СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ГИДРОГЕОЛОГА

ГОСГОРТЕХИЗДАТ · 1959

551.49(039)

СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ГИДРОГЕОЛОГА

10532 13-9-76

Под общей редакцией
кандидата геолого-минералогических наук,
доцента *В. М. Максимова*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НЕФТЯНОЙ И ГОРНО-ТОПЛИВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Ленинград · 1959

В справочном руководстве приведены сведения по общей гидрогеологии, основам динамики подземных вод и гидрогеологическим расчетам, а также использованию подземных вод в сельском хозяйстве; даны методические указания по гидрогеологическим работам, подбору и использованию оборудования и аппаратуры, применяемых при гидрогеологических исследованиях.

Книга предназначена для инженеров и техников-гидрогеологов и других специалистов, занимающихся гидрогеологическими исследованиями для различных целей (поиски нефти и газа, водоснабжение, орошение и осушение земель, гидротехническое строительство и др.). Она может служить полезным пособием для преподавателей вузов и техникумов, а также для студентов соответствующих специальностей.

Научный редактор доктор геолого-минералогических наук, профессор *М. А. Гатальский*

ОСНОВНЫЕ АВТОРЫ:

В. М. Максимов, К. Г. Асатур, В. И. Давидович, С. П. Албул, Н. Г. Паукер, Б. П. Остроумов, И. К. Зайцев, Н. И. Толстихин, А. А. Резников, А. Ф. Мершалов, В. Т. Воротынцев, И. А. Марков, Е. Е. Керкис, И. Н. Хитров.

Справочное руководство гидрогеолога

Под общей редакцией *Василия Михайловича Максимова*

Редактор *М. А. Гатальский*. Технический редактор *И. М. Геннадьева*.
Ведущий редактор *П. С. Долматов*. Корректоры: *Т.К. Иванова, Н. А. Федорова, З. Г. Сегаль*.

Сдано в набор 3/VII 1958 г. Подписано к печати 18/XI-1958 г. Формат бумаги 70×108 1/16.
Печ. л. 52 1/4 (усл. л. 71,6). Уч.-изд. л. 60,05 Тираж 8000 экз. Индекс 38—5—5. М-50237.

Гостоптехиздат (Ленинградское отделение). Невский проспект, 28.
Издательский № 126. Заказ № 599.
Типография «Красный Печатник». Ленинград, Московский проспект, 91.
Цена 32 руб.

ОТ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Бурный рост промышленности и сельского хозяйства Советского Союза в течение последних 25 лет обусловили быстрое развитие гидрогеологии и смежных с ней дисциплин и разработку новых более совершенных методов гидрогеологических исследований. Теоретические познания в разных областях гидрогеологии получили при этом широкое развитие и поднялись на более высокую ступень.

Решения XX съезда КПСС и последующие постановления пленумов ЦК КПСС выдвинули перед многочисленным коллективом гидрогеологов новые задачи, для решения которых требуется дальнейшее развитие всех отраслей гидрогеологии.

В связи с разнообразными задачами гидротехнического, промышленного и гражданского строительства, сельского хозяйства, разработки полезных ископаемых, добычи нефти и газа, минеральных и промышленных вод, водоснабжения и т. д. область гидрогеологических знаний настолько расширилась, что многие разделы гидрогеологии по существу выросли уже в самостоятельные научные дисциплины (гидрогеология полезных ископаемых, гидрогеология нефтяных месторождений, региональная гидрогеология, учение о минеральных водах, шахтная гидрогеология и т. д.), хотя все эти многообразные отрасли гидрогеологии имеют общую теоретическую базу и близкую методическую основу.

Резко изменилась и техническая вооруженность гидрогеологических работ. Появились самоходные буровые станки, мощные насосы, новая аппаратура и т. д.

Гидрогеологи и другие специалисты, связанные с гидрогеологическими работами, нуждаются не только в общей теоретической базе, но и в методических указаниях и справочных сведениях, относящихся к соответствующим разделам и отраслям гидрогеологии. Однако ряд методических указаний и отдельных ответов на специальные гидрогеологические вопросы, разбросаны в многочисленных печатных и неопубликованных работах, что вызывает большое затруднение при их использовании, особенно для практиков. Уже давно назрела настоятельная потребность в издании справочного и методического руководства, поскольку первая работа такого характера — «Спутник гидрогеолога», 1934 и 1936 гг. издания — устарела, не отражает всего многообразия задач и не удовлетворяет требованиям современной гидрогеологии.

Данное «Справочное руководство гидрогеолога», составленное большим коллективом специалистов, в значительной части должно восполнить отмеченный пробел, хотя в нем приводятся лишь основные сведения, необходимые гидрогеологам при решении практических задач.

Книга содержит обширный справочный материал по многим разделам гидрогеологии и отражает основные достижения этой науки за последние годы. От обычных справочников она отличается более подробным изложением отдельных глав и разделов.

Можно полагать, что указанное справочное руководство сыграет положительную роль в повышении качества гидрогеологических исследований, выполняемых гидрогеологами и другими специалистами.

ПРЕДИСЛОВИЕ

При строительстве промышленных, гражданских, гидротехнических сооружений, разведке и эксплуатации месторождений твердых и жидких полезных ископаемых, водоснабжении, поисках нефти и газа, осушении и орошении земель и т. п. большое значение имеют гидрогеологические исследования, проводимые в нашей стране в широких масштабах.

Специалистам, изучающим подземные воды и занимающимся гидрогеологическими исследованиями постоянно приходится прибегать к методическим и справочным пособиям по гидрогеологии.

Между тем, известно, что справочная литература по гидрогеологии не издавалась более двадцати лет — со дня опубликования книги «Спутник гидрогеолога», составленной А. П. Коротеевым. Вместе с тем широкие круги гидрогеологов-практиков остро нуждаются в новых справочных пособиях.

Учитывая это, авторы написали настоящее руководство. Оно состоит из пяти разделов. В первом приводятся основные сведения по общей гидрогеологии и методике гидрогеологических исследований; во втором — по основам динамики подземных вод и некоторым гидрогеологическим расчетам; в третьем — об использовании подземных вод в сельском хозяйстве; в четвертом рассматриваются технические средства и приборы, применяемые при гидрогеологических исследованиях, и в последнем, пятом, разделе даны справочные материалы ко всем главам книги.

В составлении настоящего руководства приняли участие: доцент, кандидат геолого-минералогических наук В. М. Максимов (главы I, II, III, V, VI, VIII, XIV, приложения), ст. научный сотрудник ВСЕГЕИ, кандидат химических наук А. А. Резников (глава IV), доцент, кандидат геолого-минералогических наук И. А. Марков (глава VII), доктор геолого-минералогических наук И. К. Зайцев, профессор, доктор геолого-минералогических наук Н. И. Толстихин (§§ 3, 4 гл. VI, §§ 1—7 и 9 гл. IX), кандидат геолого-минералогических наук В. П. Боровицкий, кандидат геолого-минералогических наук О. В. Равдоникас, кандидат геолого-минералогических наук Н. М. Онин (§ 8 главы IX), инженер-гидрогеолог Е. А. Басков (участие в составлении § 8 главы IX и дополнения к главе XXXI), доцент, кандидат технических наук К. Г. Асатур (главы X, XVII, XX, XXI, XXV), доцент, кандидат технических наук В. И. Давидович (главы XI, §§ 1—5 главы XII, XVIII, XIX), доцент, кандидат геолого-минералогических наук В. Н. Новожилов (§ 6 и 7 главы XII), доцент, кандидат геолого-минералогических наук Е. Е. Керкис (глава XIII), инженер-гидрогеолог Н. Г. Паукер (главы XV, XVI), инженер-гидрогеолог И. С. Пекельный (участие в составлении главы XV), инженер-гидрогеолог Ю. Г. Невельштейн (участие в составлении главы XVI), кандидат геолого-минералогических наук С. П. Албул (главы XVII, XXIII, XXIV, XXIX, XXX, XXXII), инженер-гидротехник С. Г. Боскис, инженер-гидрогеолог Е. М. Никифоров (участие в составлении главы XXV), ассистент А. Ф. Мершалов и доцент, кандидат

технических наук В. Г. Воротынцев (главы XXVI, XXVII, XXVIII), гидротехник Б. П. Остроумов (глава XXXI) и инженер-геолог И. Н. Хитров (приложения и литература).

Общее редактирование книги при подготовке ее к печати и руководство авторским коллективом осуществлялось В. М. Максимовым. В редактировании глав второго и третьего разделов книги участвовали К. Г. Асатур и Н. Г. Паукер.

Естественно, что в настоящем руководстве не нашли полного отражения справочные сведения по отдельным отраслям гидрогеологии. Необходимо отметить, что в данном справочном руководстве не приводится целый ряд сведений специального методического характера по проведению гидрогеологических работ при водоснабжении, строительстве различного рода сооружений и пр., что объясняется наличием по этим вопросам хороших методических пособий, опубликованных в последние годы, основные из которых приведены в списке литературы.

Кроме того, в настоящем руководстве не даются характеристики подземных вод соляных, угольных, рудных и других месторождений, так как они охарактеризованы в работах Г. Н. Каменского, П. П. Климентова, А. М. Овчинникова [1953], С. В. Троянского, А. С. Белицкого, А. И. Чекина [1956], Н. И. Плотникова, М. В. Сыроватко, Д. И. Щеголева [1957] и др., а методические указания по гидрогеологическим исследованиям при разведке месторождений приведены в книге С. П. Прохорова, Е. Г. Качугина [1955] и специальных инструкциях.

При составлении плана настоящего руководства авторы получили ценные указания от профессора МГУ им. М. В. Ломоносова В. А. Кудрявцева, доктора геолого-минералогических наук В. Д. Наливкина, профессора А. И. Дзенс-Литовского, а при работе над книгой — от профессоров Горного института Ф. А. Шамшева, В. И. Серпухова, члена-корреспондента АН СССР П. Ф. Швецова, доцента С. Н. Тараканова, доцента Ленинградского сельскохозяйственного института В. Ф. Базенкова, главного геолога института «Гипроспецнефтестрой» К. Д. Тютина, главного гидрогеолога Ленгидэпа, кандидата технических наук С. А. Коль.

В рукописи книга рассматривалась кафедрами гидрогеологии, структурной и нефтяной геологии, соответственно возглавляемыми профессорами Н. И. Толстихиным и Б. А. Алферовым, а также Методической комиссией нефтяного факультета Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова, руководимой профессором И. А. Уткиным и доцентом М. В. Романовым.

Всем лицам, которые участвовали в просмотре и обсуждении рукописи, авторы приносят большую благодарность.

Следует отметить горного инженера В. А. Рябова, выполнившего большую работу по подготовке рисунков рукописи и корректированию ее текста.

Авторы выражают признательность дирекции Ленинградского Горного института им. Г. В. Плеханова за оказанную помощь при подготовке книги к печати.

Авторы особо отмечают профессора, доктора геолого-минералогических наук М. А. Гатальского, взявшего на себя большой труд по научному редактированию справочного руководства и сделавшего ряд существенных замечаний.

Коллектив авторов и издательство просят все замечания и пожелания, направленные на улучшение структуры и содержания книги, присылать по адресу: Ленинград, 88, Невский проспект, д. 28, Ленинградское отделение Гостоптехиздата.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Глава I

ВОДА В ПРИРОДЕ

§ 1. ВИДЫ ВОДЫ В ПРИРОДЕ

Вода в природе имеет широкое распространение. Она содержится в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере.

В атмосфере вода встречается в различных состояниях: 1) парообразном — в воздушной оболочке, окружающей земной шар; 2) капельно-жидком — в облаках, туманах и в виде дождя; 3) твердом — в виде снега, града и кристалликов льда высоких облаков.

В гидросфере вода находится в жидком состоянии (вода океанов, морей, озер, болот, водохранилищ, рек) и твердом (лед и снег в водоемах и на суше).

В литосфере, слагающих ее горных породах, встречаются различные виды воды. К ним, по А. Ф. Лебедеву [1916—1936], относятся: 1) вода в виде водяного пара; 2) вода гигроскопическая; 3) вода пленочная; 4) вода гравитационная; 5) вода в твердом состоянии; 6) кристаллизационная и химически связанная вода.

В настоящее время благодаря исследованиям С. И. Долгова [1937—1948], Б. В. Дерягина [1940—1955], В. С. Шарова [1940], А. М. Васильева [1941; 1953], П. И. Андрианова [1946], Е. М. Сергеева [1946; 1952], Н. А. Цытовича [1945—1953], А. А. Роде [1949—1955], В. А. Приклонского [1949; 1955] и др. положения А. Ф. Лебедева о видах воды в горных породах, участвующих в строении земной коры, несколько уточнились и дополнились новыми данными, особенно в отношении связанной воды (гигроскопической и пленочной).

В связи с этим появились новые классификации видов воды, содержащихся в горных породах.

Из последних классификаций здесь приводится классификация Е. М. Сергеева, отражающая состояние воды в горных породах (парообразное, жидкое, твердое), подвижность воды (связанная, свободная) и взаимодействие ее с горными породами (физически связанная, кристаллизационная, цеолитная, конституционная).

По этой классификации, в принципе не отличающейся от классификации А. Ф. Лебедева, выделяются следующие виды воды в горных породах.

I. Вода в виде пара.

II. Связанная вода:

1) прочно связанная, или адсорбированная, вода;

2) рыхло связанная вода.

III. Свободная вода.

1. Капиллярная вода:
   а) вода углов пор (капиллярно-неподвижная вода);
   б) подвешенная вода (капиллярно-подвижная вода);
   в) собственно капиллярная вода (капиллярно-легкоподвижная вода).
2. Гравитационная вода:
   а) просачивающаяся (инфильтрационная) вода;
   б) вода подземного водоносного пласта.

IV. Вода в твердом состоянии.

V. Кристаллизационная, цеолитная и конституционная вода.

Вода в виде пара. Вода в виде пара содержится в воздухе, заполняющем сухие или не насыщенные полностью водой пары, пустоты и трещины в горных породах. Парообразная вода, поступающая в горные породы из наземного воздуха и в результате подземного испарения, при понижении температуры конденсируется в порах, пустотах и трещинах горных пород, образуя в них жидкую воду (связанную или свободную).

Связанная вода. Связанная вода подразделяется на прочно и рыхло связанную.

Прочно связанная, или адсорбированная, вода (гигроскопическая, по А. Ф. Лебедеву) образуется при поглощении горными породами водяных паров преимущественно из почвенного воздуха; удерживается на частицах породы с огромной силой порядка 10 000 *атм*; по своим свойствам отличается от обычной жидкой воды и приближается к твердому телу; имеет плотность, в среднем равную 2; обладает высокой вязкостью; замерзает при температуре значительно ниже нуля (—78° С); образует на частицах породы пленку неодинаковой толщины (более толстую — по углам и на выпуклых местах частиц, менее толстую — на вогнутых).

Рыхло связанная вода (пленочная, по А. Ф. Лебедеву) в горных породах образуется при конденсации водяных паров или остается в них после удаления капельно-жидкой воды. Удерживается на частицах породы с силой, в 70 000 раз превосходящей ускорение силы тяжести; образует на этих частицах вокруг пленки гигроскопической воды вторую пленку; передвигается весьма медленно от участков с большим количеством пленочной воды к участкам с меньшим количеством ее; не передает гидростатического давления; замерзает при температуре ниже нуля в зависимости от толщины пленки и продолжительности замораживания.

Рыхло связанная вода, как и прочно связанная, может быть удалена из породы только высушиванием последней в сушильном шкафу при температуре 105—110° С.

Свободная вода. Свободная вода разделяется на капиллярную и гравитационную.

Капиллярная вода подразделяется на воду углов пор, подвешенную и собственно капиллярную.

1. Капиллярная вода углов пор залегает в узких местах капиллярных и углах более крупных пор в виде отдельных, разобщенных между собой капель, которые не передвигаются под действием силы тяжести, так как они прочно связаны со стенками пор поверхностью мениска.

2. Подвешенная вода залегает в капиллярных порах, не имеющих связи с уровнем грунтовых вод. Благодаря наличию в нижней части этих пор-капилляров менисков воды, противодействующих движению ее вниз, вода находится в подвешенном состоянии и не сообщается с грунтовыми водами.

3. Собственно капиллярная вода заполняет в горных породах капиллярные поры и образует капиллярную зону над уровнем грунтовых вод. По свойствам близка к обычной воде, передает гидростатическое давление, замерзает при температуре несколько ниже нуля, в зависимости от размера пор-капилляров и продолжительности замораживания движется то под влиянием силы тяжести, то под действием сил поверхностного натяжения (см. гл. II, § 5).

Гравитационная вода — собственно подземная вода, которая под влиянием силы тяжести движется в сообщающихся порах, пустотах и трещинах горных пород.

По направленности движения она делится на *просачивающуюся* (инфильтрационную и инфлюационную), передвигающуюся сверху вниз, и *пластовую воду*, которая движется в пластах водопроницаемых горных пород, имеющих разнообразные условия залегания в природе.

Водопроницаемый пласт, в котором залегает и движется подземная вода, называется водоносным горизонтом.

Вода в твердом состоянии. Вода в твердом состоянии — линзы, прослойки и кристаллики льда в мерзлых горных породах; подземные льды (см. гл. V, § 8).

Кристаллизационная, цеолитная и конституционные виды воды. Кристаллизационная, цеолитная и конституционные виды воды входят в состав некоторых минералов и горных пород.

Кристаллизационной называется вода, когда H и O входят в состав вещества в виде молекул H_2O, которые могут быть выделены из вещества при температуре примерно 400° С.

Кристаллизационная вода входит в состав ряда минералов, например, гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), мирабилита ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), карналлита ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) и др.

Цеолитная вода подобна кристаллизационной, но отличается от последней тем, что отношение числа молекул H_2O к числу молекул безводного вещества может меняться в широких пределах при сохранении физической однородности вещества. Эта вода содержится в некоторых минералах: например, в опале ($SiO_2 \cdot nH_2O$), анальциме ($Na_2Al_2Si_4O_{12} \cdot nH_2O$) и др.

Конституционной называется вода, когда H и O участвуют в молекулярном строении минералов, причем H и O могут быть выделены только при полном разрушении молекулярного строения минералов, обычно при температуре выше 400° С.

Минералы с конституционной водой образуются в земной коре при повышенных давлениях. К числу таких минералов относятся, например, диаспор (AlO · OH), мусковит ($(KH_2)Al_2Si_2O_8$) и др.

Конституционную воду часто называют химически связанной водой, а гигроскопическую и пленочную — физически связанной.

В биосфере, к которой на поверхности земли относятся животные организмы и растения, вода составляет значительную часть их тканей.

Гидрогеология изучает все виды воды и главным образом гравитационную, залегающую и циркулирующую в различных по возрасту, составу, происхождению и проницаемости горных породах, участвующих в строении земной коры, в пятикилометровой зоне которой, по А. А. Черкасову [1950], содержится 49,5 млн. $км^3$ подземной воды.

Весь объем воды океанов, морей, земной коры, атмосферы, биосферы, поверхностных водотоков, озер, болот и водохранилищ составляет около 1,8 млрд. $км^3$, что соответствует 1% объема земного шара.

§ 2. КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ

Воды атмосферы, гидросферы и литосферы взаимосвязаны между собой. Нагревание земной поверхности солнечным теплом приводит к испарению влаги с поверхности гидросферы, суши, растительного покрова и других поверхностей испарения.

Образующиеся при испарении водяные пары устремляются в атмосферу, где, попадая в другие термодинамические условия, они при наличии в атмосфере частиц, обладающих гигроскопическими свойствами, конденсируются и вновь выпадают на поверхность земли в виде атмосферных осадков той или иной модификации.

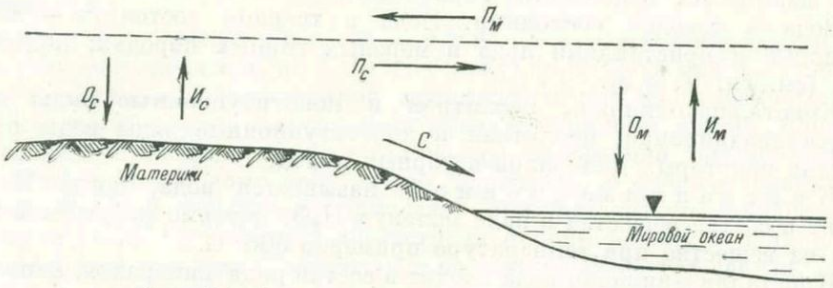


Рис. I-1. Схема круговорота воды в природе.

$О_с$ — осадки над сушей; $И_с$ —испарение с поверхности суши, имеющей сток в океан; $О_м$ — осадки над океаном; $И_м$ — испарение с поверхности океана; $С$ — речной сток ($С = П_м - П_с$); $П_м$ — поток атмосферной влаги с океанов на сушу; $П_с$ — поток атмосферной влаги с суши на океаны.

