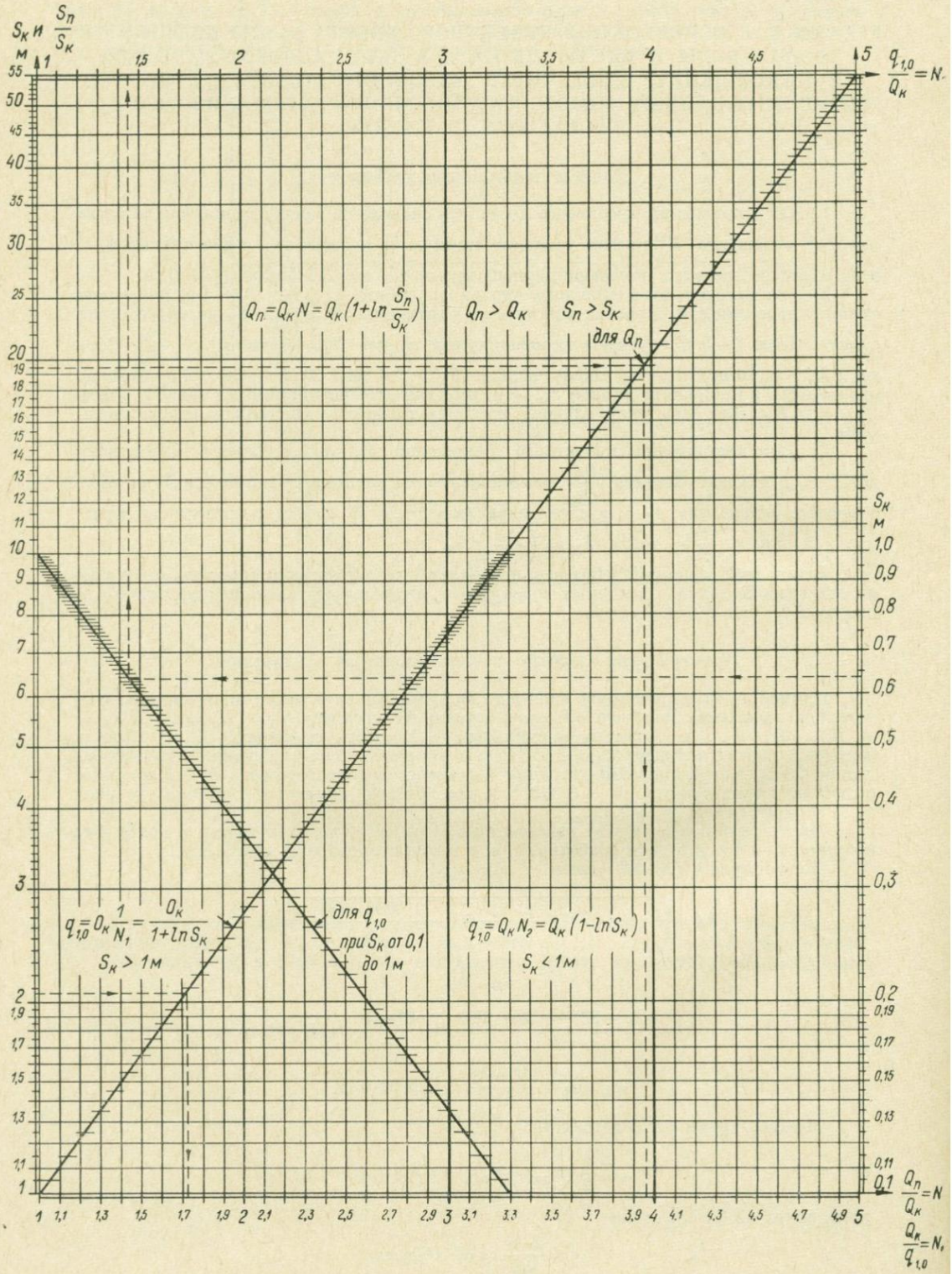
$$\alpha_2 = \alpha_4 = \frac{8^2 - 4^2}{11} = 4{,}36 \text{ м}^2/\text{сек}.$$

Можно, кроме того, написать

$$h_{ср} = \frac{1}{2}(h_{max} + h_{min}) = \frac{1}{2}(8+4) = 6 \text{ м};$$

по формуле (XXI-23) имеем

$$a = \frac{2 \cdot 6}{0{,}2} = 60 \text{ м}^2/\text{сутки},$$


$S_к$ и $\frac{S_п}{S_к}$
м
$\frac{q_{1,0}}{Q_к}=N$
$Q_п=Q_к N=Q_к\left(1+\ln\frac{S_п}{S_к}\right)$
$Q_п > Q_к$
$S_п > S_к$
для $Q_п$
$S_к$
м
$q_{1,0}=Q_к\frac{1}{N_1}=\frac{Q_к}{1+\ln S_к}$
$S_к > 1$ м
для $q_{1,0}$ при $S_к$ от 0,1 до 1 м
$q_{1,0}=Q_к N_2=Q_к(1-\ln S_к)$
$S_к < 1$ м
$\frac{Q_п}{Q_к}=N$
$\frac{Q_к}{q_{1,0}}=N_1$

а по формуле (XXI-22)

$$\lambda_0 = \frac{600}{2\sqrt{60 \cdot 730}} = 1{,}43;$$

$$\lambda_1 = \frac{600}{2\sqrt{60\,(730-30)}} = \frac{600}{2\sqrt{60 \cdot 700}} = 1{,}47;$$

$$\lambda_2 = \frac{600}{2\sqrt{60\,(730-365)}} = \frac{600}{2\sqrt{60 \cdot 365}} = 2{,}03;$$

$$\lambda_3 = \frac{600}{2\sqrt{60\,(730-395)}} = \frac{600}{2\sqrt{60 \cdot 335}} = 2{,}12;$$

Пользуясь таблицей XXI-3, находим $R(\lambda) = 0{,}011$; $R(\lambda_1) = 0{,}0093$; $R(\lambda_2) = 0{,}00105$; $R(\lambda_3) = 0{,}001$; и по формуле (XXI-13) окончательно получаем:

$$h = \sqrt{h_0^2 + \alpha_1 t R(\lambda_0) + (\alpha_1 - \alpha_2) \sum_2^n (t - t_{k-1}) R(\lambda_{k-1})} =$$

$$= \sqrt{6{,}1^2 + 48 \cdot 24 \cdot 0{,}011 + (48 - 4{,}36)(23 \cdot 0{,}0093 + 12 \cdot 0{,}00105 + 11 \cdot 0{,}001)} = 7{,}65\ м.$$

Пример 2. Для суточных колебаний горизонта воды в водохранилище отклонение отметок горизонта от средней величины, равной 10,5 *м*, может быть аппроксимировано путем разложения в ряд Фурье с помощью функции

$$f(t) = 0{,}34 \sin\left(\frac{\pi}{12} t\right) + 0{,}05 \cos\left(\frac{\pi}{12} t\right) + 0{,}25 \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) t + 0{,}02 \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) t + \ldots$$

Остальные члены этого ряда малы и могут быть отброшены.