Выпавшие осадки частью испаряются с поверхностей суши и гидросферы, частью стекают в реки, моря и океаны, частью просачиваются в водопроницаемые горные породы, пополняя при этом запасы подземных вод.

Процессы перехода воды из одной сферы земли в другую и составляют круговорот воды в природе, схема которого показана на рис. I-1.

Различают малый и большой круговороты воды в природе. При малом круговороте испарившаяся с поверхности морей и океанов влага не переносится воздушными течениями на сушу, а выпадает на ту же водную поверхность; при большом круговороте часть водяных паров переносится на сушу и выпадает на поверхность земли в виде осадков, которые вновь стекают в моря и океаны.

Малому круговороту воды в природе в годовом разрезе по многолетним данным отвечает следующее уравнение

$$О_м + И_м, \qquad (I\text{-}1)$$

где $О_м$ — годовые осадки на водную поверхность;
$И_м$ — годовое испарение с той же поверхности.

Для большого круговорота воды в природе в годовом разрезе по многолетним данным характерно уравнение

$$O_с = И_с + С_с, \quad (I\text{-}2)$$

где $O_с$ — годовые осадки на поверхность суши;
$И_с$ — годовое испарение с поверхности суши;
$С_с$ — годовой сток с поверхности суши.

Общая поверхность земного шара составляет $510 \cdot 10^6$ *км*², из них океаны и моря занимают $360 \cdot 10^6$ *км*², поверхность суши — $150 \cdot 10^6$ *км*², из которых $118 \cdot 10^6$ *км*² приходятся на сточные области и $32 \cdot 10^6$ *км*² — на бессточные области, часто пустынные и не связанные с океаном. В этих областях осадки расходуются только на испарение.

Водный баланс для всего земного шара в годовом разрезе по многолетним данным характеризуется следующим уравнением

$$O_м + O_с + O_{б.о} = И_м + И_с + И_{б.о}, \quad (I\text{-}3)$$

где $O_м$ — годовые осадки на поверхность океанов и морей;
$O_с$ — годовые осадки на поверхность суши;
$O_{б.о}$ — годовые осадки на поверхность бессточных областей;
$И_м$ — годовое испарение с поверхности океанов и морей;
$И_с$ — годовое испарение с поверхности суши;
$И_{б.о}$ — годовое испарение с поверхности бессточных областей.

Числовые значения отдельных элементов уравнения (I-3) приводятся в табл. I-1.

Таблица I-1

Числовые значения элементов водного баланса
по М. И. Львовичу

Элементы водного баланса	Годовой объем воды, тыс. *км*³
$O_м$	411,6
$O_с$	99,3
$O_{б.о}$	7,7
$O_м + O_с + O_{б.о}$	518,6
$И_м$	447,9
$И_с$	63,0
$И_{б.о}$	7,7
$И_м + И_с + И_{б.о}$	518,6

Элементы круговорота воды в природе (осадки, испарение, сток) имеют большое значение для выяснения условий формирования и режима подземных вод. Поэтому при гидрогеологических исследованиях эти элементы, характеризующие гидролого-метеорологическую обстановку того или иного гидрогеологического района, подвергаются тщательному изучению.

Климатические элементы

Анализ гидролого-метеорологической обстановки, производимый при гидрогеологических исследованиях, включает в себя изучение климатических условий, а также поверхностного и подземного стока в районе рас-

пространения подземных вод. Для климатической характеристики района используются данные многолетних наблюдений метеорологических станций по температурному режиму воздуха, атмосферному давлению, ветрам, влажности воздуха, испарению атмосферным осадкам и другим метеорологическим элементам.

Температурный режим воздуха

Основные черты распределения температуры воздуха по земному шару определяются притоком солнечного тепла, причем падение температуры воздуха в общем происходит от экватора к полюсам, что объясняется уменьшением в этом направлении количества солнечной радиации.

Главными факторами, оказывающими влияние на температуру воздуха у земной поверхности, являются:

1) неоднородность поверхности земли в отношении распространения на ней водоемов и водотоков, расчлененности рельефа, характера растительности, разнообразия почв и др.;

2) горизонтальный и вертикальный обмен воздуха; первый из них осуществляется постоянным перемещением воздушных масс, переносимых воздушными течениями, второй приводит к выравниванию тепла в вертикальном направлении (при нагревании земной поверхности вертикальный обмен ослабляет нагревание наземного слоя воздуха, при охлаждении ее — уменьшает понижение температуры воздуха).

При гидрогеологических исследованиях температурный режим характеризуется суточными, среднемесячными, среднегодовыми, многолетними, а также максимальными и минимальными температурами воздуха. Колебания температур воздуха во времени отражают специальные графики и карты изотерм (рис. I-2).

Атмосферное давление

Атмосферное давление является наиболее важным метеорологическим элементом, так как изменение давления во времени и пространстве определяет развитие многих атмосферных процессов. Так, неоднородность распределения давления по горизонтали приводит к возникновению воздушных течений; колебаниями давления во времени объясняется развитие погоды, падение давления с высотой способствует движению воздушных масс в вертикальном направлении.

Давление атмосферы определяется как сила, действующая на единицу поверхности. На практике давление измеряется высотой ртутного столба, выраженного в миллиметрах, вес которого уравновешивает давление атмосферы. За нормальное атмосферное давление условно принимается давление, равное весу ртутного столба высотой 760 *мм* и площадью в 1 $см^2$ при температуре 0° на уровне моря и на широте 45°, где ускорение силы тяжести $g = 980{,}6$ $см/сек^2$.

В системе *CGS* за единицу давления принимается давление в 1 $дн/см^2$, которая в физике называется баром.

Для метеорологической практики эта единица очень мала, поэтому *баром* здесь называют единицу, в один миллион раз бóльшую, т. е. равную 10^6 $дн/см^2$, и за основную единицу принимают 1 $мб = 1000$ $дн/см^2$ или 10^{-3} *б*.

Давление в 1*б* соответствует высоте ртутного столба в 750,08 *мм*, отсюда между различными единицами давления имеют место следующие

соотношения: 1 *мм* рт. ст.— 1,333 *мб*; 1 *мб* — 0,75 *мм* рт. ст.; 760 *мм* рт. ст.— 1013,2 *мб*.

Закономерность падения давления воздуха с высотой положена в основу барометрического нивелирования, широко применяемого при гидрогеологической, геоморфологической и геологической съемках.

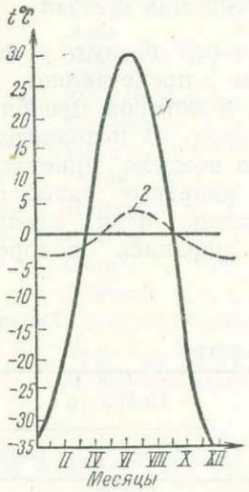


Рис. I-2. График колебания температуры воздуха (по А. С. Звереву и др.).

1 — континентальные условия; *2* — морские условия.

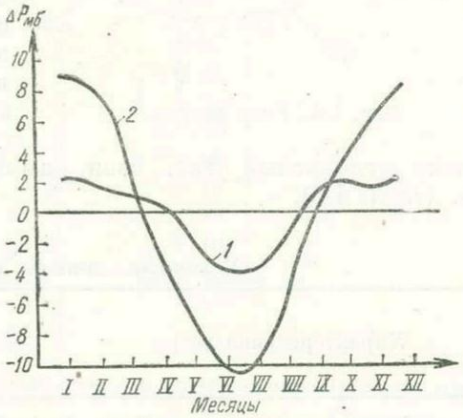


Рис. I-3. График колебания давления воздуха (по А. С. Звереву и др.).

1 — Москва; *2* — Иркутск (нулевая линия соответствует 1013,2 *мб* или 760 *мм* рт. ст.).

При гидрогеологических исследованиях анализируются данные суточных, среднемесячных, годовых и многолетних колебаний давления, причем анализ этих данных сопровождается построением специальных графиков и карт изобар (рис. I-3).

Ветры

Воздух, окружающий нашу планету, находится в постоянном движении, причем горизонтальное перемещение воздуха и отмечается при наблюдениях как ветер. Средние ветровые условия района при гидрогеологических исследованиях характеризуются двумя величинами: направлением и скоростью ветра.

Направление ветра дается по странам света с делением горизонта на 8 или 16 румбов. Иногда направления ветра выражают в градусах. Северное направление соответствует 0°, восточное — 90°, южное — 180° и западное — 270°.

Для представления о направлении ветров в районе составляется так называемая роза ветров, которая в графическом виде представляет собой повторяемость наблюдаемых направлений ветра по 8 или 16 румбам (рис. I-4).

Роза ветров наглядно показывает преобладающие ветры в районе как в годовом разрезе, так и по сезонам года (при условии построения четырех графиков — зимнего, весеннего, летнего и осеннего).

Скорость ветра выражается в метрах в секунду или километрах в час. Иногда скорость ветра дается в условных единицах — баллах по шкале

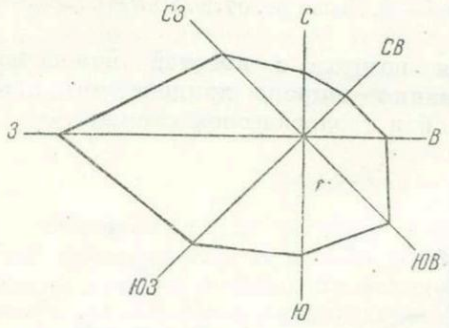


Рис. I-4. Роза ветров.

Бофорта, заимствованной из морской практики. Скорость ветра, выраженную в баллах, часто называют силой ветра (табл. I-2).

Влажность воздуха

Атмосферный воздух у поверхности земли представляет собой смесь газов, в которой преобладают азот и кислород. В незначительном количестве в воздухе присутствуют водород и инертные газы: аргон, гелий, криптон, неон, ксенон, а также углекислый газ, озон, аммиак, йод, перекись водорода и др. (табл. I-3).

Таблица I-2

Условные единицы для скорости ветра

Характеристика ветра	Баллы	Скорость	
		м/сек	*км/час*
Штиль	0	0—0,5	0—1
Тихое дуновение	1	0,6—1,7	2—6
Легкий ветер	2	1,8—3,3	7—12
Слабый ветер	3	3,4—5,2	13—18
Умеренный ветер	4	5,3—7,4	19—26
Свежий ветер	5	7,5—9,8	27—35
Крепкий ветер	6	9,9—12,4	36—44
Сильный ветер	7	12,5—15,2	45—54
Очень крепкий ветер	8	15,3—18,2	55—65
Шторм	9	18,3—21,5	66—77
Сильный шторм	10	21,6—25,1	78—90
Жестокий шторм	11	25,2—29,0	91—104
Ураган	12	> 29,0	> 104

Кроме перечисленных в табл. I-3 элементов, в атмосферном воздухе содержится пыль органического и неорганического происхождения, частицы морской соли, положительно или отрицательно заряженные ионы, обусловливающие электропроводность воздуха и обязанные своим происхождением радиоактивным явлениям и космическому излучению, а также вода в капельно-жидком и твердом состоянии (в облаках) и в виде водяного пара, который определяет влажность воздуха.

Главным источником водяного пара в атмосфере является влага, испарившаяся с поверхности мирового океана и в значительно меньшем количестве с поверхностей озер, рек, влажных почв, растительного покрова и др.

От той или иной поверхности испарения под влиянием конвекции и турбулентного обмена водяной пар распространяется вплоть до нижнего слоя стратосферы и, следовательно, распределяется в большом по мощности слое атмосферы.

Для характеристики влажности воздуха применяются следующие величины.

Таблица I-3

Состав атмосферного воздуха

Составные части воздуха	% содержания в воздухе (по объему)
Азот	78,08
Кислород	20,95
Аргон	0,93
Углекислый газ	0,03 (0,04)*
Водород	0,001
Неон	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$
Гелий	$5 \cdot 10^{-4}$
Криптон	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
Ксенон	$0{,}9 \cdot 10^{-5}$
Озон	$2 \cdot 10^{-6}$
Аммиак	$2{,}6 \cdot 10^{-7}$
Перекись водорода	$4 \cdot 10^{-8}$
Йод	$3{,}5 \cdot 10^{-9}$
Эманация радия (радон)	$7 \cdot 10^{-18}$

10532 13976

* В местах населенных пунктов с большим числом промышленных предприятий.

1. Упругость водяного пара, содержащегося в воздухе. Обозначается буквой e и выражается, как и давление воздуха, в миллибарах или миллиметрах рт. ст. представляя собой парциальное давление водяного пара, фактически содержащегося в воздухе.

2. Абсолютная влажность или количество водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха. Обозначается буквой a и имеет размерность $г/м^3$.

Соотношение между абсолютной влажностью a и упругостью e выражается формулой

$$a = 1{,}06 \frac{e}{1+\alpha t} \; г/м^3, \qquad \text{(I-4)}$$

где a — абсолютная влажность, $г/м^3$;

e — упругость, *мм* рт. ст.;

α — коэффициент $= \frac{1}{273}$;

t — температура воздуха, °С.

Из формулы (I-4) видно, что неточно будет называть упругость водяного пара абсолютной влажностью и только при $t = 16{,}4°$, e численно $= a$ (при различной размерности).

3. Относительная влажность — отношение упругости пара e, содержащегося в воздухе, к упругости насыщенного пара E при той же температуре. Она обозначается через r и выражается в процентах.

$$r = \frac{e}{E} 100, \qquad \text{(I-5)}$$

где e — упругость пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, *мм* рт. ст.;

E — упругость насыщенного пара при той же температуре, *мм* рт. ст.

4. Дефицит влажности — разность при данной температуре между упругостью насыщенного пара E и упругостью e, фактически содержащегося в воздухе водяного пара. Дефицит влажности обозначается через d, измеряется в миллибарах или миллиметрах рт. ст. и определяется по формуле

$$d = E - e. \qquad \text{(I-6)}$$

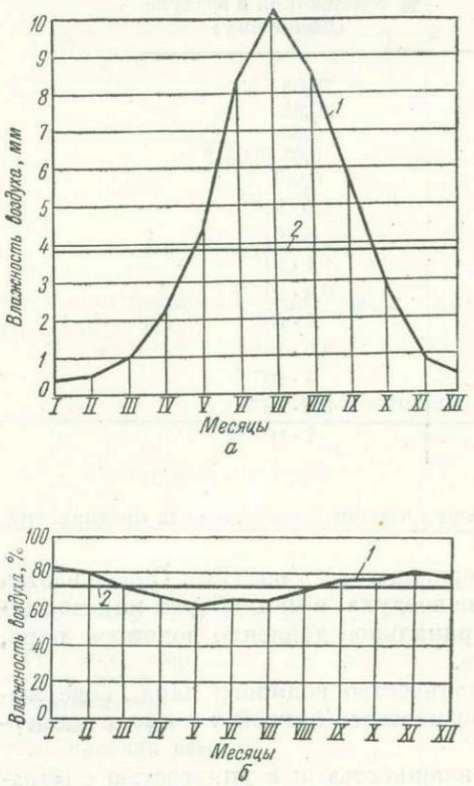


Рис. I-5. График колебаний абсолютной и относительной влажности воздуха (для Якутска по многолетним данным).

а) абсолютная влажность, *мм*; б) — относительная влажность, %.
1 — кривая среднемесячных значений влажности; *2* — среднегодовое значение влажности.

Характер колебания абсолютной, относительной влажности и дефицита влажности воздуха во времени отражается на специальных графиках, принцип построения которых виден из рис. I-5.

Абсолютная и относительная влажность воздуха в зависимости от температуры изменяются в обратных отношениях; с повышением температуры величина абсолютной влажности возрастает, относительная — падает и, наоборот, с понижением температуры абсолютная влажность падает, относительная — возрастает.

Дефицит влажности воздуха, как видно из формулы (I-6) определяет интенсивность процесса испарения влаги.

Испарение

Испарение — процесс перехода воды из жидкого состояния в парообразное. В природе испарение происходит с поверхности морей и океанов, озер, водохранилищ, рек, влажной почвы, растений, а также с поверхности облачных и дождевых капель и ледяных частичек в атмосфере.

В среднем за один год с поверхности земного шара испаряется 518,6 тыс. $км^3$ воды, на испарение которой расходуется около $3 \cdot 10^{23}$ *кал* тепла или 25% солнечной энергии, поступающей за год от солнца к земле.

Количество водяного пара, образующегося при испарении и поступающего в атмосферу, зависит от многих факторов, основными из которых являются:

1) температура на поверхности испарения;
2) атмосферное давление;
3) дефицит влажности воздуха;
4) скорость ветра над поверхностью испарения;
5) размеры и формы водных поверхностей испарения, их географическое положение, характер рельефа местности, окружающей эти поверхности.

Для решения ряда задач, связанных с осушением, орошением, водоснабжением и т. д., при гидрогеологических исследованиях, предшествующих этим мероприятиям, определяется величина испарения.

Для определения величины испарения с водных поверхностей применяются эмпирические формулы, построенные по опытным данным с учетом известного закона Дальтона

$$Q = k - \frac{E - e}{p} s, \qquad \text{(I-7)}$$

где Q — количество воды, испаряющейся с какой-либо поверхности в единицу времени;
$E - e = d$ — дефицит влажности воздуха;
p — атмосферное давление;
s — площадь испаряющей поверхности;
k — коэффициент пропорциональности.

При приближенных расчетах испарения с открытых водоемов часто пользуются формулой И. К. Тихомирова

$$Q = d(15 + 3v), \qquad \text{(I-8)}$$

где Q — количество испарившейся воды за 30 дней, *мм* водяного слоя;
d — среднемесячный дефицит воздуха, *мм* рт. ст.;
v — среднемесячная скорость ветра на высоте флюгера, *м/сек*.

На основании опытных данных формула (I-8) была несколько уточнена Б. В. Поляковым, который ввел в нее коэффициент c, зависящий от дефицита влажности

$$Q = cd(15 + 3v), \qquad \text{(I-9)}$$

где все обозначения те же, что и в формуле (I-8).

Коэффициент c изменяется от 1 до 0,5 (при $d = 1{,}5$ *мм* $c = 1$; при $d = 15$ *мм* $c = 0{,}5$).

Формулы (I-8 и I-9) применимы для водной поверхности испарения.

Процесс испарения с поверхности земли является более сложным, чем с водной поверхности; он зависит от строения почв, характера растительности, экспозиции поверхности испарения, глубины залегания подземных вод и многих других факторов. Поэтому величина испарения с поверхности земли определяется опытным путем с помощью специальных приборов — почвенных испарителей и лизиметров.

Кроме величины испарения, в гидрогеологии широко пользуются показателем «испаряемость». Под испаряемостью понимают испарение с водной поверхности.

Величина испаряемости в различных районах земного шара, в силу разнообразия климатических условий, различна. В полупустынных и пустынных районах, с жарким и сухим климатом, она достигает своего максимума и обычно значительно превышает количество выпадающих здесь атмосферных осадков. В районах с умеренным климатом и климатом избыточного увлажнения испаряемость имеет свои минимальные значения.

Испаряемость выражается в миллиметрах водяного слоя и определяется специальными приборами — испарителями или в искусственно созданных испарительных бассейнах.

Величина испаряемости численно не соответствует истинному испарению, представляющему среднюю величину фактического испарения в том или ином районе с определенными ландшафтными условиями.

Атмосферные осадки

В природе наряду с процессом испарения влаги всегда происходит и противоположный процесс, при котором водяной пар переходит в жидкое или твердое состояние.

Переход водяного пара в жидкое состояние называют конденсацией его, а переход в твердое — сублимацией; при этом конденсация и сублимация водяного пара происходят как в атмосфере, так и на земной поверхности.

Все виды воды, образующиеся при конденсации и сублимации водяных паров, получаемые земной поверхностью, называют атмосферными осадками.

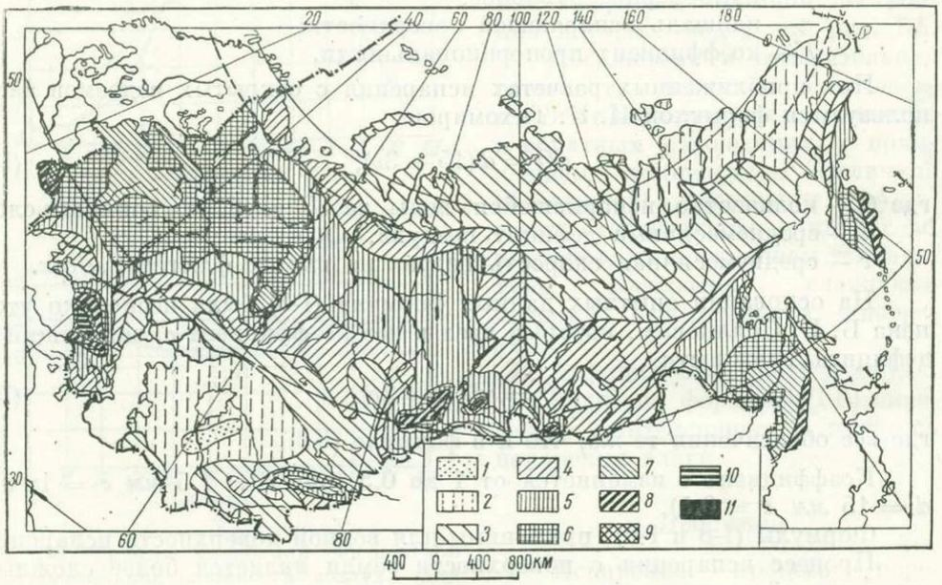


Рис. I-6. Карта распространения атмосферных осадков на территории СССР, *мм*.