Нужно найти амплитуду отклонений уровня грунтового потока от среднего положения кривой депрессии в сечении на расстоянии x, равном 25 *м* от берега, а также длину проникновения колебаний в глубь береговой толщи, если $K = 22$ *м/сутки*; $\mu = 0{,}2$; уклон водоупора $i = 0{,}05$. Средняя мощность грунтового потока, найденная при установившемся движении, $H = 10$ *м*.

Сначала убеждаемся в том, что величина уклона удовлетворяет условию (XXI-27)

$$i = 0{,}05 < \sqrt{\frac{3{,}14 \cdot 0{,}2 \cdot 10}{25 \cdot 22 \cdot 1}} = 0{,}108.$$

Из приведенного в данном примере выражения для $f(t)$ видно, что здесь в формуле (XXI-25) имеем следующие значения амплитуд гармоник разложения: (при $n = 1$) $a_1 = 0{,}34$; $b_1 = 0{,}05$; (при $n = 2$); $a_2 = 0{,}34$; $b_2 = 0{,}02$.

По формуле (XXI-28) имеем, для $n = 1$

$$r_1 = \sqrt{\frac{3{,}14 \cdot 0{,}2}{22 \cdot 10 \cdot 1}} = 0{,}053,$$

для $n = 2$

$$r_2 = \sqrt{\frac{3{,}14 \cdot 2 \cdot 0{,}2}{22 \cdot 10 \cdot 1}} = 0{,}075.$$

Таким образом по формуле (XXI-26) получаем

$$Z = \sqrt{0{,}34^2 + 0{,}05^2}\ e^{-0{,}053 \cdot 25} \cos\left(\frac{\pi}{12} t - 0{,}053 \cdot 25 - \operatorname{arctg} \frac{0{,}34}{0{,}05}\right) +$$

$$+ \sqrt{0{,}25^2 + 0{,}02^2}\ e^{-0{,}075 \cdot 25} \cos\left(\frac{\pi}{6} t - 0{,}075 \cdot 25 - \operatorname{arctg} \frac{0{,}25}{0{,}02}\right).$$

Для вычисления амплитуды колебаний Z_{max} надо взять такой момент времени, когда наибольшее значение имеет первый член этого выражения, так как второй член (быстрее убывающий с увеличением x) значительно меньше первого. Для этого косинус в первом члене надо приравнять единице или выражение в скобке приравнять нулю, откуда

$$t = \frac{12}{\pi}\left(0{,}053 \cdot 25 + \operatorname{arctg} \frac{0{,}34}{0{,}05}\right) = 10{,}6\ ч,$$

Следовательно, получим

$$Z_{max} = 0{,}35 \cdot e^{-1{,}33} + 0{,}25 \cdot e^{-1{,}88} \cos\left(\frac{\pi}{6} 10{,}6 - 1{,}88 - \operatorname{arctg} 12{,}5\right) = 0{,}93 + 0{,}022 = 11{,}5 \text{ см}.$$

По формуле же (XXI-29) получаем, что на расстоянии

$$L = \sqrt{\frac{3{,}14 \cdot 22 \cdot 10}{0{,}2}} = 59 \text{ м}.$$

Амплитуда колебаний будет не больше 2 *см*, т. е. колебания до этого сечения практически затухнут, и кривую депрессии на расстояниях от берега $x > 59$ *м* можно рассчитывать как кривую установившегося подпора для нормального подпорного горизонта воды в водохранилище.

Если график $f(t)$ грубо принять за синусоиду с амплитудой, равной максимальному отклонению от среднего горизонта, равному 0,52 *м*, при том же периоде $T = 24$ *ч*, то в сечении на расстоянии $x = 25$ *м* получим по формуле (XXI-31)

$$Z_{max} = 0{,}52 \cdot e^{-1{,}33} = \frac{0{,}52}{e^{1{,}33}} = \frac{0{,}52}{3{,}781} = 0{,}138 \text{ м} = 13{,}8 \text{ см},$$

вместо 11,5 *см* по более точному расчету. Оба значения близки друг к другу. Это объясняется тем, что затухания колебаний, определяющихся членами разложения, для которых $n > 1$, быстро усиливается с увеличением n; поэтому влияние таких членов на отметки уровней берегового грунтового потока оказывается незначительным.

Заметим, что подобный же приближенный расчет по формуле (XXI-31) дал бы неудовлетворительные результаты в предыдущем примере (см. п. 1), в котором наполнение водохранилища по сравнению с опорожнением происходит очень быстро. В самом деле, если даже принять за половину периода $\frac{T}{2}$ значение интервала времени, за который горизонт воды в водохранилище спадает (11 месяцев), то для предыдущего примера получим

$$xr = 600 \sqrt{\frac{3{,}14 \cdot 0{,}2}{2 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 335}} \approx 5;$$

$$Z_{max} = \frac{2}{e^5} \approx 0{,}02 \text{ м}.$$

ЛИТЕРАТУРА

I. Методы исследований, применяемые в гидрогеологии

Абдуллаев А. А. и др. Применение радиоактивных изотопов в качестве индикаторов для изучения динамики подземных вод. Узб. геол. ж., № 1, 1962.

Абдуллаев А. А. и др. Движение различных индикаторов в потоке подземных вод. Изв. АН УзССР, сер. физ.-мат. н., № 6, 1964.

Адамович А. М. и Колтунов Д. В. Цементация оснований гидросооружений. Госэнергоиздат, 1952.

Албул С. П. Перспектива применения гидрогеохимического метода при поисках рудных месторождений глубокого залегания. ОНТИ МГ и ОН СССР, № 1/35, 1962.

Албул С. П. I. Основные теоретические положения гидрогеохимии. II. О диффузионно-фильтрационном процессе в связи с гидрогеохимическими поисками рудных месторождений. В сб. Вопросы формиров. хим. состава подземных вод. Изд. МГУ, 1963.

Аллаф Э. Э. и Мещеряков А. И. Цементация в гидротехническом строительстве. Госэнергоиздат, 1953.

Апельцин И. Э. Подготовка воды для заводнения нефтяных пластов. Гостоптехиздат, 1960.

Атлас М. И., Литвишков Н. М. и Малышек В. Т. Водоснабжение и отвод сточных вод нефтяных промыслов. Гостоптехиздат, 1953.

Ахмедсафин У. М. Методика составления карт прогнозов и обзор артезианских бассейнов Казахстана. Алма-Ата, Изд. АН СССР, 1961.

Ахмедсафин У. М. Методика составления гидрогеологической карты Казахстана. В сб. Гидрогеол. районир. и регион. оценка ресурсов подземн. вод Казахстана. Алма-Ата, Наука, 1964.

Барс Е. А. Гидрохимические показатели нефтеносности и гидрохимические методы поисков нефтяных залежей. Геол. нефти, № 8, 1957.