1 — меньше 100; *2* — от 100 до 200; *3* — от 200 до 300; *4* — от 300 до 400; *5* — от 400 до 500; *6* — от 500 до 600; *7* — от 600 до 700; *8* — от 700 до 1000; *9* — от 1000 до 1500; *10* — от 1500 до 2000; *11* — больше 2000.

В зависимости от условий и места образования атмосферных осадков последние разделяются на два типа:

1) осадки, образующиеся при конденсации водяного пара непосредственно на поверхности земли и поверхностях наземных предметов (роса, иней, изморозь, гололед и пр.);

2) осадки, образующиеся при конденсации водяного пара в атмосфере (дождь, морось, снег, крупа, град).

Осадки характеризуются их видом (роса, иней, дождь, снег, град и т. д.), характером выпадения (обложные, ливневые, моросящие) и количеством, выражаемым в миллиметрах столба воды.

Количество осадков, выпавших за одну минуту, характеризует интенсивность осадков. Если в одну минуту выпадает 0,5—1,0 *мм* и более осадков, тогда такие осадки называют ливнями.

В зависимости от вида осадков влияние их на подземные воды различное. Наибольшее значение для питания подземных вод имеют обложные

осадки, обладающие небольшой интенсивностью, но значительной продолжительностью. Большая продолжительность этого вида осадков способствует просачиванию больших масс атмосферной влаги в горные породы, особенно в их хорошо водопроницаемые разности.

Осадки моросящего характера не дают больших масс воды, роль их в питании подземных вод незначительна.

Ливневые осадки, характеризующиеся небольшой продолжительностью и дающие много воды, в большей своей части расходуются на поверхностный сток. Следствием их часто являются резкие подъемы уровня воды в реках и озерах, что в прибрежных частях приводит иногда к подъему уровня и подземных вод.

Твердые атмосферные осадки (снег, крупа) участвуют в питании подземных вод только после их перехода в жидкую фазу, т. е. весной, в период таяния снежного покрова, накопившегося за зиму.

В теплое время года твердые осадки выпадают из грозовых облаков в виде града, который большого значения в питании подземных вод не имеет.

Количество выпадающих осадков измеряется дождемерами (для жидких осадков) и осадкомерами (для жидких и твердых осадков).

Годовое количество атмосферных осадков в различных районах СССР неодинаково. Наибольшее (1200—2400 *мм*) количество осадков выпадает на Черноморском побережье Кавказа (район Батуми — Сочи), наименьшее (150—250 *мм*) — в полупустынных и пустынных районах, среднее (400—600 *мм*) — в средней полосе Европейской части СССР (рис. I-6). На земном шаре наибольшее ($>$ 11 500 *мм*) количество осадков выпадает в м. Черрапунджи (Индия, провинция Ассам), наименьшее (1—10 *мм*) — в пустыне Атакама (Южн. Америка).

Поверхностный сток

Наряду с климатическими условиями большое значение в гидрогеологии имеет изучение поверхностного и подземного стока. Поверхностный сток выражается временными и постоянно действующими водотоками. Реки питаются не только поверхностными водами, а и подземными, причем доля участия в питании рек тех и других вод, в зависимости от климатических, геоморфологических, геологических и гидрогеологических факторов, для разных районов различная. Для большинства рек земного шара открытые потоки воды в них сопровождаются сравнительно мощными потоками подземных вод.

Питание рек поверхностными водами может быть подразделено на четыре вида:

1) дождевое в районах с влажным и умеренным климатом;

2) снеговое, имеющее место в большинстве районов СССР с умеренным климатом;

3) ледниковое в горных районах, где происходит таяние ледников;

4) смешанное, наиболее распространенное, когда одни и те же реки имеют дождевое, ледниковое и снеговое питание.

Заметим, что в годовом разрезе питание рек всегда бывает смешанным. Весной и осенью реки питаются преимущественно поверхностными водами, в период засухи и зимой — подземными, которые в это время часто являются основным источником питания рек.

Закономерные изменения элементов деятельности рек и водоемов, происходящие во времени и обусловленные климатическими и другими факторами, определяют режим поверхностных вод. К главным элементам,

характеризующим режим рек во времени, относятся колебания уровня и расхода воды в них.

Наблюдения за колебаниями уровня и расхода воды в реках производятся на специально оборудованных гидрометрических постах и створах. В результате этих наблюдений составляются специальные графики, анализ которых дает возможность установить:

1) характерные уровни воды в реке — весеннего половодья, летнего, осеннего и зимнего периодов;

2) амплитуду колебаний уровня воды, т. е. разность между отметкой наивысшего и наинизшего уровней воды, имеющую большое значение при гидротехнических расчетах;

3) количество максимумов и минимумов на кривой колебания уровня воды и приуроченность их к определенным периодам года, а следовательно, причины появления этих максимумов и минимумов в уровенном режиме рек;

4) летний и зимний расходы реки, разность между которыми может дать представление о величине ее подземного питания.

Большую роль в режиме поверхностного стока играют озера. Они регулируют равномерность течения рек, уменьшают амплитуды колебаний уровня воды в них в период интенсивного выпадения летних и таяния зимних осадков, оказывают влияние на величину подземного стока (см. формулу I-21).

В связи с этим при гидрогеологической оценке района или области определяется коэффициент озерности по следующей формуле

$$\omega = \frac{\sum f}{F_{в.б}} 100, \qquad \text{(I-10)}$$

где ω — коэффициент озерности, %;

$\sum f$ — общая площадь озер в районе водосборного бассейна той или иной реки, $км^2$;

$F_{в.б}$ — площадь водосборного бассейна, $км^2$.

Кроме коэффициента озерности при гидрогеологических исследованиях, озера выделяются и характеризуются по происхождению и характеру стока; при этом обычно пользуются общепринятыми классификационными схемами. По происхождению озера разделяют на три типа: 1) плотинные (естественные и искусственные); 2) котловинные; 3) смешанные.

По характеру стока выделяется два типа озер — сточные и бессточные. Последние в основном характерны для засушливых областей, причем поступающая в них вода расходуется только на испарение.

К естественным плотинным озерам относятся речные, долинные и прибрежные озера. Речные озера обязаны своим происхождением или перекрытию долины глинистыми отложениями (обвалами), или образуются из речных стариц. Прибрежные озера образуются при отделении устьевых частей рек от моря песчано-галечными валами и косами (прибрежные озера — лагуны и лиманы).

Искусственными плотинными озерами являются водохранилища, создаваемые при гидротехническом строительстве.

К типу котловинных озер относятся озера, образовавшиеся в результате самых различных процессов — ледниковой деятельности (моренные озера), карстообразования (карстовые озера), тектонических процессов (тектонические озера), термокарстовых явлений (термокарстовые озера) и др.

Озера смешанного происхождения образуются в результате нескольких, часто взаимодействующих между собой процессов, например, эрозионных и карстовых, эрозионных и термокарстовых, тектонических и эрозионных и т. д.

Следует заметить, что в природе встречаются и такие озера, из которых сток осуществляется только подземным путем (подземносточные озера).

Для количественной оценки поверхностного и подземного стока пользуются следующими показателями:

1) величиной стока для площади бассейна той или иной реки;
2) коэффициентом стока;
3) коэффициентом весеннего стока;
4) нормой стока;
5) модульным коэффициентом.

Величина стока

Величина стока с площади всего водосборного бассейна какой-либо реки определяется по данным расхода воды, рассчитанного в поперечном сечении, заданном в устьевой части реки.

Расход воды в любом поперечном сечении реки, и, в частности, заданном в устьевой части ее, рассчитывается по формуле

$$Q = vF, \tag{I-11}$$

где Q — расход реки в заданном сечении, *м*³/*сек*;
v — средняя скорость течения, определяемая гидрометрической вертушкой или поплавками, *м*/*сек* (см. гл. XXXI);
F — площадь живого сечения потока в данном створе, *м*² (см. гл. XXXI).

Коэффициент стока

Коэффициент стока α — отношение стока h за данный период к количеству осадков x, выпавших за тот же период на площадь водосборного бассейна какой-либо реки

$$\alpha = \frac{h}{x} 100, \tag{I-12}$$

где α — коэффициент стока, %;
h — величина стока, *мм* водяного слоя;
x — количество осадков, *мм*.

Коэффициент весеннего стока

Коэффициент весеннего стока $\alpha_в$ — отношение стока $h_в$ за весенний период к количеству осадков $x_з$, выпавших за холодное время

$$\alpha_в = \frac{h_в}{x_з} 100. \tag{I-13}$$

Норма стока

Норма стока — среднеарифметическая величина стока, установленная за многолетний (40—50 лет) период наблюдений.

Норма стока может быть выражена:

а) средним многолетним расходом реки Q_0 в *м³/сек*;

б) средним многолетним модулем стока M_0, определяемым по формуле

$$M_0 = \frac{Q_0}{F_{в.б}}, \qquad (I\text{-}14)$$

где M_0 — модуль стока в *л/сек* с 1 *км²* водосборного бассейна какой-либо реки;

Q_0 — средний многолетний расход реки, *м³/сек*;

$F_{в.б}$ — площадь водосборного бассейна той же реки, *км²*;

в) средней многолетней высотой слоя стока h_0 в *мм/год*, определяемой по формуле

$$h_0 = 31{,}5\, M_0, \qquad (I\text{-}15)$$

где M_0 — средний многолетний модуль стока в *л/сек* с 1 *км²* водосборной площадки какой-либо реки;

г) средним многолетним объемом стока W_0 в *м³/год*, который определяется по формуле

$$W_0 = h_0 F_{в.б}, \qquad (I\text{-}16)$$

где h_0 — высота слоя годового стока, *м*;

$F_{в.б}$ — площадь водосборного бассейна какой-либо реки, *м²*.

Модульный коэффициент

Модульный коэффициент K — безразмерная величина, представляющая собой отношение стока, выраженного в любых единицах за определенный период i к норме стока

$$K_i = \frac{M_i}{M_0} = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{h_i}{h_0} = \frac{W_i}{W_0}. \qquad (I\text{-}17)$$

Стоки для отдельных периодов, равных одному году, сезону, месяцу, характеризуются обычно модульными коэффициентами, рассчитанными для этих периодов по формуле (I-17).

В настоящее время для территории СССР построены разномасштабные карты среднего многолетнего модуля стока рек в изолиниях. Образец одной из таких карт показан на рис. I-7. По карте можно видеть, что на территории СССР модуль стока изменяется в широких пределах от 0,5 до 75 *л/сек* с 1 *км²*, причем наименьшие значения его приходятся на Арало-Каспийскую область, наибольшие — на высокогорные части Кавказа.

Изменение величины модуля и других показателей стока на территории СССР объясняется тем, что на сток оказывают влияние различные естественные и искусственные факторы.

Факторы, оказывающие влияние на поверхностный сток

Естественными факторами являются климатические, геоморфологические, почвенно-геологические, а также растительность. Влияние климатических факторов ясно видно из уравнения большого круговорота воды в природе, как это иллюстрирует формула (I-2). Высокое испарение уменьшает сток и, наоборот, малое испарение при том же количестве

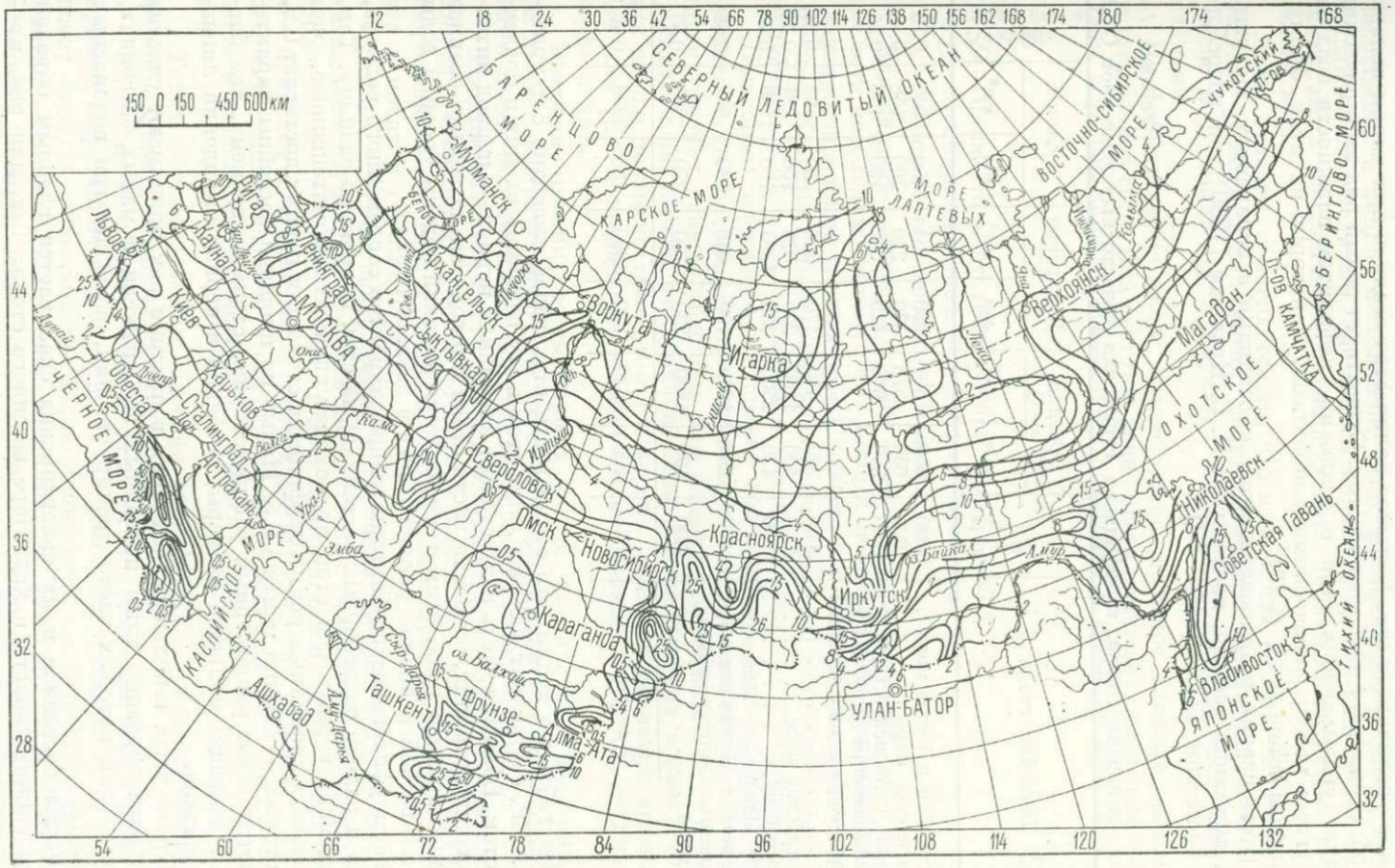


Рис. I-7. Карта среднего многолетнего стока рек СССР (по Б. Д. Зайкову).

осадков увеличивает его. Большое количество осадков при малом испарении обусловливает наибольший сток. Существует целый ряд эмпирических формул, увязывающих сток с осадками, дефицитом влажности воздуха и другими метеорологическими элементами. Некоторые из этих формул приведены выше (I-2), (I-12).

В отношении взаимосвязи стока с осадками и испарением заслуживают внимания данные, полученные П. С. Кузиным [1950] для водосборных бассейнов СССР (табл. I-4).

Таблица I-4

Осадки, испарение, сток, коэффициент стока для водосточных бассейнов СССР

Бассейны стока	Площадь, тыс. км²	Осадки		Испарение		Сток		Коэффициент стока
		мм	км³	мм	км³	мм	км³	
Баренцово и Белое моря	1000	500	500	150	154	350	346	0,70
Балтийское море	600	630	378	370	220	260	158	0,42
Черное и Азовское моря	1200	550	660	420	502	130	158	0,24
Аральское море и другие бессточные озера и реки Средней Азии	2000	220	440	170	346	50	94	0,21
Каспийское море	2900	400	1160	300	876	100	284	0,24
Карское море	6100	420	2560	230	1394	190	1166	0,45
Море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря	4600	290	1330	100	448	190	882	0,66
Берингово, Охотское и Японское моря	3200	500	1600	230	750	270	850	0,53
Всего	21600	400	8628	220	4690	180	3938	0,46

Из табл. I-4 видно, что объем воды, стекающей ежегодно с территории СССР, составляет 3900 км³, при этом в эту величину входит и подземный сток. Бóльшая часть воды стекает в весенний период — период интенсивного снеготаяния, меньшая часть стока приходится на летнее, осеннее и зимнее времена года. Этим и объясняется высокий подъем уровней воды в реках весной и низкие уровни в них в зимний период.

Геоморфологические факторы (общий характер современного рельефа, форма и размер водосборных бассейнов) на сток влияют по-разному. Так, в бассейнах горных рек сток происходит значительно интенсивнее, чем в бассейнах равнинных рек. Коэффициент стока для первых достигает 0,9, для вторых — обычно меньше 0,5. Малые по площади бассейны характеризуются менее равномерным распределением стока во времени, чем бассейны, имеющие большие размеры, особенно в период выпадения ливневых осадков.

Кроме того, в больших бассейнах в питании рек принимают участие более разнообразные типы подземных вод, нежели в малых бассейнах, главная река которых часто дренирует один, реже два-три водоносных горизонта.

Форма бассейнов и их ориентировка сказывается главным образом на продолжительности и характере весеннего стока. Так, для рек, протекающих с юга на север, характерны концентрированные половодья, обусловливаемые тем, что по течению реки вместе с волной вешних вод

продвигается и линия снеготаяния. Реки, протекающие с севера на юг, обладают более плавным, спокойным половодьем, так как линия снеготаяния здесь продвигается в направлении, обратном движению волны вешних вод.

Этим, отчасти, объясняется то, что в весенний период на различных участках речных долин имеют место различные амплитуды колебания уровня подземных вод водоносных горизонтов, дренируемых речными долинами.

На формирование стока, как известно, большое влияние оказывает густота речной сети. Под густотой речной сети понимают отношение общей длины всех рек данного водосборного бассейна к площади последнего

$$D = \frac{\sum L}{F_{в.б}}, \qquad (I\text{-}18)$$

где D — показатель густоты речной сети, *км/км²*;

$\sum L$ — суммарная длина рек данного бассейна, *км*;

$F_{в.б}$ — площадь водосборного бассейна, *км²*.

Для гидрогеологических целей определение показателя густоты речной сети необходимо потому, что данный показатель дает представление о водопроницаемости горных пород, развитых в том или ином водосборном бассейне. Известно, что чем меньше этот показатель, тем большим распространением в бассейне пользуются водопроницаемые горные породы.

Почвенно-геологическое строение водосборных бассейнов оказывает влияние на распределение поверхностного и подземного стоков. При всех других прочих равных условиях для хорошо проницаемых почв и пород (рыхлых почв, песков, галечников, сильно трещиноватых и закарстованных пород) поверхностный сток и испарение имеют наименьшие значения, чем для слабопроницаемых и влагоемких (глинистых почв, суглинков, торфа и др.).

Высокая проницаемость горных пород увеличивает подземный и уменьшает поверхностный сток, причем в сильно закарстованных районах часто имеет место полное поглощение поверхностных вод.

Влияние растительности на сток весьма разнообразно. Растительный покров задерживает сток атмосферной влаги на склонах поверхности современного рельефа, а следовательно, способствует просачиванию осадков в почву и горные породы.

Лесные массивы задерживают влагоносные ветры, а кроны деревьев уменьшают нагревание почвы в лесу, снижая тем самым испарение с поверхности земли. Кроме этого, в лесу замедляется процесс таяния снега, что приводит к повышению уровня грунтовых вод на участках, занятых лесными массивами, при этом влага, образующаяся при таянии снега, часто в течение продолжительного времени пополняет запасы грунтовых вод.

Таким образом, лесные массивы способствуют условиям питания и формирования почвенных и грунтовых вод.