Белый Л. Д., Биндеман Н. Н. и др. Под ред. проф. И. В. Попова. Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства. Гидроэнергопроект и МГРИ им. Орджоникидзе, т. I, II, Госгеолиздат, 1950.

Белый Л. Д., Нейштадт Л. И., Конярова Л. П. Инженерно-геологические исследования при проектировании и строительстве гидроэнергетических сооружений. Госэнергоиздат, 1953.

Беляков М. Ф. Геотермические наблюдения в буровых скважинах и их интерпретация. Гостоптехиздат, 1955.

Белякова Е. Е. и Митгарц Б. Б. Методика прогноза нефтегазоносности по солевому и газовому составу подземных вод, составу и упругости растворенных газов. Сборн. научно-техн. информ. ТУ МГ и ОН СССР, № 2, 1956.

Белякова Е. Е., Резников А. А. и др. Гидрохимический метод поисков рудных месторождений в аридных и полуаридных областях. Госгеолтехиздат, 1962.

Богомолов Г. В., Плотникова Г. Н., Флерова Л. И. Методика составления палеогидрогеологических карт на примере Московского артезианского бассейна. Тр. Лабор. гидрогеол. проблем. АН СССР, вып. 45, 1962.

Боровицкий В. П., Нечаев Г. А. Применение гидрохимического метода поисков рудных месторождений в условиях многолетней мерзлоты Западного Забайкалья. Тр. Междуведом. совещания по гидрогеохим. методу поисков рудных месторождений. Изд. Томского ун-та, 1962.

Бочевер Ф. М., Куделин Б. И., Чурпнов М. В. Об отражении ресурсов подземных вод на гидрогеологических картах. В сб. Пробл. комплексн. изуч. засушливых зон СССР, АН СССР, 1963.

Бродский А. А. (сост.). Гидрохимический метод поисков рудных месторождений. (Временные методические указания). Ред. Н. И. Плотников. Госгеолтехиздат, 1957 (ВСЕГИНГЕО).

Бродский А. А. Основы гидрогеохимического метода поисков сульфидных месторождений. Недра, 1964.

Валяшко М. Г. и Корененко О. М. Гидрохимические поисковые признаки калийных месторождений. Гидрохим. мат., т. 18, 1950.

Вевиоровская М. А. и Лукьянов В. С. (сост.). Номограммы для расчетов развития подпора грунтовых вод в берегах водохранилищ при однослойном строении водоносной толщи. Информ. мат. Лабор. инж. гидрогеол. ВНИИВодгео, № 11, 1957.

Викторов С. В. Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. АН СССР, 1955.

Викторов С. В. и др. Геоботанические методы при гидрогеологических исследованиях. В сб. Пробл. комплексн. изуч. засушл. зон СССР, АН СССР, 1963.

Востокова Е. А. Геоботанические методы поисков подземных вод в засушливых областях Советского Союза. Госгеолтехиздат, 1961.

Востокова Е. А., Шавырина А. В., Ларичева С. Г. Справочник по растениям — индикаторам грунтовых вод и почвогрунтов для южных пустынь СССР. Госгеолтехиздат, 1962.

Вопросы изучения и прогноза режима подземных вод. Недра, 1964 (Тр. ВСЕГИНГЕО).

Временная инструкция по опробованию опорных скважин, 1956. (Тр. ВНИГРИ).

Гавич И. К., Лучшева А. А., Семенова С. М. Сборник задач по общей гидрогеологии. Высшая школа, 1964.

Гавич И. К. О прогнозе режима грунтовых вод методом моделирования на гидравлическом интеграторе системы В. С. Лукьянова. В сб. Влияние орошения на вторичн. засолен., хим. состав и режим подземн. вод. Наука, 1964.

Гатальский М. А. Палеогидрогеология и ее значение при изучении нефтеносных областей. Геол. сборн. I, (IV). Гостоптехиздат, 1951. (ВНИГРИ и НИТО нефтян.).

Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений. АН СССР, 1959.

Германов А. И. и Сауков А. А. Поиски урановых месторождений радиогидрогеологическим методом. В сб. Исслед. в обл. геол., хим. и металлург. Серия: Докл. Сов. делег. на Междунар. конфер. по мирн. использов. атомн. энерг., Женева, 1955 г. АН СССР, 1955.

Гидрогеологические и гидрохимические показатели нефтегазоносности. Ред. В. М. Швец. Мат. научно-координац. совещания НИИ МГ и ОН СССР, Москва, март 1960 г. М., 1962 (ВСЕГИНГЕО).

Гидрогеохимический и сорбционносолевой методы поисков рудных месторождений в предгорных и горных районах Узб. ССР. Методическое руководство. Ред. С. П. Албул. М. 1956.

Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических поисков руд цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.

Горбатова А. Н., Исайчев В. В. Гидропрослушивание скважин и определение параметров пласта. Научно-техн. сб. по добыче нефти. Тр. ВНИИГаза, вып. 19, 1963.

Горелик А. М. Определение направления течения подземных вод по наблюдениям электрического поля фильтрации. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 6, 1952.

Горелик А. М. и Нестеренко И. П. Метод электрического поля фильтрации для определения радиуса депрессионной воронки при откачках из скважин. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 11, 1956.

Горелик А. М. и др. Электроразведка источников водоснабжения. Трансжелдориздат, 1956.

Григорьев Г. Г., Суббота М. И. и др. (сост.). Газовая и газокерновая съемка и анализ газа. Методическое пособие. Гостоптехиздат, 1954.

Грикевич Э. А. Определение гидрогеологических параметров пласта по данным кратковременных откачек. Разв. и охр. недр, № 3, 1963.

Гуревич М. С. I. Принципы комплексного нефтепоискового изучения подземных вод. II. К методике гидрогеологического опробования нефтепоисковых и опорных скважин. Сб. Вопр. нефтепоисков. гидрогеол. Госгеолтехиздат, 1956.

Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. Гостоптехиздат, 1962.

Дахнов В. Н. Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений. Гостоптехиздат, 1963.

Долуханова Н. И. Опыт применения гидрохимической съемки на медно-молибденовых месторождениях Армянской ССР. АН Арм. ССР, 1958.

Дубровский В. В. Изыскания подземных вод для водоснабжения энергетических объектов (метод. пособие). Госэнергоиздат, 1962.

Еременко Н. А. и Бежаев М. С. Исследование вод нефтяных месторождений (на примере Дагестана). Гостоптехиздат, 1956.

Жуков А. И., Чернов Б. С. и др. Эксплуатация нефтяных месторождений. Гостоптехиздат, 1954.

Зайцев И. К. Методика составления сводных гидрогеологических карт. Госгеолиздат, 1945.

Зайцев И. К., Распопов М. П. К методике составления карты грунтовых вод СССР. Мат. ВСЕГЕИ, № 46, 1961.

Зайцев И. К. О методах составления обзорных гидрогеологических карт. Мат. ВСЕГЕИ, № 61, 1961.