Наконец, величина стока зависит от искусственных факторов. Например, агротехнические мероприятия (вспашка склонов и пр.) уменьшают сток, а строительство гидротехнических сооружений — каналов, плотин — и связанное с последним создание водохранилищ значительно изменяют распределение стока в том или ином водосборном бассейне. При этом вместе с изменением поверхностного стока меняется режим подземных вод, так как в районе водохранилищ по их контуру образуются

большие по площади зоны подтоплений, в которых уровень подземных вод значительно повышается, часто создавая угрозу подтопления отдельным сооружениям и территориям, занятым сельскохозяйственными культурами.

Подземный сток

Выше отмечалось, что речной сток является общим стоком, состоящим из поверхностного и подземного.

Подземный сток обязан своим существованием подземным водам, залегающим и движущимся в водопроницаемых горных породах, принимающих участие в геологическом строении водосборных бассейнов.

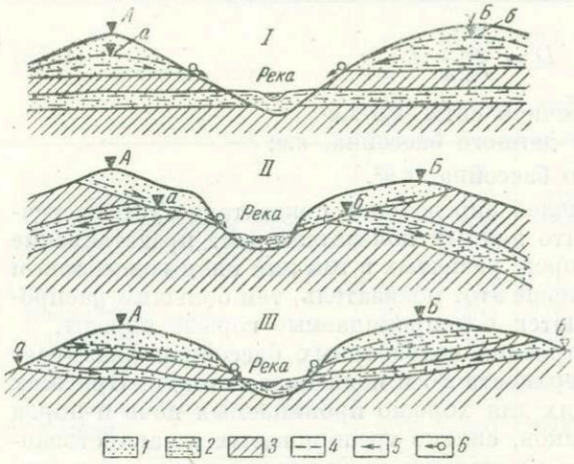


Рис. I-8. Соотношение подземного и поверхностного водосборных бассейнов (по П. П. Климентову).

I — бассейны поверхностного и подземного стока совпадают; *II* и *III* — бассейны поверхностного и подземного стока не совпадают; *АБ* — бассейны поверхностного стока; *аб* — бассейны подземного стока; *1* — песок; *2* — песок с водой; *3* — глина; *4* — уровень грунтовых вод; *5* — направление грунтового потока; *6* — источник.

Подземный сток имеет свой водосборный бассейн, который при известных геологических условиях может не совпадать с поверхностным водосбором (рис. I-8; *I*, *II*, *III*).

Величина подземного стока характеризуется так называемым модулем подземного стока, который определяется по модулю общего стока

$$M_{\text{подз}} = \frac{KM_0}{100}, \quad \text{(I-19)}$$

где $M_{\text{подз}}$ — модуль подземного стока, *л/сек* с 1 *км*² подземной водосборной площади;

M_0 — средний многолетний модуль общего стока, *л/сек* с 1 *км*² поверхностного водосборного бассейна;

K — модульный коэффициент, показывающий процент подземного стока в общем стоке и определяемый по формуле:

$$K = \frac{M_{\min}}{M_0}, \quad \text{(I-20)}$$

где $M_{\min}$ — минимальный модуль стока, *л/сек* в 1 *км*² поверхностного водосборного бассейна, определяемый по зимнему расходу реки и равный модулю подземного стока, так как реки зимой питаются преимущественно подземными водами;

M_0 — то же, что и в формуле (I-19).

Модуль подземного стока является надежным показателем для оценки водоносности горных пород, распространенных на площади водосборного бассейна какой-либо реки, так как он представляет собой не что иное как количество подземной воды в литрах в секунду, поступающее в реку с 1 *км*² того или иного водоносного горизонта, дренируемого рекой.

Для водосборных бассейнов со значительной озерностью модуль подземного стока определяется по следующей формуле

$$M_{\text{подз}} = \frac{\varphi K M_0}{100}, \qquad \text{(I-21)}$$

где φ — коэффициент $= \frac{1}{\sqrt[3]{\omega}}$;

ω — коэффициент озерности, определяемый по формуле (I-10).

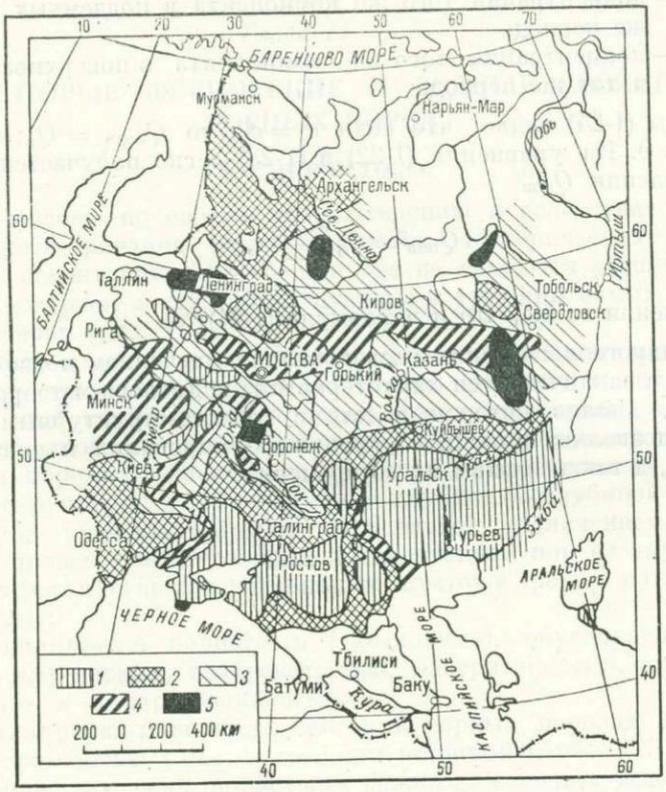


Рис. I-9. Карта модульных коэффициентов подземного стока рек (по Б. В. Полякову).

1 — от 0 до 5 %; *2* — от 5 до 10 %; *3* — от 10 до 20 %; *4* — больше 20 %; *5* — области карста с весьма высоким значением модульного коэффициента.

Коэффициент K, входящий в формулы (I-19) и (I-21), обычно находится по карте модульных коэффициентов (рис. I-9).

Кроме приведенных формул, величина подземного стока может быть определена гидрохимическим методом, предложенным А. Т. Ивановым [1948], согласно которому подземный и поверхностный стоки определяются из следующих уравнений

$$Q_0 = Q_{\text{подз}} + Q_{\text{пов}}, \qquad \text{(I-22)}$$

$$Q_0 c = Q_{\text{подз}} c_1 + Q_{\text{пов}} c_2. \qquad \text{(I-23)}$$

Решая уравнения (I-22) и (I-23) относительно $Q_{подз}$, получим

$$Q_{подз} = Q_0 \frac{c - c_2}{c_1 - c_2}, \quad \text{(I-24)}$$

где $Q_{подз}$ — годовой объем подземного стока;
Q_0 — годовой объем речного стока;
$Q_{пов}$ — годовой объем поверхностного стока;
c — концентрация какого-либо компонента, например хлора, в речной воде в период наблюдений;
c_1 — концентрация того же компонента в подземных водах в тот же период;
c_2 — концентрация того же компонента в поверхностных водах в тот же период.

Из формулы (I-24) видно, что если $c = c_1$, то $Q_{подз} = Q_0$; если $c = c_2$, то $Q_{подз} = 0$. Из уравнений (I-22) и (I-23) легко получается и формула для определения $Q_{пов}$

$$Q_{пов} = Q_0 \frac{c - c_1}{c_2 - c_1}, \quad \text{(I-25)}$$

где обозначения те же, что и в формуле (I-24).

При гидрогеологических исследованиях изучением подземного стока в основном и заканчивается характеристика гидролого-метеорологической обстановки, анализ которой вместе с геолого-структурным строением местности позволяет выяснить условия формирования и движения подземных вод, а также режим их во времени.

Глава II

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. ПОРИСТОСТЬ

Горные породы по своему происхождению и вследствие вторичных процессов (выветривания, выщелачивания, тектонических движений, уплотнения, цементации и др.) в природе не являются абсолютно монолитными, а содержат в себе поры, пустоты и трещины самых различных форм и размеров (рис. II-1).

Пористость в горных породах обусловлена мелкими промежутками — порами между частицами породы. Пористость вместе с трещиноватостью и тектонической нарушенностью пород, их литологическими особенностями и динамикой подземных вод определяет гидрогеологические свойства горных пород в геологических разрезах (вертикальных и горизонтальных) и структурах по их площади и глубине. С глубиной пористость горных пород уменьшается, что объясняется увеличением давления, затуханием процесса выветривания и цементацией пор на глубине.

В зависимости от вида и размера пор, пустот и трещин в горных породах различают:

1) некапиллярную пористость (скважность), обусловленную крупными (> 1 *мм*) порами, ноздреватостью, кавернозностью, крупной трещиноватостью и закарстованностью;

2) капиллярную пористость, когда в горных породах встречаются поры диаметром менее 1 *мм*, а трещины шириной менее 0,25 *мм*.[1]

Выделение этих видов пористости важно для оценки условий движения подземных вод в горных породах.

Так, в горных породах с первым видом пористости подземная вода движется под влиянием силы тяжести, а в породах с капиллярной пористостью движение воды происходит под действием сил тяжести и поверхностного натяжения.

Пористость свойственна всем горным породам — магматическим, метаморфическим и осадочным, только происхождение пор в них различное. Поры в магматических горных породах возникают вследствие затвердевания магмы, при котором внутри отдельных кристаллов и между ними образуются пустоты, заполненные водяным паром или другими газами. Особенно много пустот образуется в верхней части лавовых потоков в результате выделения из лавы водяного пара и газов.

---

[1] Некоторые авторы выделяют еще так называемую субкапиллярную пористость, когда в породах круглые поры имеют диаметр менее 0,0002 *мм*, а трещинки — ширину менее 0,0001 *мм*.

Поры в метаморфических породах обязаны своим происхождением процессу перекристаллизации первичных осадочных горных пород под влиянием того или иного вида метаморфизма.

Поры в осадочных горных породах обусловлены происхождением этих пород и теми вторичными процессами, которым подвергались эти породы в геологическом разрезе времени (уплотнение, цементация и пр.).

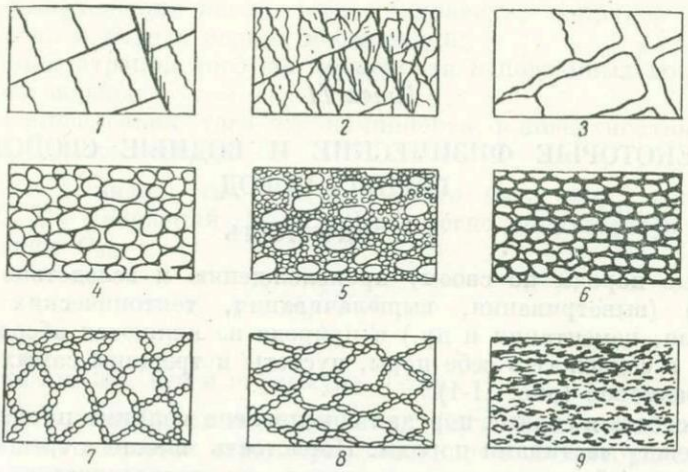


Рис. II-1. Типы пористости горных пород.

1 — скальная порода с отдельными структурными порами и трещинами; *2* — та же порода с пористостью, увеличившейся в результате процессов выветривания; *3* — кавернозная порода с крупными пустотами, подвергающаяся выщелачиванию и растворению; *4* — рыхлая песчаная порода с относительно хорошо отсортированными зернами и высокой пористостью; *5* — рыхлая песчаная порода с малой пористостью вследствие неравнозернистости; *6* — песчаная порода с малой пористостью в результате образования цемента пор и обрастания; *7* — лёссовидная порода с микро- и макропористостью; *8* — микропористая глинистая порода; *9* — глинистая порода с малой пористостью вследствие уплотнения. Последние три типа показаны с увеличением.

Величина пористости горных пород характеризуется коэффициентом пористости, который определяется отношением объема пор к объему всей породы в сухом состоянии и выражается в долях единицы или процентах

$$n = \frac{V_п}{V}\ 100\%, \qquad \text{(II-1)}$$

где $V_п$ — объем пор;

V — объем породы.

Коэффициент пористости рассчитывается по удельному и объемному весу породы, методика определения которых подробно излагается в специальных руководствах [А. К. Чаповский, 1945; В. Д. Ломтадзе, 1952; А. М. Васильев, 1953 и др.].

При известных удельном и объемном весах породы коэффициент пористости определяется по формуле

$$n = \left(1 - \frac{\delta}{\gamma}\right) 100\%, \qquad \text{(II-2)}$$

где n — коэффициент пористости, %;

δ — объемный вес породы, представляющий собой отношение веса частиц g к объему породы вместе с порами V, т. е.

$$\delta = \frac{g}{V};$$

γ — удельный вес, которым называется отношение веса частиц породы g к их объему (без пор) $V_т$, т. е.

$$\gamma = \frac{g}{V_т}.$$

Величина коэффициента пористости зависит от:

1) расположения зерен (при плотном расположении пористость уменьшается, при менее плотном или неплотном — значительно увеличивается);

2) однородности частиц и зерен по их размерам (в неоднородных зернистых породах пористость уменьшается, вследствие заполнения промежутков между крупными зернами более мелкими, причем при плотном заполнении пористость смеси приблизительно равна произведению величин пористости отдельных компонентов);

3) степени цементации частиц и зерен породы между собой (менее сцементированные породы обладают большей пористостью, более сцементированные — меньшей);

4) состояния породы в отношении выноса из нее циркулирующими водами минерального вещества, а также степени ее выветренности;

5) характера трещиноватости горных пород, в которых наряду с порами встречаются трещины различной ориентировки и размеров.

Кроме коэффициента общей пористости n в гидрогеологии (см. гл. XII) и особенно в механике грунтов и инженерной геологии широко пользуются коэффициентом приведенной пористости ε. Под последним понимается отношение объема пор $V_п$ к объему скелета породы $V_т$

$$\varepsilon = \frac{V_п}{V_т}. \qquad \text{(II-3)}$$

Коэффициенты общей пористости и приведенной между собой взаимосвязаны формулами

$$\varepsilon = \frac{n}{1-n}, \qquad \text{(II-4)}$$

$$n = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}. \qquad \text{(II-5)}$$

Пористость различных по возрасту, составу и происхождению горных пород колеблется в весьма широких пределах (табл. II-1).

Таблица II-1

Значения коэффициента пористости горных пород
(по Г. А. Максимовичу)

Группы пород	Наименование пород	Пористость, %			Число определений
		максимальная	минимальная	средняя	
Свежие осадки	Илы глинистые	90,0	19,83	50,0	> 18
Почвы	Торф	89,0	76,0	80	> 4
	Различные типы почв	65,0	43,75	55,0	> 50

Продолжение табл. II-1

Группы пород	Наименование пород	Пористость, %			Число определений
		максимальная	минимальная	средняя	
Породы верхней части коры выветривания	Пески	48,0	17,33	35,0	>267
	Лёсс, лёссовидные суглинки	59,06	35,3	45,0	>282
	Покровные суглинки	50,0	24,23	35,0	>94
	Глины	55,0	18,30	35,0	>321
	Известковые туфы	32,2	20,2	25,0	>4
Осадочные породы	Пески рыхлые	50,9	26,4	35,0	>54
	Пески уплотненные	29,5	11,2	25,0	>46
	Песчаники кайнозоя и мезозоя	42,0	2,23	20,0	>683
	Песчаники палеозоя	26,5	1,09	10—12,0	>110
	Известняки пористые	34,0	0,21	5,0	>76
	Доломиты пористые	33,0	1,5	5,0	>9
	Глины платформенных областей	54,93	17,23	40,0	>273
	Глины складчатых областей	50,8	10,4	20,0	>28
	Гипс	6,0	0,1	3,0	>4
	Ангидрит	—	—	1,0	>1
	Угли	—	—	4,0	>2
	Мел	55,0	3,28	30,0	>33
	Опока	49,0	20,0	35,0	>10
Метаморфические породы	Сланцы глинистые	10,0	0,49	4,0	>14
	Сланцы кровельные	10,28	1,16	4,0	>59
	Сланцы кремнистые	0,91	0,85	1,0	>2
	Мрамор	6,0	0,11	1,0	>7

Продолжение табл. II-1

Группы пород	Наименование пород	Пористость, %			Число определений
		максимальная	минимальная	средняя	
	Кварциты			1,0	> 5
	Гнейсы	2,4	0,3	1,0	> 2
	Амфиболиты	1,1	0,9	1,0	> 2
Магматические породы	Кислые				
	Порфириты	6,73	0,38	2,0	> 9
	Граниты	1,9	0,02	1,0	> 50
	Сиениты	2,8	0,5	1,0	> 7
	Основные				
	Эффузивы	6,0	0,6	2,0	> 19
	Интрузивы	2,0	0,65	1,0	> 10

§ 2. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Осадочные горные породы, с которыми связаны подземные воды, состоят из различных по происхождению, составу, форме и размеру зерен и частиц.

Определение размеров зерен и частиц, слагающих породы, имеет в гидрогеологии, инженерной геологии и физике нефтяного пласта огромное значение, так как от их размера зависят многие свойства песчаных и глинистых пород.

К таким свойствам относится способность породы: 1) пропускать через себя жидкости и газы; 2) вмещать в себя жидкость; 3) отдавать жидкость при определенных условиях и многие другие.

Определение размера зерен и частиц по их отдельным фракциям называют механическим, или гранулометрическим, анализом. В зависимости от гранулометрического состава горных пород применяют различные методы анализа.

Крупные фракции, в которые входят зерна и частицы размером от 0,1 до 10,0 *мм*, определяются методом ситового анализа, для чего применяется набор сит с отверстиями различного диаметра (10; 7; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 *мм*).

Мелкие фракции, включающие частицы $< 0{,}1$ *мм*, определяются методом отмучивания в спокойной воде.[1]

[1] Методика производства гранулометрического анализа излагается в соответствующих руководствах по лабораторным работам (В. Д. Ломтадзе, 1952; А. М. Васильев, 1953; К. Г. Оркин, П. К. Кучинский, 1953 и др.)

В основу метода отмучивания положена известная формула Стокса, которая после преобразования ее для целей лабораторной практики имеет следующий вид

$$r = \sqrt{\frac{v}{3{,}58 \cdot 10^7}}, \qquad \text{(II-6)}$$

где r — радиус частицы, свободно падающей в воде, *мм*;
v — скорость падения частицы, *см/сек*.

Согласно формуле (II-6), различные по величине частицы горной породы даже при их одинаковом удельном весе будут падать на дно сосуда с различной скоростью.

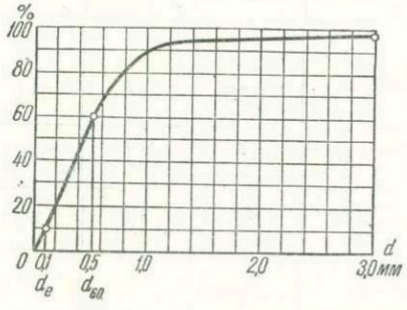


Рис. II-2. График гранулометрического состава.

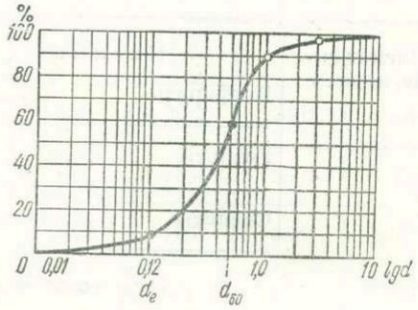


Рис. II-3. Логарифмический график гранулометрического состава.

Результаты гранулометрического анализа горных пород выражают в виде таблиц (табл. II-2) и графиков гранулометрического состава (рис. II-2, II-3).

Таблица II-2

Гранулометрический состав

Содержание фракций в обычной форме выражения		Содержание фракций по их совокупности	
Диаметр частиц, *мм*	Содержание, %	Наибольший диаметр частиц в сумме фракций, *мм*	Суммарный процент
< 0,01	1,2	0,01	1,2
0,01—0,1	7,3	0,1	8,5
0,1—0,5	48,5	0,5	57,0
0,5—0,1	32,4	1,0	89,4
1,0—3,0	8,2	3,0	97,6
3,0—5,0	2,4	5,0	100,0

Из графиков гранулометрического состава распространение получили обыкновенный и особенно логарифмический графики.

Для построения обыкновенного графика на оси абсцисс в соответствующем масштабе откладываются диаметры частиц (в миллиметрах), а по оси ординат — процентное содержание фракций по их совокупности (суммарный процент, рис. II-2). Недостатком этого графика является излишняя его вытянутость по оси абсцисс, особенно если диаметры частиц колеблются в широких пределах.

Этот недостаток устраняется на логарифмическом графике, для построения которого по оси абсцисс откладываются логарифмы диаметров

частиц, а по оси ординат — процентное содержание фракций по их совокупности (суммарный процент) (рис. II-3).

Показанные на рис. II-2 и II-3 графики в гидрогеологии используются для определения по ним действующего или эффективного диаметра и коэффициента неоднородности породы.

Эффективным диаметром d_e называется такой диаметр, который имеют частицы однородной породы, эквивалентной по фильтрационным свойствам данной неоднородной породе. Этот диаметр соответствует такому диаметру частиц, меньше которого в неоднородной породе содержится 10% от суммы всех частиц.

Поэтому на графиках гранулометрического состава действующий (эффективный) диаметр определяется ординатой, равной 10%, через которую проводится линия параллельная оси абсцисс до пересечения с кривой гранулометрического состава. Точка пересечения через опущенный от нее перпендикуляр переносится на ось абсцисс, на которой и получают величину действующего диаметра исследуемой горной породы.

Коэффициентом неоднородности называется отношение диаметра частиц, соответствующего 60% к действующему диаметру, т. е.

$$K_н = \frac{d_{60}}{d_e}. \qquad (II\text{-}7)$$

Диаметр частиц, соответствующий 60%, на графике гранулометрического состава определяется так же, как и действующий диаметр.

При определении водопроницаемости пород по действующему диаметру коэффициент неоднородности не должен превышать 5.

Об однородности пород дает представление не только коэффициент неоднородности, но и общий характер кривых гранулометрического состава, а именно: более однородные породы обладают крутой кривой, менее однородные — сравнительно пологой кривой гранулометрического состава. Многочисленные исследования гранулометрического состава пород послужили основой для различных классификаций их по гранулометрии, наиболее широко применяемые из которых приводятся в табл. II-3, II-4 и II-5.

Таблица II-3

Общая классификация пород по гранулометрическому составу

Наименование фракций	Крупности	Размер частиц, *мм*
Валуны (окатанные) и камни (угловатые)	Крупные	> 800
	Средние	800—400
	Мелкие	400—200
Галька (окатанная) и щебень (угловатый	Очень крупные	200—100
	Крупные	100—60
	Средние	60—40
	Мелкие	40—20
Гравий (окатанный) и дресва (угловатая	Крупные	20—10
	Средние	10—4
	Мелкие	4—2
Песчаные частицы (песок)	Очень крупные	2—1
	Крупные	1—0,5
	Средние	0,5—0,25
	Мелкие	0,25—0,1
	Тонкие	0,1—0,05
Пылеватые частицы (пыль)	Крупные	0,05—0,01
	Мелкие	0,01—0,005
Глинистые частицы	Грубые	0,005—0,001
	Тонкие	< 0,001

Таблица II-4

Трехчленная классификация грунтов (горных пород) по гранулометрическому составу

(принята Всесоюзной дорожной конференцией в 1931 г.)

Название грунта	Содержание частиц, %		
	глинистых (<0,005 *мм*)	пылеватых (0,05—0,005 *мм*)	песчаных (2,0—0,05 *мм*)
Глина	>60	—	—
Глинистый грунт	60—30	—	—
Пылевато-глинистый грунт	60—30	Больше чем в каждой из двух других групп в отдельности	—
Тяжелый суглинок	30—20	—	Больше чем пылеватых
Средний суглинок	20—15	—	Больше чем пылеватых
Пылеватый тяжелый суглинок	30—20	Больше чем песчаных	—
Пылеватый средний суглинок	20—15	Больше чем песчаных	—
Легкий суглинок	15—10	—	Больше чем пылеватых
Пылеватый легкий суглинок	15—10	Больше чем песчаных	—
Супесь	10—3	—	Больше чем пылеватых
Пылеватый грунт	10—3	Больше чем песчаных	—
Пыль	<3	>50	—
Пылеватый песок	<3	50—20	—
Песок	<3	<20	—

Таблица II—5

Классификация сцементированных и несцементированных пород по гранулометрическому составу (К. Г. Оркин, П. К. Кучинский, 1955)

Породы		Содержание основных фракций, %				
несцементированные	сцементированные	Диаметр частиц, *мм*				
		>0,5	>0,25	>0,1	>0,01	<0,01
Гравий	Конгломерат (размер зерен >2,5 *мм*)	—	—	—	—	—
Песок весьма крупный	Песчаник весьма крупнозернистый (размер зерен 2,5—1,0 *мм*)	—	—	—	—	—
,, крупнозернистый	Песчаник крупнозернистый	>50	—	—	—	<10
,, среднезернистый	Песчаник среднезернистый	—	>50	—	—	<10
,, мелкозернистый	Песчаник мелкозернистый	—	—	>50	—	<10
,, тонкозернистый	,, тонкозернистый	—	—	—	>50	<10
,, глинистый	,, глинистый	—	—	—	—	<50
Глина песчаная	Сланец	—	—	—	—	>50
Глина	Сланец	—	—	—	—	>75

§ 3. ВЛАЖНОСТЬ

В природных условиях горные породы всегда содержат то или иное количество воды. При этом в почвах и породах, залегающих выше зеркала подземных вод, содержание воды в течение года резко меняется, в зависимости от изменения элементов гидролого-метеорологической обстановки. Ниже зеркала подземных вод влажность горных пород практически остается постоянной и является максимально возможной для этих пород, имеющих определенную пористость.

Естественная влажность определяется по образцам пород с ненарушенной структурой, т. е. в монолитах, отбираемых из шурфов и других выработок. Для предохранения влаги от испарения монолиты на месте их отбора парафинируются.

Величина естественной влажности определяется путем высушивания образца исследуемой горной породы до постоянного веса, причем количество содержащейся в породе воды выражают весовой и объемной влажностью.

Весовая влажность — отношение веса воды к весу сухой породы

$$W_в = \frac{q_в - q_с}{q_с} 100\%; \qquad \text{(II-8)}$$

где $W_в$ — естественная весовая влажность, %;
$q_в$ — вес образца исследуемой горной породы с естественной влажностью, *г*;
$q_с$ — вес образца той же породы, высушенной при 105—106° С.

Объемная влажность выражается объемом воды, содержащейся в 1 *см*³ влажной породы, и определяется по формуле

$$W_о = W_в \delta, \qquad \text{(II-9)}$$

где $W_о$ — объемная влажность, %;
$W_в$ — весовая влажность, %;
δ — объемный вес сухой породы, *г*/*см*³.

Кроме этих показателей естественной влажности горных пород, при гидрогеологических исследованиях определяется относительная влажность или коэффициент влажности породы, а также дефицит ее насыщения водой.

Коэффициентом влажности породы называется отношение объемной влажности данной породы к коэффициенту ее пористости

$$K_W = \frac{W_в \delta}{n}. \qquad \text{(II-10)}$$

Из формулы (II-10) следует, что для абсолютно сухой породы $K_W = 0$ при полном заполнении пор водой $K_W = 1$. По коэффициенту влажности песчаные горные породы разделяются на три вида:

1) сухие пески, когда $0 < K_W < {}^1/_3$;
2) влажные, когда ${}^1/_3 < K_W < {}^2/_3$;
3) мокрые до насыщения, когда ${}^2/_3 < K_W < 1$.

Дефицитом насыщения называется разность между полной влагоемкостью и естественной влажностью породы

$$d_н = W_{п.в} - W_в, \tag{II-11}$$

где $d_н$ — дефицит насыщения породы, %;
$W_{п.в}$ — полная влагоемкость данной породы, %;
$W_в$ — естественная влажность этой же породы, %.

§ 4. ВЛАГОЕМКОСТЬ, ВОДООТДАЧА И ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ

Влагоемкость. Влагоемкостью горных пород называют способность их принимать, вмещать и удерживать определенное количество воды. Характеризуется она коэффициентом влагоемкости, который выражается в весовых или объемных процентах. В первом случае он равняется отношению веса воды к весу сухой породы данного образца; во втором — отношению объема воды к объему образца.

Взаимосвязь между весовой и объемной влагоемкостями выражается формулой

$$W_{о.в} = W_{в.в}\delta, \tag{II-12}$$

где $W_{о.в}$ — коэффициент объемной влагоемкости, %;
$W_{в.в}$ — коэффициент весовой влагоемкости, %;
δ — объемный вес сухой породы, $г/см^3$.

Соответственно видам воды, содержащимся в горных породах, различают гигроскопическую, молекулярную, капиллярную и полную влагоемкость горных пород.

Гигроскопическая и молекулярная влагоемкости отвечают количеству гигроскопической и пленочной воды, удерживаемой на поверхности частиц горных пород электромолекулярными силами.

Капиллярная влагоемкость соответствует заполнению капиллярных пор водой; полная — полному насыщению горной породы водой.

Максимальная гигроскопическая влагоемкость характеризуется наибольшим количеством воды, которое может адсорбировать горная порода из воздуха, имеющего относительную влажность, равную 100%.

Максимальная молекулярная влагоемкость соответствует наибольшему количеству содержащейся в ней пленочной воды. Определяется она методами центрифугирования, влагоемких сред, высоких колонн.

При методе центрифугирования применяются так называемые суперцентрифуги, в которых создается центробежная сила в 70 000 g, удаляющая из образца горной породы всю свободную воду.

После центрифугирования в горной породе остается пленочная вода, количество которой и будет равняться максимальной молекулярной влагоемкости данной породы. Причем рассчитывается максимальная молекулярная влагоемкость по формуле

$$W_{м.в} = \frac{g_{м.в} - g_с}{g_с} 100, \tag{II-13}$$

где $W_{м.в}$ — коэффициент максимальной молекулярной влагоемкости, %;
$g_{м.в}$ — вес образца породы, содержащей пленочную воду, $г$;
$g_с$ — вес того же образца, высушенного при температуре 105—110° С.

Метод влагоемких сред применяется для определения максимальной молекулярной влагоемкости глинистых пород. По А. М. Васильеву [1953], он заключается в следующем:

а) породу в порошкообразном состоянии просеивают через сито 0,5 *мм*;

б) берут около 50 *г* просеянной породы и замешивают с водой до состояния густой кашицы;

в) на кусочек ткани (батиста, шелка, полотна) кладут металлическую пластинку-шаблон толщиной 2 *мм* с отверстием в центре диаметром 5 *см*;

г) отверстие шаблона заполняется приготовленной грунтовой массой, причем избыток ее, выступающий из отверстия, удаляется ножом, после чего шаблон снимают и полученную лепешку грунта покрывают сверху вторым кусочком ткани;

д) приготовленный таким путем образец грунта помещают между двумя слоями фильтровальной бумаги (каждый слой состоит из 20 листков);

е) поверх фильтровальной бумаги укладывают деревянные дощечки или металлические пластинки, толщина которых соответственно равна 10 и 5 *мм*;

ж) образец, заключенный между кусочками ткани, листами фильтровальной бумаги и дощечками или металлическими пластинками помещается под гидравлический пресс, на котором сжатие доводят до 65—70 *кг/см*^{2};

з) прессование ведут в течение 10 минут;

и) по окончании прессования удаляются дощечки, фильтровальная бумага и кусочки ткани;

к) устанавливается законченность водоотдачи грунта путем сгибания лепешки, хрупкость которой укажет на законченность, а мягкость — на незаконченность водоотдачи;

л) в случае незаконченности водоотдачи опыт повторяется при большей продолжительности прессования (до 30 мин);

м) по образцу породы, взятому из-под пресса, определяется максимальная молекулярная влагоемкость по формуле (II-13).

Метод высоких колонн применяется для определения максимальной молекулярной влагоемкости песков. Сущность его заключается в следующем.

Специальная составная колонна (рис. II-4) заполняется небольшими порциями исследуемого песка, который постукиванием по колонне и трамбованием несколько уплотняется.

Снизу через резиновую трубку песок в колонне насыщается водой до полной влагоемкости. Затем резиновая трубка отсоединяется и воде дают стечь. Для исключения испарения воды из верхних секций колонны верх ее должен быть герметизирован.

После полного прекращения гравитационного истечения воды из каждой секции колонны отбирают пробы песка и определяют его водонасыщенность. По данным этих определений строится график зависимости водонасыщенности песка от высоты взятия пробы (рис. II-4).

По графику устанавливается максимальная молекулярная влагоемкость, которая будет соответствовать среднему значению постоянной влажности песка (отрезок $W_{м.в.}$ на рис. II-4), находящегося в верхней части колонны.

По влагоемкости горные породы разделяются: на влагоемкие (торф, ил, глина, суглинки); слабо влагоемкие (мел, мергель, глинистый песок,

лёссовые породы) и невлагоемкие (монолитные магматические, метаморфические и осадочные горные породы; песок, гравий, галька).

Водоотдача. Водоотдача — способность горных пород, насыщенных до полной влагоемкости, отдавать часть воды путем свободного стекания под влиянием силы тяжести.

Водоотдача горных пород характеризуется коэффициентом водоотдачи, выражаемом в долях единицы или процентах. Коэффициент водоотдачи обычно определяется по формуле

$$\mu_в = W_{п.в} - W_{м.в}, \qquad (II\text{-}14)$$

где $\mu_в$ — коэффициент водоотдачи, %;
$W_{п.в}$ — полная влагоемкость, %;
$W_{м.в}$ — максимальная молекулярная влагоемкость, %.

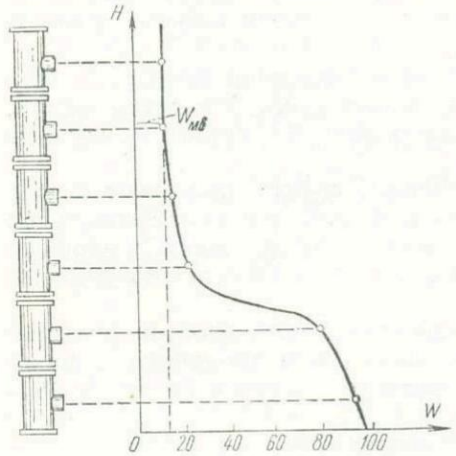


Рис. II-4. Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков методом высоких колонн.

Величина коэффициента водоотдачи зависит от гранулометрического состава пород, вязкости воды и продолжительности дренирования горной породы.

Средние значения коэффициента водоотдачи некоторых пород приведены в табл. II-6.

Водопроницаемость. Водопроницаемость горных пород — способность их пропускать через себя воду.

Таблица II-6

Средние значения коэффициента водоотдачи горных пород в долях единицы

(по О. Б. Скиргелло)

Порода	Коэффициент водоотдачи
Тонкозернистые пески и супеси	0,10—0,15
Мелкозернистые и глинистые пески	0,15—0,20
Среднезернистые пески	0,20—0,25
Крупнозернистые и гравелистые пески	0,25—0,35
Песчаники на глинистом цементе	0,02—0,03
Бурые угли	0,02—0,05
Известняки трещиноватые	0,008—0,10

Водопроницаемость зависит от размера сообщающихся между собой пор и трещин в горных породах и характеризуется коэффициентом фильтрации, имеющим размерность скорости (*см/сек*, *м/сек*, *м/сутки*).

Такая размерность получается из закона линейной фильтрации — закона Дарси, согласно которому количество фильтрующейся воды в единицу времени прямо пропорционально коэффициенту фильтрации (K), площади фильтрации (F) и гидравлическому градиенту (I) в первой степени, т. е.

$$Q = KFI. \qquad (II\text{-}15)$$

Разделив правую и левую части уравнения (II-15) на F, получим $\frac{Q}{F} = KI$, где $\frac{Q}{F} = v$ или

$$v = KI. \qquad \text{(II-16)}$$

Из формулы (II-16) следует, что коэффициент фильтрации есть скорость фильтрации при градиенте, равном единице

$$v = K \text{ при } I = 1. \qquad \text{(II-17)}$$

Формулой (II-17) определяется скоростная размерность коэффициента фильтрации горных пород.

Скорость фильтрации не равна действительной скорости движения подземных вод, которая имеет место в сообщающихся порах, трещинах и пустотах горных пород (см. гл. X).

Ниже в табл. II-7 приводятся ориентировочные значения коэффициента водопроницаемости (фильтрации) для некоторых горных пород (по А. М. Овчинникову).

Таблица II-7

Значения коэффициента фильтрации для некоторых горных пород
(по А. М. Овчинникову)

Наименование пород	Значение коэффициента фильтрации K, *м/сутки*
Галечники, крупнозернистые пески, крупнотрещиноватые и закарстованные породы (хорошо водопроницаемые породы)	10
Пески, трещиноватые породы (водопроницаемые породы) . . .	10—1
Мергели, песчаники, супеси (слабо водопроницаемые породы)	1—0,01
Глинистые песчаники, супеси, суглинки, магматические, метаморфические и осадочные породы с волосной трещиноватостью (весьма слабо проницаемые породы)	0,01—0,001
Глины, монолитные магматические, метаморфические и осадочные породы (практически непроницаемые или водоупорные породы)	<0,001

§ 5. КАПИЛЛЯРНОСТЬ

Как отмечалось, горные породы содержат в себе поры, пустоты и трещины различных форм и размеров. Мелкие поры обладают свойствами обычных капиллярных трубок и отличаются от последних только формой своего сечения и ориентировкой в пространстве.

Капиллярные поры то сообщаются, то разобщаются между собой и образуют в плоскости и пространстве сложную капиллярную сеть. В зоне, расположенной выше уровня подземных вод, развиваются капиллярные явления. В капиллярных порах горных пород поверхность воды приобретает вид мениска, обращенного выпуклостью к воде (рис. II-5). Силы поверхностного натяжения bb направлены при этом по касательной к шаровой поверхности мениска. Вертикальные составляющие cc сил поверхностного натяжения, как направленные в одну сторону, суммируются в силу P, под действием которой вода в капилляре поднимается до высоты $H_к$. Эта высота служит мерой капиллярности горных пород. Опре-

деляется она тремя способами: 1) по эмпирическим формулам; 2) опытным путем — в стеклянной трубке; 3) опытным путем — в капилляриметрах.

1. Для приближенного определения высоты капиллярного поднятия пользуются формулой Козени

$$H_к = 0{,}446\,\frac{1-n}{n}\cdot\frac{1}{d_e}, \qquad \text{(II-18)}$$

где $H_к$ — высота капиллярного поднятия, *см*;
n — общая пористость, в долях единицы;
d_e — действующий диаметр породы, *см*.

2. Опытным путем высоту капиллярного поднятия определяют в стеклянной трубке диаметром 2—3 *см*, снизу закрытой марлей. Трубка укрепляется на штативе и наполняется исследуемым песком. Нижний конец трубки на 0,5—1 *см* погружается в воду. Через определенный пе-

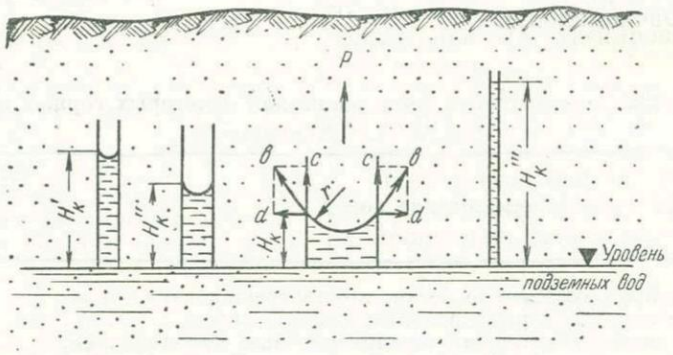


Рис. II-5. Схема капиллярного поднятия.

риод времени, зависящий от размера зерен песка, последний в зоне капиллярных явлений приобретает темную окраску, отличную от цвета сухого грунта. Длина столба песка с темной окраской равна высоте капиллярного поднятия $H_к$ (рис. II-6).

3. В капилляриметре Г. Н. Каменского [1] высота капиллярного поднятия определяется следующим путем (рис. II-7):

1) в съемный стакан *a*, вставляемый с притиркой в патрубок *b*, насыпают песок на высоту 10—12 *см*; песок несколько уплотняется путем легкого трамбования;

2) открывается зажим *1* и песок постепенно насыщается водой при закрытом зажиме *2*;

3) после полного насыщения песка водой, которое устанавливается по появлению над поверхностью его слоя воды в 0,5—1,0 *см*, зажим *2* немного открывается, при этом уровень воды в трубке *c* будет постепенно понижаться до тех пор, пока не произойдет легкий скачок уровня в этой трубке, соответствующий отрыву воды от песка в патрубке *b*. Положение уровня воды в трубке *c* в момент скачка, определяемое величиной H, соот-

[1] Конструкция капилляриметра нами несколько изменена.

ветствует высоте капиллярного поднятия воды в исследуемом песке. Для уточнения величины H опыт повторяется три раза.

В глинистых породах высота капиллярного поднятия определяется на капилляриметрах, близких по принципу действия к вышеописанному (капилляриметр В. И. Хаустова).