Зайцев И. К. Принципы и методика составления карты промышленных вод СССР. Мат. Комис. по изуч. подземн. вод Сибири и Дальн. Вост. Сиб. отд. АН СССР, вып. 1, 1962.

Зеленкович А. А. Принципы оценки региональных эксплуатационных запасов подземных вод на Северо-Востоке СССР. Колыма, № 4, 1963.

Зерчанинов И. К. К методике исследования нефтяных скважин. Геол. нефти и газа, № 1, 1961.

Зерчанинов И. К. Методика исследования водяных скважин, вскрывших продуктивные отложения на территории Урало-Поволжья. Гостоптехиздат, 1962.

Иванов Н. С., Гаврильев Р. И. Теплофизические свойства мерзлых горных пород. Наука, 1965.

Инструкция и методические указания по опытным нагнетаниям в одиночные скважины И-20-52. Госэнергоиздат, 1953.

Инструкция по гидродинамическим исследованиям нефтяных и газовых залежей. Киев, 1961 (ГНТК при Сов. Мин. УССР).

Инструкция по определению коэффициентов фильтрации водоносных пород методом опытных откачек из скважин И-28-53 (Утв. 10. II. 1953 г.) Сост. В. Д. Бабушкин, Н. Н. Биндеман, К. Т. Анохина и Р. А. Кригер. Госэнергоиздат, 1955.

Инструкция по определению направления и скорости течения подземных вод И-27-53. Сост. С. А. Коль. Госэнергоиздат, 1953. (Гидроэнергопроект).

Инструкциия по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Недра, 1965.

Использование ореолов расстояния урана и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений (метод. руководство). Под ред. А. П. Соловова. Недра, 1964.

Калинко М. К. Методика исследования коллекторских свойств кернов. Гостоптехиздат, 1963.

Калугин С. К., Островский В. Н. К методике использования метеорологических данных при оценке прогнозных запасов подземных вод в Центральном Казахстане. Изв. АН КазССР. Сер. геол., № 1, 1964.

Каменский Г. Н. Поиски и разведка подземных вод. Госгеолиздат, 1947.

Каменский Г. Н. и др. Гидродинамические основы изучения режима грунтовых вод и его изменение под влиянием искусственных факторов. Тр. лаборатории гидрогеологических проблем им. акад. Ф. П. Саваренского, 1960.

Карцев А. А. и др. Геохимические методы поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений. Гостоптехиздат, 1954.

Карцев А. А., Шугрин В. П. Геохимические методы исследований при поисках нефти и газа. Недра, 1964.

Квашневская Н. В. Поиски рудных месторождений по потокам рассеяния. Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР. Госгеолтехиздат, 1957.

Керкис Е. Е. I. Инженерно-геологические исследования на р. Сулак в северном Дагестане. II. Методика опытных работ на фильтрацию в трещиноватых породах. Тр. ЦНИГРИ, вып. 40, ОНТИ, 1936.

Керкис Е. Е. Определение коэффициента водопроницаемости и радиуса влияния по данным опытных кустовых откачек методом наименьших квадратов. Зап. ЛГИ, т. 34, вып. 2, 1958.

Климентов П. П. Методика гидрогеологических исследований. Госгеолтехиздат, 1961.

Климентов П. П., Овчинников А. М. Гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых, ч. I и II. Недра, 1966.

Козлов А. Л., Корценштейн В. Н. и Савченко В. П. О значении и методике изучения напоров подземных вод. Нефт. хоз., № 10, 1954.

Коноплянцев А. А. Приближенные методы прогноза режима подземных вод. В кн. Метод. руков. по изучен. режима подземн. вод. Госгеолтехиздат, 1954.

Коноплянцев А. А., Ковалевский В. С., Семенов С. М. Естественный режим подземных вод и его закономерности. Тр. ВСЕГИНГЕО, № 2, 1963.

Коноплянцев А. А., Ковалевский В. С. Принципы размещения наблюдательной сети для изучения естественного режима подземных вод (метод. указания). ВСЕГИНГЕО, 1964.

Коноплянцев А. А., Ковалевский В. С., Семенов С. С. Некоторые региональные закономерности режима грунтовых вод СССР. Сов. геология, № 9, 1964.

Коноплянцев А. А. Некоторые вопросы изучения режима подземных вод на территории СССР. Тр. ВСЕГИНГЕО, № 10, 1964.

Корценштейн В. Н. Методика гидрогеологических исследований нефтегазоносных районов. Гостоптехиздат, 1963.

Костюченко-Павлова М. М. Вопросы методики изучения режима подземных вод и их охраны в районах крупных водозаборов. Тр. I Укр. гидрогеол. совещания, т. I, Киев, АН УССР, 1961.

Крайнов С. Р. Гидрогеохимический метод поисков месторождений бора. Недра, 1964.

Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1960.

Кремс А. Я. История советской геологии нефти и газа. Недра, 1964.

Кротова В. А. Гидрогеологические критерии нефтеносности. Гостоптехиздат, 1960. (Тр. ВНИГРИ, вып. 147).

Кругликов Н. М. О влиянии температуры подземных вод на точность расчета пластовых давлений и приведенных уровней. Геология и геохимия, 1960. [Тр. ВНИГРИ, сб. III (IX)].

Лебедев А. В. Методы изучения баланса грунтовых вод. Госгеолтехиздат, 1963.

Лебедев А. В. О методах решения основных задач при наблюдениях за режимом подземных вод. Тр. ВСЕГИНГЕО, 1964, № 10.

Лебедев А. В. Опыт статистической обработки результатов многолетнего наблюдения за режимом грунтовых вод. Там же.

Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолиздат, 1952.

Львов А. В. Поиски и испытания водоисточников водоснабжения на западной части Амурской железной дороги в условиях «вечной» мерзлоты почвы. Иркутск, 1916.

Матвеев Б. К. Геофизические методы изучения движения подземных вод. Госгеолтехиздат, 1963.

Мейер Г. Я. Аэрофотографический метод изучения грунтовых вод. В сб. Применение аэрометодов для изучения грунт. вод. АН СССР, 1962.

Методика изучения карста. Гидрогеология карста. Тр. Всес. совещания по методике изуч. карста, вып. 6. Пермь, 1963.

Методическое руководство по гидрогеологическим, гидрохимическим и микробиологическим исследованиям для оценки перспектив нефтегазоносности недр. Сост. Г. В. Богомолов, Е. А. Барс, Н. И. Буянов и др. Ред. А. И. Силин-Бекчурин, Л. А. Гулява и Г. А. Могилевский. Гостоптехиздат, 1961.

Методическое руководство по гидрогеологической съемке масштабов 1 : 1 000 000 — 1 : 500 000 и 1 : 200 000 — 1 : 100 000. Сост. А. А. Бродский, Е. П. Емельянова, А. И. Ефимов и др. Ред. А. А. Маккавеев и А. С. Рябченков. Госгеолтехиздат, 1961 (ВСЕГИНГЕО).