Высота и скорость капиллярного поднятия зависят от размера пор, температуры и минерализации воды, формы зерен и других факторов. Чем больше размер пор, тем меньше высота и больше скорость капиллярного поднятия и наоборот: чем выше температура, тем меньше высота капиллярного поднятия. С увеличением минерализации воды скорость поднятия падает. Характер растворенных в воде солей также имеет значение. При одной и той же концентрации воды скорость капиллярного поднятия, по данным С. П. Кравкова, убывает в последовательности

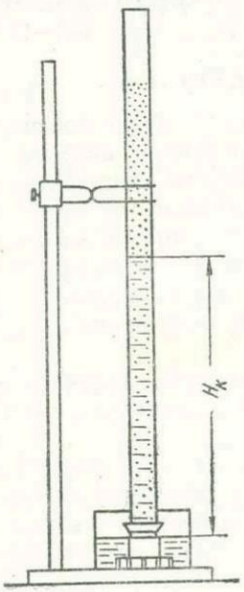


Рис. II-6. Определение высоты капиллярного поднятия в стеклянной трубке.

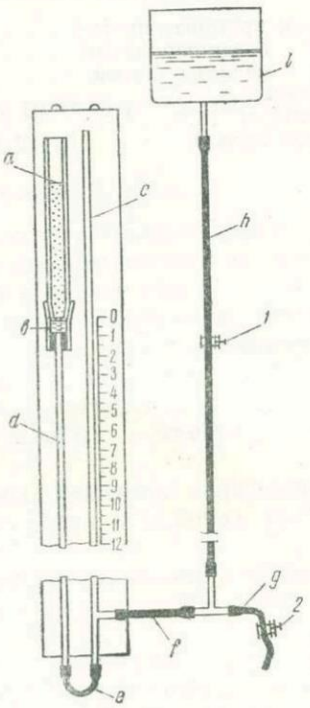


Рис. II-7. Капилляриметр системы Г. Н. Каменского (измененный).

a — стакан стеклянный с перфорированным дном (съемный), *b* — патрубок стеклянный; *c*, *d* — трубки стеклянные; *e*, *f*, *g*, *h* — трубки резиновые; *l* — напорная емкость; *1*, *2* — зажимы.

$$(H_2O - NH_4Cl - K_2SO_4 - (NH_4)_2SO_4 - NaNO_3 - NaCl - Na_2CO_3).$$

Определение высоты капиллярного поднятия в породах имеет большое практическое значение при изучении причин деформаций грунтов в дорожном деле, пучения грунтов при их промерзании, при заложении фундаментов сооружений на участках с близким залеганием подземных вод от поверхности земли.

В табл. II-8 приводятся цифровые значения высоты капиллярного поднятия для некоторых разностей пород.

Таблица II-8

Значения высоты капиллярных поднятий для некоторых горных пород

Наименование пород	Значение $H_к$, *см*
Песок крупнозернистый	2,0—3,5
» среднезернистый	12,0—35,0
» мелкозернистый	35,0—120,0
Супесь	120,0—350
Суглинок	350—650
Глина легкая	650—1200

Глава III

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ГИДРОГЕОЛОГИИ

§ 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Термические свойства горных пород и геотермические характеристики теплового режима земной коры имеют большое значение в гидрогеологии при решении многих вопросов, связанных с изучением:

1) температуры подземных вод отдельных районов в тесной связи с геологической историей развития последних и их климатическими, геоморфологическими и геолого-структурными условиями;

2) температуры естественных выходов подземных вод на поверхность, т. е. температуры вод пресных, соленых и минеральных источников;

3) температуры мерзлых горных пород, динамики мерзлотного процесса и температурного режима подземных вод в районах многолетней мерзлоты;

4) геологического строения районов распространения подземных вод;

5) разрезов глубоких нефтяных скважин в части выявления в разрезах водоносных горизонтов.

Перечисленные гидрогеологические и геологические задачи решаются по результатам термических исследований, заключающихся в изучении термических свойств горных пород и геотермических характеристик теплового режима земной коры.

Для производства термических исследований разработана специальная аппаратура, а также методика по определению тепловых свойств горных пород в лаборатории и скважинах, измерению температур в различных по глубине и конструкции скважинах и по обработке термических кривых (термограмм).

Описание аппаратуры, методики проведения термических исследований в скважинах и методов обработки результатов этих исследований входит в основном в задачу промысловой геофизики и подробно излагается в специальных руководствах.

Краткое описание приборов по измерению температуры подземных вод в источниках, скважинах и других водопунктах дается ниже (см. гл. XXXI). В данной же главе приводятся только те сведения, определения и формулы, знание которых необходимо гидрогеологу при оценке результатов термических наблюдений для гидрогеологических целей.

К таким сведениям относятся: 1) теплопроводность горных пород; 2) тепловое сопротивление их; 3) теплоемкость; 4) температуропроводность; 5) геотермический градиент и 6) геотермическая ступень.

§ 2. ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ГРАДИЕНТ И СТУПЕНЬ

Теплопроводность горных пород

Теплопроводность горных пород характеризуется коэффициентом теплопроводности или удельной теплопроводностью. Коэффициент теплопроводности в системе метр — килограмм — час равен количеству больших калорий тепла, проходящих в час через сечение 1 $м^2$ в направлении, перпендикулярном сечению, при градиенте температур в 1° $C/м$, т. е.

$$\lambda = \frac{Ql}{s(t_2 - t_1)\tau}, \qquad \text{(III-1)}$$

где λ — коэффициент теплопроводности, $\frac{ккал}{м/час\,°C}$;

Q — количество прошедшего тепла, *ккал*;

l — толщина слоя породы; *м*;

τ — время прохождения теплового потока;

s — площадь поверхности, через которую проходит тепловой поток, $м^2$;

$t_2 - t_1$ — разность температур на противоположных плоскостях слоя горной породы.

В табл. III-1 приводятся значения коэффициента теплопроводности некоторых горных пород, а также величина его для воздуха, нефти и воды.

Теплопроводность горных пород изменяется в зависимости от их структуры, влажности (влажность повышает теплопроводность), сложения (рыхлые породы с воздухом в порах обладают плохой теплопроводностью), слоистости (по слоистости теплопроводность больше, чем нормально слоистости) и других факторов.

Тепловое сопротивление горных пород

Тепловое сопротивление горных пород — величина, обратная теплопроводности

$$\xi = \frac{1}{\lambda}, \qquad \text{(III-2)}$$

где ξ — удельное тепловое сопротивление, $\frac{м/час\,°C}{ккал}$.

Величина удельного теплового сопротивления изменяется в зависимости от следующих факторов [В. Н. Дахнов и Д. И. Дьяконов, 1952]:

а) плотности пород — более плотные магматические, метаморфические и карбонатные осадочные породы имеют меньшее тепловое сопротивление, чем осадочные песчано-глинистые отложения;

б) влажности пород — сухие и газоносные породы обладают значительно большим тепловым сопротивлением, чем породы, насыщенные водой до полной влагоемкости;

в) фильтрационных свойств пород — с увеличением коэффициента фильтрации горных пород уменьшается их тепловое сопротивление, что главным образом обусловлено движущейся по порам подземной водой;

г) природы жидкости, содержащейся в порах горных пород (тепловое сопротивление водоносных горизонтов примерно в четыре с лишним раза превышает сопротивление нефтеносных горизонтов);

Таблица III-1

Коэффициент теплопроводности λ, удельное тепловое сопротивление ξ, теплоемкость c и коэффициент температуропроводности a некоторых горных пород, полезных ископаемых, минералов, воздуха

[В. Н. Дахнов и Д. И. Дьяконов, 1952]

Горные породы, полезные ископаемые, минералы, воздух	Коэффициент теплопроводности λ, $\frac{ккал}{м/час\,°C}$	Удельное тепловое сопротивление ξ, $\frac{м/час\,°C}{ккал}$	Теплоемкость c, $\frac{ккал}{кг\,°C}$	Коэффициент температуропроводности a, $\frac{м^2}{час} \cdot 10^3$
Андезит	1,1	0,91	—	—
Асбест	0,19	5,3	0,195	0,46
Базальт	1,5—1,7	0,59—0,67	0,203	2,7—3,0
Бронзитит	4,0	0,25	—	—
Вода	0,503	2,0	0,998	0,505
Воздух	0,02	50	0,248	—
Габбро	1,73	0,58	0,172	2,8—4,8
Габбро-сиенит	1,47	0,68	—	—
Гипс	0,35—0,65	1,54—2,85	0,275	1,1
Глина	0,86	1,17	0,18	$\sim$ 3,5
Глинистый сланец	1,33—1,88	0,53—0,75	0,184	$\sim$ 3,5
Гранит	2,09—3,1	0,323—0,479	0,155—0,190	2,2—2,7
Диабаз	2,88	0,35	0,167	5,9
Диорит	1,85—2,1	0,515	0,169	4,4
Доломит	4,3(?)—0,93	0,23—1,08	—	3,1
Железо	50—63,3	0,02—0,016	0,13	49,5
Известняк пористый	1,88	0,53	2,24	1,8—4,33
Известняк доломитизированный	1,30	0,77	—	—
Каменная соль	6,20	0,16	0,204	14,0
Кварц	2,15	0,47	0,165	4,9
Кварцит	4,8	0,208	0,167	4,32—11,2
Магнетит	10,8	0,093	—	—
Медь	324	0,0030	0,10	372,0
	330	0,0031		
Мергель	0,792—1,88	0,53—1,26	—	—
Мрамор	2,6—3,2	0,31—0,38	0,189	5,5
Нефть	0,12	8,35	0,5	0,25—0,31
Песок сухой	0,30	3,30	0,191	$\sim$ 0,72
Песок (влажность 20—25%)	2,95	0,34	—	—
	1,94			
Песчаник плотный	1,1—2,6	0,384—0,91	0,20	5,0
Сильвин	6,1—9,0	0,11—0,16	0,163	18,5
Слюда	0,31	3,2	—	—
Сфалерит	14,4	0,07	—	—
Туф	0,61—1,37	0,73—1,64	—	1,8—3,2
Уголь каменный	0,083—0,15	6,7—12,0	0,31	0,4
Угольная пыль	0,10	10	—	—
Уголь (антрацит)	0,18—0,24	4,2—5,5	—	—

Примечание. В осадочных породах в зависимости от их влажности действительные значения термических параметров могут отличаться от величин, указанных в таблице.

д) температуры горных пород — с увеличением температуры тепловое сопротивление пород возрастает, причем до 100° С оно изменяется незначительно, особенно для влажных пород, так как тепловое сопротивление воды с увеличением температуры уменьшается;

е) слоистости горных пород — по слоистости тепловое сопротивление ниже, чем нормально ей, что объясняется явлением анизотропии и движением подземных вод в направлении слоистости водоносных пород;

ж) практически не зависит от минерализации пластовых вод.

Значения величины удельного теплового сопротивления приведены в табл. III-1.

Теплоемкость горных пород

Теплоемкость горных пород характеризуется коэффициентом теплоемкости, который соответствует количеству тепла, затрачиваемому на нагревание 1 *кг* вещества на 1° С при постоянном давлении

$$c = \frac{\Delta Q}{p \Delta t}, \qquad \text{(III-3)}$$

где c — коэффициент теплоемкости, $\frac{ккал}{кг\,°C}$;

ΔQ — количество тепла, затраченное на нагревание вещества, *ккал*;

p — вес вещества, *кг*;

Δt — разность между начальной и конечной температурами при нагревании вещества, °С.

Значения коэффициента теплоемкости горных пород приведены в табл. III-1.

Температуропроводность горной породы

Температуропроводность горной породы — отношение коэффициента теплопроводности к произведению теплоемкости на плотность (объемный вес) породы

$$a = \frac{\lambda}{c\delta}, \qquad \text{(III-4)}$$

где a — величина температуропроводности, $\frac{м^2}{час}$;

c — теплоемкость, $\frac{ккал}{кг\,°C}$;

δ — плотность (объемный вес) породы.

Температуропроводность горных пород зависит от следующих факторов [В. Н. Дахнов и Д. И. Дьяконов, 1952]:

а) плотности горных пород — температуропроводность уменьшается с возрастанием плотности в пределах 1,4—3,0 $г/см^3$;

б) влажности горных пород — температуропроводность повышается с увеличением влажности, причем повышение происходит до некоторого предела влажности (различного для различных горных пород), выше которого температуропроводность понижается, так как при значительной влажности увеличивается теплоемкость пород (рис. Ш-1);

в) вида жидкости, содержащейся в породе; нефтеносные породы имеют более низкие значения температуропроводности, чем водоносные, так как тепловое сопротивление у нефти выше сопротивления воды;

г) температуры пород — температуропроводность уменьшается с увеличением температуры пород в связи с увеличением их теплового сопротивления и теплоемкости;

д) слоистости пород — по напластованию температуропроводность выше, чем нормально ему и

е) практически не зависит от минерализации пластовых вод.

Данные по температуропроводности горных пород приведены в табл. III-1.

Зависимости теплового сопротивления и температуропроводности горных пород от перечисленных факторов вместе с геотермическими характе-

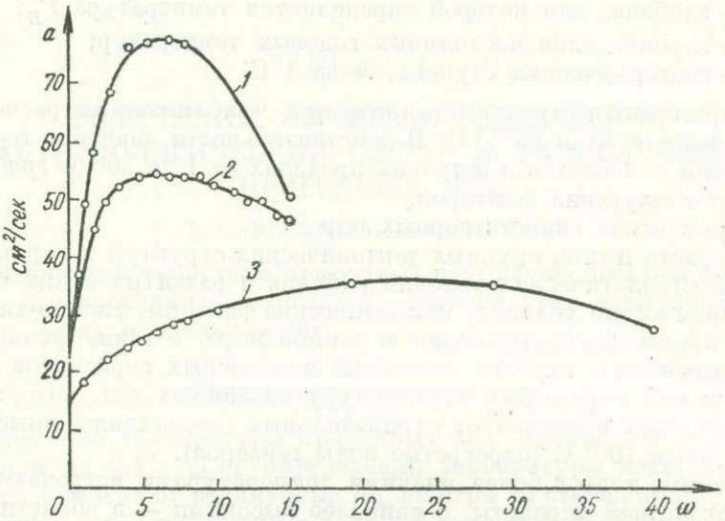


Рис. III-1. График изменения температуропроводности горных пород от их влажности (по В. Н. Дахнову и Д. И. Дьяконову). Зависимость температуропроводности a горных пород от влажности ω, %.

1 — мелкозернистый кварцевый песок; *2* — крупнозернистый кварцевый песок; *3* — глинистая почва.

ристиками теплового режима земной коры и используются в гидрогеологических целях (при изучении разрезов гидрогеологических структур, скважин, зоны многолетнемерзлых пород и др.).

Геотермический градиент

Геотермический градиент — величина, характеризующая повышение температуры на каждые 100 *м* углубления от зоны постоянной температуры.

Геотермическая ступень

Геотермическая ступень — величина, соответствующая углублению в метрах, при котором температура повышается на 1° С.

В связи с изменением интенсивности солнечного излучения тепловой режим первых 10—30 *м* земной коры характеризуется суточными и годовыми колебаниями. Ниже этой границы имеют место вековые колебания

температуры, которая с глубиной постепенно возрастает и на любой глубине приближенно может быть определена по формуле

$$T_H = t_в + \frac{H-h}{G}, \qquad \text{(III-5)}$$

где T_H — температура на глубине H;

$t_в$ — средняя температура воздуха в данной местности;

H — глубина, для которой определяется температура T_H;

h — глубина слоя постоянных годовых температур;

G — геотермическая ступень, *м* на 1° С.

Геотермическая ступень (средняя) при приближенных расчетах принимается равной 33 *м* на 1° С. В действительности значение геотермической ступени колеблется в широких пределах от 1 до 200 *м/град*, в зависимости от следующих факторов:

а) термических свойств горных пород;

б) возраста и типа крупных тектонических структур и горных пород;

в) гидрогеологических условий районов и развитых в них структур.

Геотермические условия, климатические факторы, физико-химические и другие процессы, протекающие в земной коре, а также условия питания, дренирования, глубина залегания водоносных горизонтов и движение воды в них определяют температуру подземных вод, которая колеблется в широких пределах от отрицательных (переохлажденные соленые воды) до более 100° С (перегретые воды гейзеров).

Подземные воды с более низкими температурами встречаются в области многолетней мерзлоты, с наиболее высокими — в области молодой вулканической деятельности и районах, где подземные воды по тектоническим трещинам поднимаются с больших глубин земной коры.

Глава IV

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ХИМИЧЕСКИЙ И БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ И РАДИОАКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ВОД

§ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К физическим свойствам природных вод, изучаемым при гидрогеологических исследованиях, относятся: температура, прозрачность, осадок, цвет, запах и удельный вес.

Определение температуры

Определение температуры природных вод производят термометром с делениями на 0,1°. Для определения температуры воды колодцев и источников применяют родниковые термометры со стаканчиком, для буровых скважин — так называемые ленивые термометры. Температуру воды в глубоких буровых скважинах измеряют максимальными термометрами. Пользоваться ими можно только в тех случаях, когда температура воды выше температуры воздуха на поверхности. Помимо ртутных, применяются электрические термометры (см. гл. XXXI).

Определение прозрачности

Качественное определение производят в пробирке, в которую налито 10 *мл* исследуемой воды.

Глядя сверху, определяют степень ее прозрачности. Для указания степени прозрачности служит следующая номенклатура: прозрачная, слабоопалесцирующая, опалесцирующая, слегка мутная, мутная, сильно мутная.

Количественное определение прозрачности производится в приборе, представляющем собой цилиндр с отъемным плоским пришлифованным дном, градуированный по высоте на сантиметры (рис. IV-1). Менее точно определение прозрачности может быть произведено в цилиндре Генера.

Исследуемую воду перед определением хорошо взбалтывают и наливают в цилиндр. Затем ставят цилиндр неподвижно над шрифтом для определения прозрачности, так чтобы шрифт находился на расстоянии 4 *см* от дна. Добавляя или отливая воду из цилиндра, находят предельную высоту столба воды, при которой чтение шрифта еще возможно. Определение производят в хорошо освещенном помещении на расстоянии 1 *м* от окна, не на прямом свету.

Прозрачность выражается в сантиметрах высоты столба с точностью до 0,5 *см*.

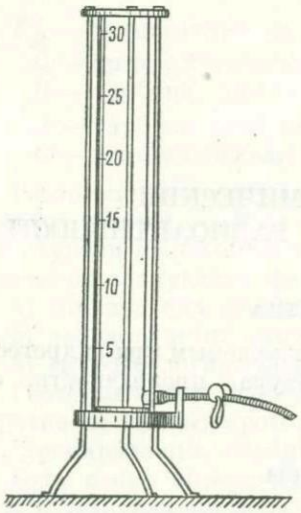


Рис. IV-1. Прибор для определения прозрачности воды.

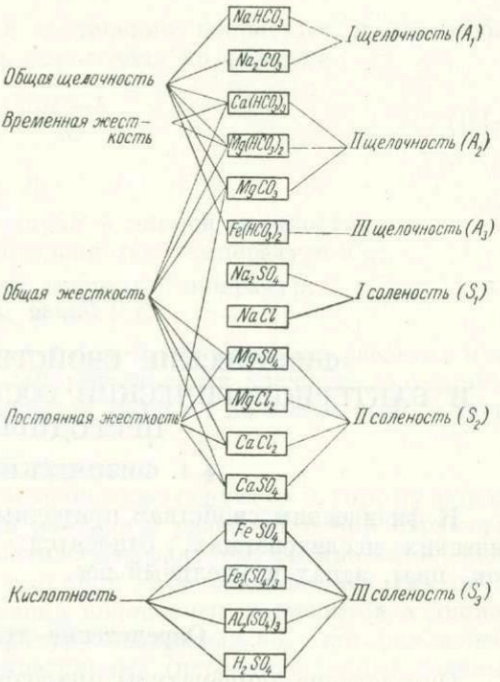


Рис. IV-1а. Схема химических свойств воды

Определение взвешенных веществ

Для определения взвешенных веществ хорошо взбалтывают 0,5—1 *л* воды и фильтруют ее через взвешенный тигель с пористым дном. Сушат тигель с осадком при температуре 105° до постоянного веса. Разница в весе дает вес взвешенных веществ во взятом для определения объеме воды.

Определение осадка и изменения воды при стоянии

Осадок характеризуется по количеству (нет, незначительный, заметный, большой) и по качеству (кристаллический, хлопьевидный, илистый, песчаный и т. д.) с указанием его цвета (бурый, желтый, черный и т. д.).

Отмечают изменение воды при стоянии: выпадение осадка, образование кристаллов на внутренней поверхности бутылок, образование мути, осветление и т. п.

Определение цвета

Качественное определение производят в прозрачной воде. Если вода непрозрачна, ее фильтруют. Пробирку наполняют исследуемой водой почти доверху, ставят на белую бумагу и, глядя сверху, определяют цвет. Цвет воды характеризуют следующим образом: бесцветная, зеленоватая, желтоватая, бурая и т. п.