Методическое руководство по изучению режима подземных вод. Ред. М. Е. Альтовский и А. А. Коноплянцев. Госгеолтехиздат, 1954 (ВСЕГИНГЕО).

Методическое руководство по определению микрокомпонентов в природных водах при поисках рудных месторождений. Ред. И. Ю. Соколов. Госгеолтехиздат, 1961 (ВСЕГИНГЕО, ВСЕГЕИ, ВИТР).

Миллер А. Д. и Степанов П. А. Спектральное определение микроэлементов в водах и вытяжках на основе соосаждения с сульфидом кадмия. Сб. Обмен опытом, вып. 17, 1959 (ВИТР).

Мирошников М. В. К методике расчета абсолютных отметок статических уровней термальных вод высокой минерализации. Изв. Высш. учебн. заведений. Нефть и газ, № 8, 1961.

Митин М. Н. Способы расчета возраста пластовой воды по содержанию в ней редких газов. В сб. Мат. по геол. район. Русск. платф. и Сев. Кавказа и метод. вопр. нефтяной геологии. Гостоптехиздат, 1956. (Тр. ВНИИГаза, вып. 9).

Могилевский Г. А. Микробиологический метод поисков газовых и нефтяных залежей. Гостоптехиздат, 1953.

Мозжузин П. В. Эксплуатация сооружений и оборудования законтурного заводнения нефтяных пластов. Гостоптехиздат, 1955.

Муравьев И. М. и Абдулин Ф. С. Освоение и исследование нагнетательных скважин. Гостоптехиздат, 1963.

Мухин Ю. В. Гидрогеологические наблюдения при колонковом бурении. Госгеолиздат, 1954.

Мухин И. Е. К вопросу о необходимости определения радиоактивности воды при выборе подземных источников питьевого водоснабжения. Гигиена и санитария, № 11, 1961.

Наблюдения за режимом подземных вод в районе гидротехнических сооружений и по берегам водохранилищ. Инструкция. Госэнергоиздат, 1949 (Гидроэнергопроект).

Нормы и технические условия. Бетон гидротехнический. Признаки и нормы агрессивности воды — среды (Н П4—54). Госстройиздат, 1954.

Огильви А. А. Геоэлектрические методы изучения карста. Изд. МГУ, 1956.

Огильви Н. А., Мясковский О. М. О новом методе поисков линз пресных вод в Каракумах. Изв. АН Туркм. ССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол., № 1, 1961.

Огильви А. А. Геофизические методы исследований. Изд. МГУ, 1962.

Огильви Н. А. Электролитический метод определения скоростей фильтрации. Бюлл. ОНТИ, № 5. Госгеолтехиздат, 1959.

Павлов А. В. Теплообмен промерзающих и протаивающих грунтов с атмосферой. Наука, 1965.

Парилов Ю. С. Гидрогеохимические поиски в высокогорных областях Юго-Западной Сибири. Автореферат канд. диссерт., 1963.

Паужетские горячие воды на Камчатке. Наука, 1965.

Пересунько Д. И. Гидрогеология серных месторождений Средней Азии. Тр. МГИ, № 28, 1959.

Плотников Н. И. Водоснабжение горнорудных предприятий. (Поиски, разведка и подсчет запасов подземных вод). Госгортехиздат, 1959.

Плотников Н. И. и др. Результаты разведочных работ на Паужетском месторождении. Разведка и охр. недр, № 8, 1963.

Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования (методическое руководство). Ред. И. Я. Баранов и др. АН СССР, 1961. (Ин-т мерзлотовед.).

Поликарпочкин В. В. и др. Геохимические поиски месторождений полиметаллов в Восточном Забайкалье по илам гидросети и водам. В сб. Новое в метод. и техн. геол.-разв. работ. Гостоптехиздат, 1958 (ВИТР).

Поляков А. С. О полевых резистивиметрах. Бюллетень № 2 по обмену опытом. Среднеазиатский геофиз. трест. Алма-Ата, 1954.

Попов В. Н. (сост.). Организация и производство наблюдений за режимом подземных вод (инструктивные указания). Ред. М. Е. Альтовский. Госгеолтехиздат, 1955 (ВСЕГИНГЕО).

Попов В. Н. Методическое руководство по производству гидрогеологической съемки в масштабах 1 : 50 000 и 1 : 25 000. Госгеолтехиздат, 1962.

Приклонский В. А. и Лаптев Ф. Ф. Руководство по изучению физических свойств и химического состава подземных вод. Госгеолиздат, 1949.

Прохоров С. П. и Качугин Е. Г. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1955 (ВСЕГИНГЕО).

Родионов Н. В. Инженерно-геологическое исследование в карстовых районах. Госгеолтехиздат, 1958.

Рыжков Д. В. О некоторых новых чертах гидрогеологического режима карстовых областей в естественных и нарушенных условиях. В сб. Тезисы докл. на научн. совещ. по изуч. карста, вып. 8, 1956.

Савченко В. П. (сост.). Инструкция по исследованию газоносности подземных вод при глубоком роторном бурении. В кн. Сборн. метод. инстр. для гидрогеол. работ при глубок. роторн. буреп. Госгеолиздат, 1941.

Савченко В. П. Определение положения газоводяного, водонефтяного и газонефтяного контактов по данным замеров пластового давления. Газов. пром., № 4, 1957.

Салтыков Е. В. Проектирование зон санитарной охраны источников водоснабжения. Изд. Мин. комм. хоз-ва РСФСР, 1959.

Самарина В. С. Гидрохимическое опробование подземных вод. Изд. ЛГУ, 1958.

Самарина В. С. К вопросу о методике составления гидрогеологической карты подземных вод верхней гидродинамической зоны. Вестн. ЛГУ, № 6, 1961.

Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Изд. МГУ, 1963.

Свешников Г. Б. Электрохимическое растворение сульфидных руд и его роль в образовании водных ореолов рассеяния тяжелых металлов. В сб. Геол. результаты прикладн. геохимии и геофизики. Разд. I — Геохимия, Госгеолтехиздат, 1960.

Сергеев Е. А. Исследование вод как средств поисков полиметаллических месторождений. Разв. и охрана недр, № 2, 1964.

Силин-Бекчурин А. И. Типы гидрохимических карт в гидрогеологии. В сб. Международ. ассоц. научн. гидрол., 1957 (серия Тез. докл. на XI Генеральн. ассамб. Междунар. геодез. и геофиз. союза).

Силин-Бекчурин А. И., Богородицкий К. Ф. и Кононов В. И. Роль подземных вод и других природных факторов в процессе подземной газификации углей (на примере Подмосковной и Лисичанской станций Подземгаза). Тр. Лабор. гидрогеол. пробл., т. 23. АН СССР, 1960.

Скабалланович И. А. Методика опытных откачек. Госгеолтехиздат, 1960.

Слядиев А. Ф. Методы изучения баланса грунтовых вод. Ташкент, АН УзССР, 1961.