Количественное определение производят сравнением исследуемой воды, налитой в цилиндр бесцветного стекла емкостью 100 *мл* и высотой 20 *см*, со стандартным платино-кобальтовым раствором, налитым в такой же цилиндр, при просмотре на белом фоне.

Определение запаха

Запах определяют при температуре 50—60° С.

Для определения запаха в полевых условиях наполняют исследуемой водой $^3/_4$ пробирки, нагревают до необходимой температуры, закрывают корковой пробкой, взбалтывают, открывают пробку и сразу нюхают. Характер запаха выражают описательно: без запаха, сероводородный, болотный, гнилостный, плесневелый и т. п. Интенсивность запаха оценивают по шкале, приведенной в табл. IV-1.

Таблица IV-1

Шкала запахов

Балл	Интенсивность	Описательные определения
0	Нет	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабый	Запах обычно незамечаемый, но обнаруживаемый опытным наблюдателем
2	Слабый	Запах обнаруживаемый, если на него обратить внимание потребителя
3	Заметный	Запах, который легко обнаруживается и может вызвать неодобрительную оценку воды
4	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание
5	Очень сильный	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья

Определение вкуса и привкуса

Незагрязненную воду подогревают примерно до 30°, набирают в рот около 15 *мл* и держат несколько секунд (проглатывать не следует).

Различают соленый, горький, сладкий и кислый вкус. Остальные вкусовые ощущения являются привкусами: хлорный, рыбный, металлический и др.

Определение удельного веса

Ориентировочное определение удельного веса производят с помощью ареометра, точное — с помощью пикнометра.

Удельный вес определяют при точно измеренной температуре, приближающейся к температуре воздуха лаборатории (15—20°). Результаты определения выражают в виде $D\frac{t}{t^\circ}$ и $D\frac{t}{4^\circ}$, т. е. отношение веса исследуемой воды при данной температуре к весу равного объема дистиллированной воды при той же температуре t°, или температуре 4°.

Определение ареометром

Воду вливают в чистый, сполоснутый этой же водой цилиндр, затем осторожно опускают ареометр. Необходимо следить за тем, чтобы ареометр не касался стенок цилиндра. Удельный вес воды отмечается на шкале ареометра. Одновременно измеряют температуру воды.

Определение с помощью пикнометра

Пикнометр, хорошо вымытый дистиллированной водой, а затем сполоснутый спиртом, сушат в термостате до полного удаления следов влаги, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на точных аналитических весах.

После взвешивания пикнометр наполняют дистиллированной водой несколько выше метки и погружают в стакан с водой, температура которой должна оставаться все время постоянной, например 18°. Выдерживают пикнометр в стакане с водой в течение 20—25 *мин.* Образовавшиеся на стенках пикнометра пузырьки воздуха удаляют осторожным встряхиванием; затем, не вынимая пикнометра из стакана, доводят воду в пикнометре до метки, отбирая избыток ее жгутиками из фильтровальной бумаги.

Пикнометр вынимают из стакана, закрывают пробкой, тщательно обтирают снаружи фильтровальной бумагой, помещают в футляр весов и через 20 мин. взвешивают. Этот же пикнометр, после удаления из него дистиллированной воды, споласкивают несколько раз исследуемой водой и при температуре, при которой он наполнялся дистиллированной водой, наполняют исследуемой водой. Затем выполняют все описанные выше операции для установления веса исследуемой воды.

Расчет удельного веса исследуемой воды $D_{\frac{18°}{18°}}$ и $D_{\frac{18°}{4°}}$ производится по формулам

$$D_{\frac{18°}{18°}} = \frac{(a-c)}{(b-c)}, \quad D_{\frac{18°}{4°}} = \frac{(a-c)\,0{,}998621}{(b-c)},$$

где a — вес пикнометра с исследуемой водой при $t° = 18°$;
c — вес пустого пикнометра;
b — вес пикнометра с дистиллированной водой при $t° = 18°$;
0,998621 — вес 1 *мл* дистиллированной воды при 18°.

Определение примерной минерализации воды по удельному весу

По удельному весу можно судить о примерной минерализации воды или рассола.

Зависимость между удельным весом воды и ее примерной минерализацией в градусах Боме выражается формулой

$$\gamma = \frac{145}{145-m},$$

где γ — удельный вес воды;
m — количество градусов Боме.

Один градус Боме соответствует 1% весового содержания в воде хлористого натрия. Минерализация воды в градусах Боме измеряется ареометром (солемером).

§ 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Природные воды являются растворами сложного состава и разнообразной минерализации, колеблющейся в пределах от единиц миллиграммов до сотен граммов в литре.

В природных водах найдено большинство из известных элементов, которые находятся в них в виде ионов, газов, недиссоциированных молекул и коллоидов.

Формирование состава природных вод происходит в результате выщелачивания, испарения, конденсации, ионного обмена, поглощения и выде-

ления газов, органической жизни и продуктов ее деятельности и других физико-химических процессов взаимодействия вод с породами, почвами и газами. Растворяющая способность воды делает ее важнейшим агентом в геохимических процессах перераспределения элементов в земной коре. Растворимость солей, составляющих главную массу солевого состава воды, приведена в табл. IV-2.

Таблица IV-2

Растворимость главнейших солей

Соли	Растворимость, *г/л*	Соли	Растворимость, *г/л*
$CaCO_3$	0,013	$MgSO_4$	202
$Ca(HCO_3)_2$	0,385	Na_2So_4	340
$MgCO_3$	0,120	K_2SO_4	100,3
Na_2CO_3	178,0	NaCl	263,9
K_2CO_3	215,0	KCl	255,0
$CaSO_4$	2,02	$MgCl_2$	353,0
		$CaCl_2$	427,0

По степени минерализации природные воды можно разделить на шесть групп: 1) ультрапресные — до 0,2 *г/л*; 2) пресные — от 0,2 до 1 *г/л*; 3) слабосолоноватые — от 1 до 3 *г/л*; 4) сильносолоноватые — от 3 до 10 *г/л*; 5) соленые — от 10 до 50 *г/л*; 6) рассолы — более 50 *г/л*.

Реакция воды

Водные растворы всегда содержат водородные и гидроксильные ионы. Концентрация водородных ионов определяет реакцию воды. Известно, что даже в химически чистой воде появляются ионы водорода в результате ее частичной диссоциации

$$H_2O \rightleftarrows H^{\cdot} + OH'.$$

В соответствии с законом действия масс имеет место следующая зависимость

$$\frac{[H^{\cdot}][OH']}{[H_2O]} = K,$$

где K — константа диссоциации, зависящая от температуры (при 22° С $K = 1{,}8 \cdot 10^{-16}$);

$[H^{\cdot}]$ — концентрация ионов водорода;

$[OH']$ — концентрация ионов гидроксила;

$[H_2O]$ — количество грамм-молей недиссоциированной воды в 1 *л*, равное $\frac{1000}{18}$.

Так как степень диссоциации воды чрезвычайно мала, то количество недиссоциированных молекул ее можно считать постоянным, тогда

$$[H^{\cdot}][OH'] = K[H_2O] = 10^{-14}.$$

При диссоциации молекулы чистой воды ионные концентрации водорода и гидроксила равны между собой. Количественно они выражаются величиной в 10^{-7}-*ион/л*. Реакция такой воды является строго нейтральной.

Для характеристики концентрации водородных ионов пользуются показателем pH, который принимается равным логарифму концентрации $[H^{\cdot}]$, взятому с обратным знаком, т. е.

$$pH = -\lg[H^{\cdot}].$$

Пример. $[H^{\cdot}] = 10^{-5}$, $pH = 5$ и т. п.

В табл. IV-3 приводятся значения pH воды в зависимости от содержания ионов водорода.

Таблица IV-3

Значение pH воды в зависимости от содержания ионов водорода

[H] в *г-ион/л*				pH				Реакция
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}		1	2	3		Кислая
10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}		4	5	6		Слабокислая
10^{-7}				7				Нейтральная
10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}		8	9	10		Слабощелочная
10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	11	12	13	14	Щелочная

Подземные воды в большинстве обладают слабощелочной реакцией; встречаются также воды с нейтральной реакцией, а в районах сульфидных, каменноугольных и других месторождений имеют распространение подземные воды с кислой реакцией.

Типы химических анализов воды

Химический анализ природных вод в практике гидрогеологических работ преследует задачи:

а) изучение закономерностей формирования и распространения природных вод различного состава;

б) исследование природных вод как поискового критерия на месторождения полезных ископаемых — нефти, газа, солей, меди, свинца, молибдена и др.;

в) оценка природных вод как химического сырья для получения йода, брома, бора, меди и других веществ;

г) оценка состава и свойств природных вод для питьевого, технического, сельскохозяйственного, лечебного и других видов использования.

Тип анализа воды зависит от его целевого назначения и требуемой точности.

Общую характеристику состава и свойств воды дает анализ со следующими определениями: физические свойства, pH, $CO_{2\,св}$, $CO_{2\,агр}$, H_2S, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot}$, $NH_4^{\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $K^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$, HCO_3', CO_3'', NO_2', NO_3', SO_4'', Cl', кремневая кислота, окисляемость, сухой остаток.

Полную характеристику воды дает анализ, включающий, помимо перечисленных, определения: $H^{\cdot}$, OH', HS', S_2O_3'', SO_3'', HBO_2, $Mn^{\cdot\cdot}$, $Al^{\cdot\cdot\cdot}$, O_2.

При проведении специальных исследований необходимы определения состава спонтанных и растворенных газов,[1] $Li^{\cdot}$, $Rb^{\cdot}$, $Cs^{\cdot}$, $Sr^{\cdot\cdot}$, $Ba^{\cdot\cdot}$, Br', J', F', HPO_4'', $HASO_4''$, $Bi^{\cdot\cdot\cdot}$, $Cu^{\cdot\cdot}$, $Pb^{\cdot\cdot}$, $Zn^{\cdot\cdot}$, $Cd^{\cdot\cdot}$, $Ni^{\cdot\cdot}$, $Co^{\cdot\cdot}$ и ионов некоторых других металлов, а также нафтеновых кислот, радиоактивности и т. д.[2].

Особое и важное место в исследовании природных вод занимают полевые анализы, выполняемые непосредственно у водоисточника или на базах геологических партий вскоре после отбора пробы воды.

Получить данные о количественном содержании в воде некоторых компонентов, относящихся к группе неустойчивых, можно только при условии определения их у водоисточника. Этими компонентами являются растворенные газы (O_2, CO_2, H_2S, N_2).

Формы выражения результатов анализа

Природная вода является более или менее разбавленным раствором солей, диссоциированных на свои ионы.

Основной формой выражения результатов анализа воды является ионная форма. При этом содержание того или иного иона выражается в граммах или миллиграммах на 1 *л* воды, а для минерализованных вод и рассолов — в граммах на килограмм или в граммах на 100 *г* (табл. IV-4).

Однако для полной характеристики свойств воды ионная форма выражения анализа недостаточна. Поэтому наряду с ионной формой пользуются миллиграмм-эквивалентной формой выражения анализа, наиболее полно отражающей внутреннюю химическую природу входящих в состав воды веществ и ее важнейшие свойства. Пересчет анализа, выраженного в ионной форме, в миллиграмм-эквивалентную производится делением количества миллиграммов каждого иона в 1 *л* воды на его эквивалентный вес. Полученные величины называются миллиграмм-эквивалентами или милливалями. Сумма миллиграмм-эквивалентов для катионов и анионов должна быть одинаковой, поскольку каждому эквиваленту катиона отвечает эквивалент аниона[3].

При сравнении анализов вод различной минерализации для получения пропорциональных величин количество миллиграмм-эквивалентов пересчитывают в проценты эквивалентов (% экв.).

Пересчет в проценты эквивалентов производится следующим образом. Суммы миллиграмм-эквивалентов, полученных при анализе для катионов и анионов, принимаются каждая в отдельности за 100, и далее относительное количество эквивалентов каждого иона вычисляются в процентах.

---

[1] В газах определяются: $H_2S + CO_2$; O_2; CH_4; $N_2 +$ редкие; $Ar + Kr + Xe$; $He + Ne$ и тяжелые углеводороды. *Научн. ред.*

[2] В настоящее время важное значение приобретает спектральный анализ вод, который следует внедрять в практику, особенно при детальных и специальных гидрогеологических исследованиях. *Научн. ред.*

[3] В правильно произведенных химических анализах воды сумма миллиграмм-эквивалентов анионов должна либо равняться сумме миллиграмм-эквивалентов катионов, либо отличаться от общей их суммы не более чем на 5%. Анализы, имеющие бóльшую разницу, должны рассматриваться как неполноценные. *Научн. ред.*

Таблица IV-4

Анализ воды, выраженный в *мг/л*, *мг-экв*, % экв.

Ионы	*мг/л*	*мг-экв*	% экв.
$Ca^{\cdot\cdot}$	95,3	4,75	44,86
$Mg^{\cdot\cdot}$	42,4	3,48	32,86
$K^{\cdot}$	15,5	0,40	3,78
$Na^{\cdot}$	45,1	1,96	18,50
Сумма	198,3	10,59	100,0
SO_4''	18,9	0,39	3,68
Cl'	3,2	0,09	0,84
HCO_3'	617,0	10,11	95,48
Сумма	639,1	10 59	100,0

Выражение результатов анализа воды в солевой форме условно; вычисленные соли являются гипотетическими.

Однако в ряде случаев, например, при анализе рассолов и минеральных вод, эта форма используется. Если хотят выразить анализ в форме гипотетических солей, то придерживаются следующей схемы.

1. Br', J', S_2O_3'', HS' соединяются с $Na^{\cdot}$ в $NaBr$, NaJ, $Na_2S_2O_3$, $NaHS$;

2. $Sr^{\cdot\cdot}$ и $Ba^{\cdot\cdot}$ соединяются с HCO_3' в $Sr(HCO_3)_2$ и $Ba(HCO_3)_2$. Если ион HCO_3' отсутствует, то $Ba^{\cdot\cdot}$ соединяется с Cl' в $BaCl_2$, $Sr^{\cdot\cdot}$ с SO_4'' в $SrSO_4$, а при отсутствии SO_4'' — с Cl' в $SrCl_2$;

3. $NH_4^{\cdot}$, $Rb^{\cdot}$, $Cs^{\cdot}$ соединяются с Cl' в NH_4Cl, $RbCl$, $CsCl$;

4. $Li^{\cdot}$ соединяется в щелочных водах с HCO_3' в $LiHCO_3$, а в остальных с Cl' в $LiCl$.

5. Алюминий обыкновенно дается в виде Al_2O_3. В купоросных водах, имеющих $pH < 4{,}0$, он соединяется с HPO''_4 в $Al_2(HPO_4)_3$, а остаток $Al^{\cdot\cdot\cdot}$ соединяется с SO''_4 в $Al_2(SO_4)_3$;

6. $HASO_4''$ соединяется с $Ca^{\cdot\cdot}$ в $CaHASO_4$;

7. Железо закисное в водах, содержащих гидрокарбонатный ион, соединяется с HCO_3' в $Fe(HCO_3)_2$, а окисное железо дается в виде Fe_2O_3. В купоросных водах железо соединяется с SO_4'' в $FeSO_4$ и $Fe_2(SO_4)_3$;

8. Кремневая кислота дается в виде H_2SiO_3, а в водах со значениями pH выше 8,5 выражается в виде иона $HSiO_3'$. В этом случае для пересчета в солевую форму придерживаются схемы, приведенной в п. 11; при этом ион $HSiO_3'$ помещают между SO_4'' и HCO_3';

9. Борная кислота выражается в виде HBO_2;

10. Свободная углекислота и сероводород даются в виде CO_2 и H_2S;

11. Остальные ионы соединяются по следующей схеме: анионы — NO_3', Cl', SO_4'', CO_3'', HCO_3', OH'; катионы — $K^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot}$, $Mn^{\cdot\cdot}$.

В табл. IV-5 представлен результат пересчета в солевую форму анализа воды, приведенного в табл. IV-4.

Таблица IV-5

Анализ воды, выраженный в форме гипотетических солей

Гипотетические соли	*мг/л*	*мг/экв*
KCl	6,8	0,09
K_2SO_4	27,3	0,31
Na_2SO_4	5,6	0,08
$NaHCO_3$	158,0	1,88
$Mg(HCO_3)_2$	254,7	3,48
$Ca(HCO_3)_2$	385,0	4,75
Сумма	837,4	10,59

§ 3. ХИМИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ

Разнообразие химического состава природных вод вызывает необходимость их систематизации и классификации. Ниже приводится краткое описание некоторых классификаций.

Классификация по соотношению анионов и катионов

Классификация разработана Пальмером. Она построена по принципу соотношения различных групп анионов и катионов, вызывающих характерные свойства природных вод. Выделяются пять групп катионов и анионов и шесть характерных свойств. Данные анализа выражаются в процент-эквивалентной форме.

Группа катионов и анионов

Группа a — сумма процентов эквивалентов катионов щелочных металлов ($Na^{\cdot} + K^{\cdot} + Li^{\cdot}$).

Группа e — сумма процентов эквивалентов катионов щелочноземельных металлов ($Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot} + Ba^{\cdot\cdot}$).

Группа S — сумма процентов эквивалентов анионов сильных кислот ($SO_4'' + Cl' + NO_3'$).

Группа A — сумма процентов эквивалентов анионов слабых кислот ($CO_3'' + HCO_3' + HS' + HSiO_3'$).

Группа m — сумма процентов эквивалентов водорода и катионов тяжелых металлов ($H^{\cdot} + Fe^{\cdot\cdot} + Fe^{\cdot\cdot\cdot}$).

Характерные свойства воды

1. Первая щелочность A_1 (щелочность)	Вызывается гидрокарбонатами и карбонатами щелочных металлов
2. Вторая щелочность A_2 (временная жесткость и щелочность)	Вызывается гидрокарбонатами и карбонатами щелочноземельных металлов.
3. Третья щелочность A_3 (щелочность)	Вызывается гидрокарбонатами тяжелых металлов
4. Первая соленость S_1 (соленость)	Вызывается сульфатами и хлоридами щелочных металлов
5. Вторая соленость S_2 (соленость, постоянная жесткость)	Вызывается сульфатами и хлоридами щелочноземельных металлов
6. Третья соленость S_3 (кислотность)	Вызывается сульфатами и хлоридами тяжелых металлов

На рис. IV-1а изображена схема свойств воды, иллюстрирующая шесть характеристик Пальмера.

Пять классов вод по Пальмеру

I. Сумма процентов эквивалентов анионов сильных кислот меньше суммы процентов эквивалентов катионов щелочных металлов: $S < a$.

II. Сумма процентов эквивалентов анионов сильных кислот равна сумме процентов эквивалентов катионов щелочных металлов: $S = a$.

III. Сумма процентов эквивалентов анионов сильных кислот больше суммы процентов эквивалентов катионов щелочных металлов, но меньше суммы процентов эквивалентов катионов щелочных и щелочноземельных металлов: $a + e > S > a$.

IV. Сумма процентов эквивалентов анионов сильных кислот равна сумме процентов эквивалентов катионов щелочных и щелочноземельных металлов: $S = a + e$.

V. Сумма процентов эквивалентов анионов сильных кислот больше суммы процентов эквивалентов катионов щелочных и щелочноземельных металлов: $S > a + e$.

Каждый из этих классов характеризуют не более, чем четыре свойства (табл. IV-6).

Таблица IV-6

Свойства пяти классов по Пальмеру

Класс	Свойства	Класс	Свойства	Класс	Свойства
I	1-я соленость S_1 1-я щелочность A_1 2-я щелочность A_2 3-я щелочность A_3	II	1-я соленость S_1 2-я щелочность A_2 3-я щелочность A_3	III	1-я соленость S_1 2-я соленость S_2 2-я щелочность A_2 3-я щелочность A_3
IV	1-я соленость S_1 2-я соленость S_2 3-я щелочность A_3			V	1-я соленость S_1 2-я соленость S_2 3-я соленость S_3

I к л а с с — воды щелочные, образующиеся при растворении продуктов выветривания изверженных пород в результате процессов обменной адсорбции кальция на натрий. Характерны для вод некоторых нефтяных месторождений.

II к л а с с — промежуточный между классами I и III.

III к л а с с — воды с постоянной и временной жесткостью. Воды коры выветривания.

IV к л а с с — воды только с постоянной жесткостью. Содержат преимущественно хлориды и сульфаты щелочных металлов. Воды морей и соленых озер.

V класс — кислые воды. Содержат сульфаты железа, алюминия и тяжелых металлов. Воды окисленной зоны рудных месторождений.

Пересчет результатов анализа по Пальмеру производится путем комбинирования процентов эквивалентов катионов и анионов по вышеизложенному принципу. Ниже приводится пример пересчета анализа воды, приведенного в табл. IV-4.