Смирнов А. А. Русловые исследования потенциала фильтрации с целью решения некоторых гидрогеологических задач. Сов. геол., № 3, 1958.

Соколов И. Ю. и Кузнецова З. И. Методика определения неустойчивых компонентов непосредственно у водоисточника при региональных гидрогеологических исследованиях. Гидрохим. мат., т. 24, 1955.

Справочник геофизика. Ред. С. Г. Комаров. Т. 3. Гостоптехиздат, 1963.

Справочник по растениям — индикаторам грунтовых вод и почвогрунтов для южных пустынь СССР. Сост. Е. А. Востокова, А. В. Шавырина и С. Г. Ларичева. Ред. С. В. Викторов. Госгеолтехиздат, 1962.

Толстихин Н. И. К вопросу о графическом изображении анализов воды. Геолразведиздат, 1932.

Трещиноватые породы и их коллекторские свойства (методы исследований). Ред. Е. М. Смехов. Гостоптехиздат, 1958. (Тр. ВНИГРИ, вып. 121).

Труды Междуведомственного совещания по гидрогеохимическому методу поисков рудных месторождений. Изд. Томск. ун-та, 1960.

Трупак Н. Г. Цементация трещиноватых пород. Углетехиздат, 1949.

Удодов П. А., Онуфриенок И. П. и Парилов Ю. С. Опыт гидрогеохимических исследований в Сибири. Методика и результаты работ. Высшая школа, 1962.

Унификация методов определения коллекторских свойств горных пород. Тр. ВНИГНИ, вып. XI, VII. Недра, 1966.

Флоровская В. Н. Люминесцентно-битуминологический метод в нефтяной геологии. Изд. МГУ, 1957.

Фомин В. М., Маврицкий Б. Ф., Макаренко Ф. А. Картирование и разведка площадей с термальными водами и парогидротермами. Разв. и охрана недр, 1964, № 7.

Фролов Н. М. и др. Методические указания по изучению термальных вод в скважинах. Тр. ВСЕГИНГЕО, № 17, 1964.

Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. 3-е изд. Недра. 1966.

Черепенников А. А. Руководство по опробованию и анализу природных газов. Госгеолиздат, 1951.

Чернов Б. С., Базлов М. Н. и Жуков А. И. Гидродинамические методы исследования скважин и пластов. Гостоптехиздат, 1960.

Шмидт М. А. О методике изучения режима подземных вод Узбекской ССР. Ташкент, 1940 (Геол. ин-т. Узб. фил. АН СССР).

Шрейбер Б. П. Битумизация при подземном строительстве. Недра, 1964.

Штейн М. А. Определение параметров и глубин залегания термальных вод. Тр. Сахалинск. комплексн. н.-и. ин-та, вып. 12, 1962.

Щербаков А. В. Гидрогеохимические исследования при поисках и разведке подземных бороносных вод. Госгеолтехиздат, 1961.

Хаитов Б. К. Расчет дозы радиоактивных изотопов, применяемых в качестве индикаторов для изучения движения подземных вод. ДАН УзССР, № 5, 1962.

II. Технические средства, применяемые при гидрогеологических работах

Абдулаев М. А. и др. Гидравлический разрыв пласта. Азнефтеиздат, 1956.

Альтовский М. Е. Вакуум-колодцы. Разв. недр, № 6, 1946.

Анатольевский П. А., Малоян А. В., Шнееров О. М. Эксплуатация и ремонт водяных скважин. Недра, 1964.

Анатольевский П. А., Талова М. А. Методы увеличения дебита водяных скважин в США. Гидротехн. и мелиорация, № 4, 1963.

Белицкий А. С., Дубровский В. В. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. Недра, 1964.

Булдей В. Р. Пористобетонные водозаборы. Киев, 1961.

Быков В. Д. Гидрометрия. Гидрометеоиздат, 1949.

Вицени Е. М. Кумулятивные перфораторы, применяемые в нефтяных и газовых скважинах. Недра, 1965.

Володько И. Ф. I. Современная техника при производстве откачек. II. Оборудование и приборы для производства откачек. В сб. Вопр. современ. техники в гидрогеол. и инж. геол. Госгеолтехиздат, 1963.

Володько И. Ф. Водозаборы и особенности поисков подземных вод в различных гидрогеологических условиях. Госгеолтехиздат, 1963.

Вопросы применения современной техники в гидрогеологии и инженерной геологии. Госгеолтехиздат, 1963.

Выборных С. Ф. Промысловое геофизическое оборудование и аппаратура. Гостоптехиздат, 1958.

Гаврилко В. М. Фильтры водозаборных, водопонизительных и гидрогеологических скважин. 2-е изд., Госстройиздат, 1962.

Гаврилко В. М., Беляков Б. М. Лабораторные и полевые исследования фильтров гравийного типа для буровых скважин. Труды ВОДГЕО, в. 13, 1966.

Гаврилко В. М., Бессонов Н. Д. Опыт эксплуатации скважин, оборудованных фильтрами из пористой керамики, Труды ВОДГЕО, вып. 13, 1966.

Доманевский Н. А. Гидрогеология и гидрометрия. Речиздат, 1951.

Дрючин Ю. П. Цементирование скважин. Недра, 1964.

Дубровский В. В. и др. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду. Недра, 1964.

Желтов Ю. П. и Христианович С. А. О гидравлическом разрыве нефтеносного пласта. Изв. АН СССР, ОТН, № 5, 1955.

Захарчук З. И. и Масич В. И. Пакеры и якори. Конструкции и области применения. Гостоптехиздат, 1961.

Инструкция по применению легких иглофильтровых установок для понижения уровня грунтовой воды при производстве строительных работ. Госстройиздат, 1951. (ТУ Минстроймаша СССР).

Исакович Р. Я. Контрольно-измерительные приборы в добыче нефти. Гостоптехиздат, 1954.

Камышников Д. М., Колодяжный Ю. А. Определение размеров зоны разрушения горной породы под действием взрыва. Тр. Москов. ин-та радиоэлектроники и горн. электромеханики, сб. 37, 1964.

Комиссаров С. В. Методы увеличения дебита буровых скважин на воду. Госгеолтехиздат, 1959.

Кудымов Б. Я., Кузьмина Н. К., Ловля С. А. Применение взрывного метода для увеличения производительности водяных скважин. Разв. и охрана недр, № 2, 1962.

Лехтимяки Э. В., Черемных М. Г. Прибор для измерения расхода водопоглощающих скважин. Изв. высш. учебн. заведений. Геол. и разведка, № 5, 1962.

Ловля С. А., Горбенко Л. А. и Каплан Б. Л. Торпедирование и перфорация скважин. Гостоптехиздат, 1959.

Максимов В. М. Торпедирование гидрогеологических скважин в целях увеличения их водообильности. Зап. ЛГИ, т. 27, вып. 2, 1952.

Максимович Г. К. Гидравлический разрыв нефтяных пластов. Гостоптехиздат, 1957.

Мамуна В. Н., Требин Г. Ф. и Ульянинский Б. В. Глубинные пробоотборники и их применение. Гостоптехиздат, 1961.

Марамзин А. В. Бурение скважин в условиях Крайнего Севера (в многолетней мерзлоте). Гостоптехиздат, 1959.

Паладько В. В. Электрические термометры сопротивления для геокриологических исследований. АН СССР, 1962.

Пометун Д. Е., Вицени Е. М. Перфорирование, торпедирование и отбор пород в скважинах. Недра, 1964.

Потапов Г. И. О работе эрлифта при добыче подземных рассолов. Изв. высш. учебн. заведений. Геол. и разведка, № 5, 1963.

Соломенцев Н. А. Гидрометрия. 2-е изд. Гидрометеоиздат, 1957.

Справочник геофизика. Ред. С. Г. Комаров, т. 2. Гостоптехиздат, 1961.

Сурень янц Я. С. Водяные скважины. 3-е изд. Изд. МКХ РСФСР, 1961.

Сушилин В. А. Техника глубинных измерений в скважинах. В сб. Опыт разработки нефт. и газ. месторожд., Гостоптехиздат, 1963.

Технические условия проектирования и сооружения буровых скважин на воду СН-14-57. Госстройиздат, 1958.

Флексер Н. Я. и Шипенко О. П. Аппаратура для контроля грунтовых потоков методом радиоактивных индикаторов. Разв. и охрана недр, № 6, 1961.

Фурман И. А., Туммель В. С., Фурман А. М. Опыт увеличения дебита водяных скважин торпедированием. Гидротехн. и мелиорация, № 1, 1964.

Хохловкин Д. М. Глубинные насосы для водопонижения и водоснабжения. 3-е изд. Углетехиздат, 1962.

Шамшев Ф. А. и др. Технология и техника разведочного бурения. Недра, 1966.

Шацов Н. И. и др. Бурение нефтяных и газовых скважин. Гостоптехиздат, 1961.

Содержание

Раздел первый

Методы исследований, применяемые в гидрогеологии

Стр.

Глава I. **Гидрогеологическая съемка** *(В. С. Кирюхин)* 5

§ 1. Задачи гидрогеологической съемки . . . . . —
§ 2. Подготовка к полевым работам 6
§ 3. Методика гидрогеологической съемки . . . . . —
§ 4. Методика составления гидрогеологических карт 15

Глава II. **Методика описания водопунктов и гидрогеологические наблюдения в скважинах, шурфах, колодцах и подземных выработках** *(Н. П. Красильникова)* 17

§ 1. Описание водопунктов . . . . . —
§ 2. Гидрогеологические наблюдения в скважинах, шурфах, колодцах и подземных выработках 20

Глава III. **Гидрогеологические опытные работы** 27

А. Опытные работы для определения гидрогеологических параметров *(Е. Е. Керкис, Е. В. Лехтимяки)* . . . . . —

§ 1. Виды гидрогеологических опытных работ, их задачи, сравнительная оценка и применимость в различных условиях —
§ 2. Методика производства и обработка данных опытных гидрогеологических работ 31

Б. Гидрогеологическое опробование глубоких скважин *(Н. М. Кругликов)* 41

§ 1. Гидрогеологические наблюдения в процессе бурения скважин . . . . . —
§ 2. Опробование скважин 42
§ 3. Обработка результатов опробования 51

В. Определение действительной скорости движения подземных вод *(В. Н. Давидович)* 57

§ 1. Состав и содержание работ по определению скорости движения подземных вод 58
§ 2. Методы определения действительной скорости движения подземных вод 59
§ 3. Документация и обработка материалов 62

Глава IV. **Лабораторные методы и эмпирические формулы, применяемые для определения коэффициента фильтрации горных пород** *(В. Н. Новожилов)* 63

§ 1. Лабораторные методы определения коэффициента фильтрации —
§ 2. Эмпирические формулы для определения коэффициента фильтрации 71

Стр.

Глава V. **Стационарные гидрогеологические исследования** *(А. А. Коноплянцев, Д. М. Кац)* 78

§ 1. Режим подземных вод и значение его исследования . . . —
§ 2. Изучение режима напорных вод 80
§ 3. Изучение режима грунтовых вод . . . . . —
§ 4. Особенности нарушенного режима подземных вод . . . 84
§ 5. Некоторые замечания к изучению баланса подземных вод 87
§ 6. Прогноз режима подземных вод 88

Глава VI. **Краткие сведения о гидрогеохимических методах поисков полезных ископаемых** *(С. П. Албул, А. В. Щербаков, Д. И. Персунько)* 90

§ 1. Общие положения . . . . . —
§ 2. Выбор методик и требования к производству химических и химико-спектральных анализов 98
§ 3. Интерпретация гидрогеохимических аномалий 99
§ 4. Гидрогеохимический метод поисков рудных месторождений 104
§ 5. Гидрогеохимический метод поисков радиоактивных руд 105
§ 6. Гидрогеохимические методы поисков нерудных месторождений 107

Глава VII. **Геофизические методы исследований в гидрогеологии** *(А. А. Огильви, Б. К. Матвеев, Н. М. Онин)* 110

§ 1. Геофизические методы, применяемые в гидрогеологии —
§ 2. Изучение геологического строения 114
§ 3. Изучение поверхностных и подземных карстовых форм 117
§ 4. Изучение геологических разрезов гидрогеологических скважин 118
§ 5. Изучение температуры и минерализации подземных вод 120
§ 6. Поиски пресных вод в пустынных районах 123
§ 7. Изучение многолетней мерзлоты 124
§ 8. Изучение движения подземных вод . . . . . —

Глава VIII. **Методы гидрогеологических исследований при водоснабжении, поисках и разведке нефти и газа, сбросе промышленных сточных вод в глубокие горизонты и гидротехническом строительстве** 137

А. Гидрогеологические исследования для водоснабжения *(Н. И. Плотников)* . . . . . —

§ 1. Месторождения подземных вод . . . . . —
§ 2. Гидрогеологические исследования на месторождениях подземных вод вне области многолетней мерзлоты 145
§ 3. Гидрогеологические исследования на месторождениях подземных вод в области многолетней мерзлоты 150

Б. Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений *(Б. Н. Любомиров)* 154

§ 1. Съемочные гидрогеологические работы 155
§ 2. Гидрогеологические исследования и наблюдения при колонковом бурении 158
§ 3. Гидрогеологические исследования и наблюдения при разведочном бурении и бурении опорных скважин 160
§ 4. Гидрогеологические исследования и наблюдения при проходке нефтяных шахт 163
§ 5. Гидрогеологические исследования и наблюдения в процессе эксплуатации нефтяных и газовых месторождений 164

В. Гидрогеологические исследования для установления условий сброса промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты *(Н. И. Плотников, Е. Е. Керкис, Э. В. Лехмияки)* . . . 166

§ 1. Общие сведения 167
§ 2. Основные требования, предъявляемые к выбору поглощающих горизонтов (коллекторов) для сброса промышленных стоков 169

Стр.

§ 3. Содержание и методика гидрогеологических работ, проводимых для установления условий сброса промышленных стоков в глубокие горизонты 171
§ 4. Гидрогеологические расчеты, связанные с подземным сбросом промышленных стоков 176

Г. Гидрогеологические исследования для гидротехнических сооружений *(Е. Е. Керкис, В. Л. Однопозов)* 191

§ 1. Общие положения . . . . . —
§ 2. Состав и объем гидрогеологических исследований для различных видов гидросооружений по стадиям проектирования 192
§ 3. Методика гидрогеологических исследований для гидротехнического строительства 197

Раздел второй

Технические средства, применяемые при гидрогеологических работах

Глава IX. **Буровые установки, насосы и двигатели при бурении гидрогеологических скважин** *(А. Ф. Мершалов, А. М. Яковлев)* 205

§ 1. Установки вращательного бурения . . . . . —
§ 2. Реактивно-турбинные буровые установки (РТБ) . . . . —
§ 3. Установки ударно-механического бурения 212
§ 4. Установки гидравлического бурения . . . . . —
§ 5. Установки комбинированного бурения . . . . . —
§ 6. Установки горизонтального бурения 215
§ 7. Двигатели . . . . . —

Глава X. **Фильтры гидрогеологических и водозаборных скважин** *(И. Ф. Володько, С. П. Албул)* 218

§ 1. Фильтры для гравелистых, крупно- и среднезернистых песков (тонкостенные) 219
§ 2. Фильтры для мелкозернистых глинистых песков (толстостенные) 226
§ 3. Бесфильтровые скважины 229

Глава XI. **Насосы и водоподъемники, применяемые при гидрогеологических работах** *(И. Ф. Володько, С. П. Албул)* 232

§ 1. Водоподъемное оборудование для откачки мутной воды —
§ 2. Водоподъемники при динамическом уровне до 6 *м* . . . 241
§ 3. Водоподъемники при динамическом уровне от 6 до 50 и от 50 до 100 *м* 243
§ 4. Водоподъемники при динамических уровнях больше 100 *м* 245

Глава XII. **Приборы, применяемые при гидрогеологических исследованиях** *(Б. П. Остроумов)* 250

§ 1. Приборы для измерения уровня воды в скважинах, шурфах и колодцах . . . . . —
§ 2. Приборы и приспособления для определения расхода воды 259
§ 3. Приборы для измерения температуры воды 266
§ 4. Приборы для отбора проб воды из скважин 267
§ 5. Приборы и приспособления для отбора проб газа . . . 268
§ 6. Приборы и приспособления для определения дебита газа и его температуры 274
§ 7. Некоторые приборы, применяемые при опробовании глубоких скважин 277

Глава XIII. **Методы увеличения и восстановления водообильности скважин** *(П. П. Климентов, В. М. Максимов)* 292

§ 1. Торпедирование и перфорация скважин . . . . . —
§ 2. Гидравлический разрыв пласта 297
§ 3. Солянокислотная обработка скважин 299

359

Стр.

§ 4. Механическая прочистка фильтров эксплуатационных скважин 303
§ 5. Кислотная обработка фильтров эксплуатационных скважин 305
§ 6. Вакуумирование скважин 306

Глава XIV. **Методы и средства изоляции водоносных горизонтов** *(А. Ф. Меришалов, Ч. Л. Мочульский)* 309

§ 1. Предварительные замечания . . . . . —
§ 2. Тампонаж скважин 310
§ 3. Цементирование скважин 311
§ 4. Временный тампонаж при помощи тампонов (пакеров) 316

Раздел третий

Приложения *(В. М. Максимов)*

I. Пересчетные значения для единиц измерения 329

II. Расчет расхода жидкостей и газов . . . . . —

III. Таблица натуральных тригонометрических функций 330

IV. Таблицы десятичных логарифмов от 0 до 1000 . . . . . —

V. Таблица показательных и гиперболических функций 332

VI. Таблица значений функции $E_i(-x)$ 336

VII. Таблица функции $J_0(x)$ . . . . . —

VIII. Таблица функций Бесселя $K_0(\alpha)$ 337

IX. Таблицы функций $\varphi(\eta)$ для расчета уравнений неравномерного движения грунтовых вод (по Павловскому) 338
Таблица значений функции $N(\overline{r}, \alpha)$ при разных α.

X. Коэффициенты растворимости газов в дистиллированной воде при различных температурах 340

XI. Графики для определения коэффициентов несовершенства скважин (по В. И. Щурову) 341

XII. График для определения проектного и единичного удельного дебита скважин. Примеры расчета неустановившейся фильтрации.

Литература *(В. М. Максимов, И. Н. Хитров)* 345

Справочное руководство гидрогеолога
Том 2
Под редакцией Василия Михайловича Максимова
Научный редактор В. П. Якуцени. Ведущие редакторы: Д. М. Брускин, Г. М. Рагина
Технический редактор В. И. Демьяненко. Корректоры: И. М. Андреева, В. Н. Чистякова
Переплет художника И. А. Гордона

М-12260. Сдано в набор 18/X 1966 г. Подписано к печати 24/IV 1967 г.
Формат бумаги 70 × 108¹/₁₆. Бумага типографская № 2. Печ. л. 22¹/₂. Усл. л. 31,5.
Уч.-изд. л. 28,17. Тираж 20 000, 1 завод (1—10 000) экз. Индекс 1—2—1—Л. Заказ 1255/194.

Издательство «Недра», Ленинградское отделение
Ленинград. Ф-2, ул. Ломоносова, 22.
Ленинградская типография № 14 «Красный Печатник» Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР, Московский проспект, 91.
Цена 1 р. 60 к.

Замеченные опечатки и исправления

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
13	22 св.	(см. главу III).	(см. главу VII).
39	3 св.	в табл. VI-А-1.	в табл. IV-А-1.
52	5 св.	(рис. III-1).	(рис. III-7).
130	8 св.	(VII-3)	(VII-6)
184	24 св.	(VIII-В-17)	(VIII-В-19)
189	2 сн.	$1{,}13\ \sqrt{at} = L_{\text{и}}$	$1{,}54\ \sqrt{at} = L_{\text{и}}$
277	17 св.	(XII-10—13).	(XII-11—13).
292	10 сн.	$R_{\text{разр}} = 0{,}1 \div 0{,}4$	$K_{\text{разр}} = 0{,}1 \div 0{,}4$
357	4 св.	*В. С. Кирюхин*	*В. А. Кирюхин*
	17 св.	*Е. В. Лехтимяки*	*Э. В. Лехтимяки*
	12 сн.	*В. Н. Давидович*	*В. И. Давидович*
358	10 св.	*Д. И. Персунько*	*Д. И. Пересунько*
	5 сн.	*Э. В. Лехмияки*	*Э. В. Лехтимяки*

Заказ 1255.

10531