1-я соленость 3,68 + 0,84	4,52
2-я и 3-я солености	Нет
1-я щелочность (18,50 + 3,78) — 4,52	17,76
2-я щелочность (44,86 + 32,86)	77,72
	100,0%

Вода, таким образом, должна быть отнесена к I классу.

Классификация Пальмера позволяет объединить многочисленные и разнообразные по химическому составу природные воды в небольшое число групп. Вместе с тем эта классификация в значительной степени схематична.

В пределах каждого из пяти классов воды значительно различаются по составу. Объединение в одну группу сульфатов и хлоридов исключает возможность выделения широко распространенных хлоридов и сульфатных вод, характерных для различных геологических условий.

Второй класс легко исчезает в результате возможных неточностей при анализе воды. В четвертом классе отсутствуют ионы HCO_3' и CO_3'', между тем в морских водах, которые относятся к этому классу, эти ионы содержатся.

Для графического изображения классификации вод по Пальмеру используется график (рис. IV-2), представляющий собой три равных горизонтальных столбика, каждый из которых разделен на 100 равных частей. На верхнем столбике откладываются проценты эквивалентов катионов ($K^{\cdot} + Na^{\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot} + Ca^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot}$, $Mn^{\cdot\cdot}$ и других тяжелых металлов), на нижнем — проценты эквивалентов анионов (NO_3', Cl', SO_4'', HCO_3', CO_3''). На среднем столбике откладывают характерные свойства воды.

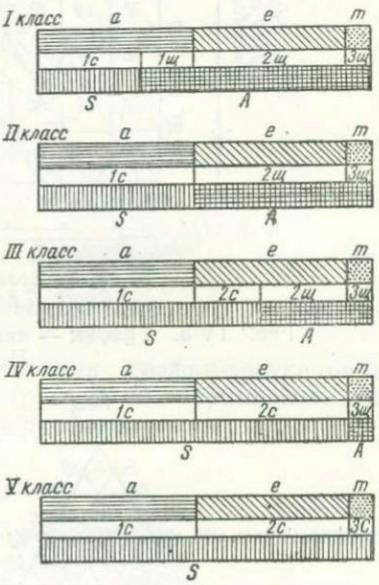


Рис. IV-2. График пяти классов воды по Пальмеру.

Нумерация природных вод Н. И. Толстихина

Классификация Толстихина, известная под названием «Нумерация природных вод», не только выделяет некоторые группы, но охватывает все разнообразие вод, встречающихся в природе.

Сущность нумерации заключается в том, что вычисленные в процентах эквивалентов группы катионов и анионов наносят на диаграмму, изображенную на рис. IV-3.

Диаграмма представляет собой квадрат, который разделен на десять вертикальных и десять горизонтальных рядов, образующих сто малых квадратов. Каждый квадрат имеет свой номер. Для определения номера воды поступают следующим образом.

На горизонтальной стороне квадрата слева направо откладывают сумму процентов эквивалентов ($Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot} + Fe^{\cdot\cdot}$), или справа налево — сумму процентов эквивалентов ($Na^{\cdot} + K^{\cdot}$). На вертикальной стороне снизу вверх откладывают сумму процентов эквивалентов ($HCO_3' + CO_3''$), или сверху вниз — сумму процентов эквивалентов ($SO_4'' + Cl'$). Точка пересечения ординаты и абсциссы указывает на состав данной воды. Вода получает номер того малого квадрата, в который попадает точка ее анализа.

Определить номер воды можно и арифметическим путем. Для этого округляют единицы процентов эквивалентов группы $Na^{\cdot} + K^{\cdot}$ до полного десятка и полученное число десятков складывают с процентами эквивалентов группы $SO_4'' + Cl'$. При этом, если последняя группа окажется однозначным числом, она в расчет не принимается.

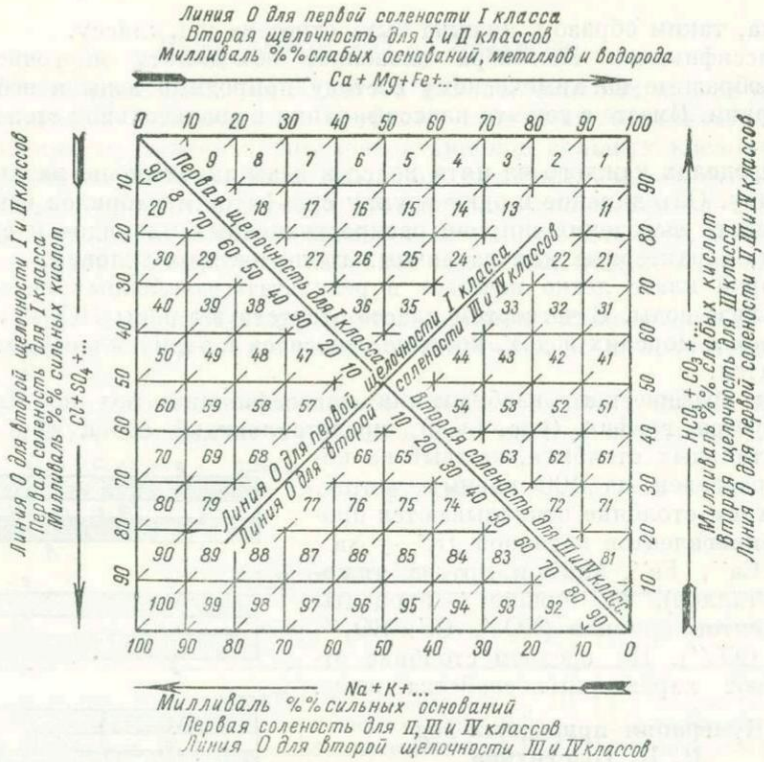


Рис. IV-3. График — квадрат нумерации природных вод (по Н. И. Толстихину).

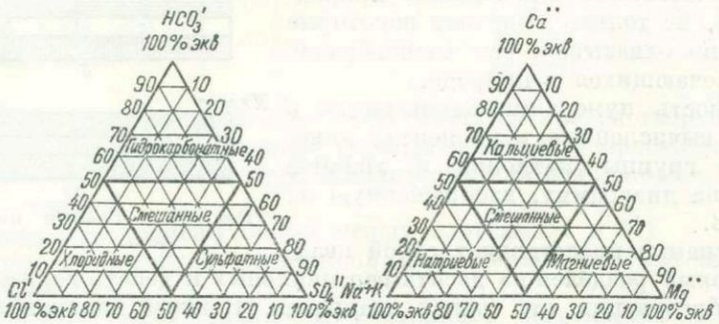


Рис. IV-4. График — треугольник для анионов и катионов.

Пример расчета. Группа $Na' + K'$ равна 54, число принимается равным 6. Группа $SO_4'' + Cl'$ равна 49, число принимается равным 5. В приводимом примере вода по графику (рис. IV-3) будет иметь сорок шестой номер. Анализ воды, приведенный в табл. IV-4, будет иметь третий номер. В нем группа $Na' + K'$ равна (18,50 + 3,78) 22,28 и число десятков в этой группе принимается равным 3. Группа $SO_4'' + Cl'$ представлена однозначным числом 4,52 и в расчет не принимается.

На основании номера воды можно заключить о сумме процентов эквивалентов групп *a*, *e*, *S*, *A* и о принадлежности воды к I, II, III и IV классам Пальмера.

Номер воды не характеризует количества SO_4'', и Cl', а дает их сумму. Н. И. Толстихин рекомендует устранить этот недостаток путем написания за номером воды количества процентов эквивалентов SO_4''.

Как дополнение к нумерации вод представляет интерес составление графиков-треугольников отдельно для катионов и анионов (рис. IV-4).

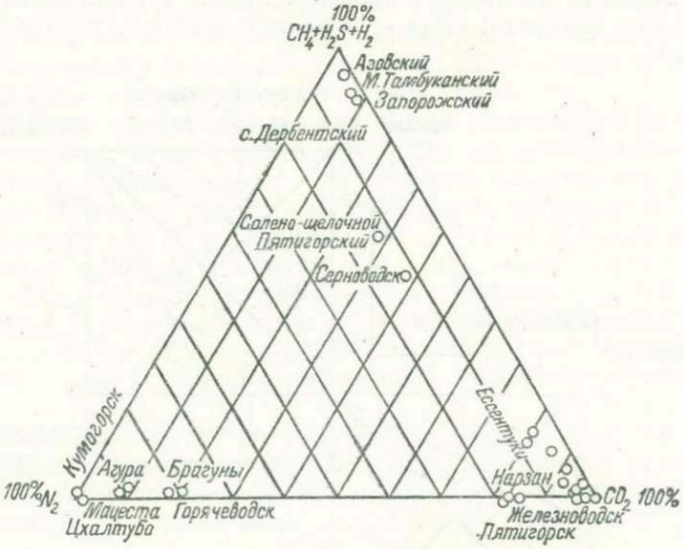


Рис. IV-5. График — треугольник для газов

Для газов Н. И. Толстихиным предложен график-треугольник, стороны которого разделены на 100 частей (рис. IV-5). Применение последнего сходно с применением графика-квадрата.

Диаграмма В. А. Сулина

В. А. Сулин выделяет четыре генетических типа вод по их специфическим особенностям (табл. IV-7).

Первый и второй типы являются континентальными, третий тип — морской, четвертый — генетически связан с подземными водами глубоких недр. Согласно с этим Сулин предложил диаграмму, которая состоит из четырех объединенных графиков (рис. IV-6).

Для ее построения используются коэффициенты

$$\frac{r\mathrm{Na}^{\cdot}-r\mathrm{Cl}'}{r\mathrm{SO_4}''} \text{ и } \frac{r\mathrm{Cl}'-r\mathrm{Na}^{\cdot}}{r\mathrm{Mg}^{\cdot\cdot}}.$$

Таблица IV-7

Генетические типы вод по В. А. Сулину

Тип воды	Отношение процентов эквивалентов
I. Сульфатнонатриевый	$(r\mathrm{Na}^{\cdot}-r\mathrm{Cl}'):r\mathrm{SO_4}''<1$
II. Гидрокарбонатнонатриевый	$(r\mathrm{Na}^{\cdot}-r\mathrm{Cl}'):r\mathrm{SO_4}''>1$
III. Хлормагниевый	$(r\mathrm{Cl}'-r\mathrm{Na}^{\cdot}):r\mathrm{Mg}^{\cdot\cdot}<1$
IV. Хлоркальциевый	$(r\mathrm{Cl}'-r\mathrm{Na}^{\cdot}):r\mathrm{Mg}^{\cdot\cdot}>1$

В прямоугольной системе координат по оси ординат откладывают значения разности процентов эквивалентов: вверх $Cl' - Na^{\cdot}$, вниз $Na^{\cdot} - Cl'$. По оси абсцисс откладывают количество процентов эквивалентов: направо $Mg^{\cdot\cdot}$, налево SO_4''. Предельное значение каждой величины 50 или 100%.

Из конечной точки абсцисс проводят линии, параллельные их осям. Образуются два квадрата: один — в правом верхнем, другой — в левом нижнем углу.

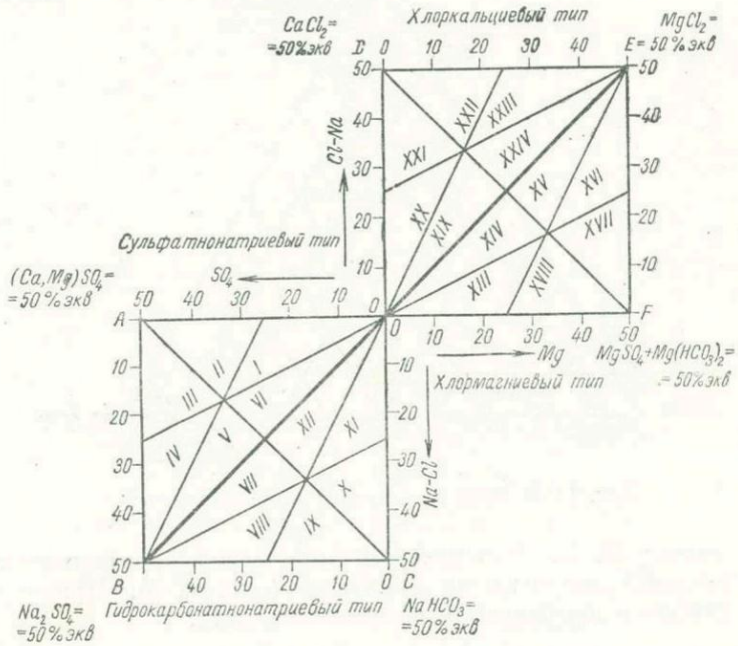


Рис. IV-6. График В. А. Сулина.

Лучи, проведенные из начальной точки координат, образуют углы с осью абсцисс. Тангенсы этих углов в правом верхнем квадрате соответствуют значениям $\frac{rCl' - rNa^{\cdot}}{rMg^{\cdot\cdot}}$, в нижнем левом квадрате — значениям $\frac{rNa^{\cdot} - rCl'}{rSO_4''}$.

Луч, проведенный в верхнем правом квадрате под углом 45° к линии абсцисс, отвечает значению $\frac{rCl' - rNa^{\cdot}}{rMg^{\cdot\cdot}} = 1$. Этот луч делит верхний квадрат на два треугольных поля.

В нижнем правом треугольнике верхнего квадрата воды имеют $\frac{rCl' - rNa^{\cdot}}{rMg^{\cdot\cdot}} < 1$.

Соответственно воды, имеющие $\frac{rCl' - rNa^{\cdot}}{rMg^{\cdot\cdot}} > 1$, размещаются в верхнем левом треугольнике.

Таким образом, нижний треугольник верхнего квадрата представляет поле распространений хлормагниевых вод. Верхний треугольник верхнего квадрата соответственно ограничивает область существования хлоркальциевых вод.

Луч, проведенный в нижнем левом квадрате под углом 45° к линии абсциссы, отвечает значению $\frac{rNa^{\cdot} - rCl'}{rSO_4''} = 1$. Этот луч также делит нижний

квадрат на два треугольника: верхний ограничивает сульфатнонатриевые воды, имеющие $\frac{r\mathrm{Na}^{\cdot} - r\mathrm{Cl}'}{r\mathrm{SO_4}''} < 1$, нижний — гидрокарбонатнонатриевые с $\frac{r\mathrm{Na}^{\cdot} - r\mathrm{Cl}'}{r\mathrm{SO_4}''} > 1$.

Таким образом выделяются четыре поля соответственно четырем типам вод: поле *AOB* — воды сульфатнонатриевого типа; поле *BOC* — воды гидрокарбонатнонатриевого типа; поле *OEF* — воды хлормагниевого типа; поле *OED* — воды хлоркальциевого типа.

Если в обоих квадратах провести вторые диагонали и линии, исходящие из начала координат и противолежащих ему углов квадратов, к серединам противоположных сторон, то в каждом из основных полей образуется шесть дополнительных, а всего 24 поля, отвечающих выделенным Сулиным провинциям (зонам) и областям (этажам) природных вод.

На линии *AB* располагаются воды, содержащие только сульфаты, на линии *BC* — только натриевые воды, лишенные других катионов.

В точке *A* представлены воды, содержащие только сульфаты кальция и магния; в точке *B* — воды, содержащие только сульфат натрия; в точке *O* — воды, содержащие только карбонат и гидрокарбонат натрия.

В точке *O* имеем: $\mathrm{Na}^{\cdot} - \mathrm{Cl}' = 0$, $\mathrm{Cl}' - \mathrm{Na}^{\cdot} = 0$ и $\mathrm{Na}^{\cdot} = \mathrm{Cl}'$. Эта точка перехода вод в хлормагниевый и хлоркальциевый типы.

На линии *EF* располагаются магниевые воды, лишенные других катионов; на линии *DE* — воды, содержащие только хлориды кальция и магния.

В точке *E* представлены воды, содержащие только хлориды магния; в точке *F* — воды, имеющие сульфат, карбонат и гидрокарбонат магния: в точке *D* — воды, содержащие только хлориды кальция.

Классификация С. А. Щукарева

Классификация Щукарева позволяет просто и удобно сравнивать химический состав природных вод. Она основана на принципе преобладания одного или нескольких из трех главных катионов ($\mathrm{Na}^{\cdot}$, $\mathrm{Ca}^{\cdot\cdot}$, $\mathrm{Mg}^{\cdot\cdot}$) и трех главных анионов (Cl', $\mathrm{SO_4}''$, $\mathrm{HCO_3}'$). Принадлежность воды к тому или иному классу определяется содержанием перечисленных ионов в количестве более 25% экв. (суммы процентов эквивалентов катионов и анионов принимаются каждая по 100).

$Mg^{\cdot\cdot}$	1	8	15	22	29	36	43
$Ca, Mg^{\cdot\cdot}$	2	9	16	23	30	37	44
$Ca^{\cdot\cdot}$	3	10	17	24	31	38	45
$Na\ Ca^{\cdot\cdot}$	4	11	18	25	32	39	46
$Na^{\cdot}$	5	12	19	26	33	40	47
$Na, Ca, Mg^{\cdot\cdot}$	6	13	20	27	34	41	48
$Na, Mg^{\cdot\cdot}$	7	14	21	28	35	42	49
	$SO_4'' Cl'$	SO_4''	HCO_3'	HCO_3'	Cl'	SO_4''	Cl' SO_4''
	HCO_3'	HCO_3'		Cl'			

Рис. IV-7. Схема классификации С. А. Щукарева.

По преобладающим главным анионам воде присваивают названия: хлоридная, сульфатная, гидрокарбонатная, хлоридносульфатная, хлоридногидрокарбонатная, сульфатногидрокарбонатная и хлоридносульфатногидрокарбонатная.

По преобладающим катионам воде присваиваются названия: натриевая, магниевая, кальциевая, натриевомагниевая, натриевокальциевая, магниевокальциевая и натриевомагниевокальциевая. Комбинируя последовательно типы вод по содержанию анионов

с типами вод по содержанию катионов, получаем 49 классов вод (рис. IV-7).

По общей минерализации каждый класс разделен на группы: *A* — до 1,5 *г/л*; *B* от 1,5 до 10 *г/л* и *C* — более 10 *г/л*.

Классификация О. А. Алекина

Классификация Алекина сочетает принцип деления по преобладающим ионам и по соотношению между ними. Она охватывает все природные воды с минерализацией до 50 *г/кг*. За основу взято шесть главных ионов, содержание которых выражено в миллиграмм-эквивалентах.

Все воды делятся по преобладающему аниону на три больших класса: гидрокарбонатные (и карбонатные) воды ($HCO_3' + CO_3''$), сульфатные (SO_4'') и хлоридные (Cl'). Класс гидрокарбонатных вод объединяет

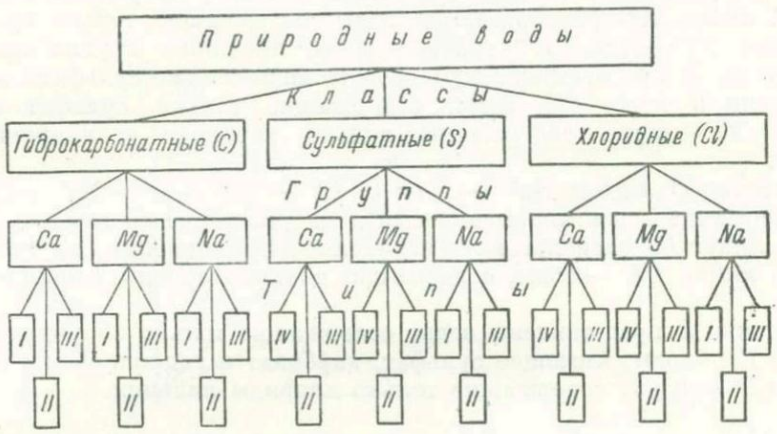


Рис. IV-8. Схема классификации О. А. Алекина.

мало минерализованные воды рек, пресных озер, значительное количество подземных вод и немногие озера с повышенной минерализацией (с содержанием в воде иона CO_3''). Класс хлоридных вод объединяет минерализованные воды морей, лиманов, реликтовых и материковых озер, подземные воды солончаковых районов, пустынь и полупустынь. Сульфатные воды по распространению и минерализации занимают промежуточное место между гидрокарбонатным и хлоридным классами.

Разделение на классы уточняется дальнейшим делением каждого класса на три группы по преобладанию одного из катионов $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $K^{\cdot}$. Каждая группа подразделяется на три типа по соотношению между миллиграмм-эквивалентами ионов. Всего типов четыре (рис. IV-8).

Первый тип характеризуется соотношением: $HCO_3' > Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$. Воды этого типа мало минерализованы. Для них характерен избыток ионов HCO_3' — над суммой ионов щелочноземельных металлов.

Второй тип характеризуется соотношением: $HCO_3' < Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot} < HCO_3' + SO_4''$. К этому типу относятся подземные воды, а также воды рек и озер малой и средней минерализации.

Третий тип характеризуется соотношением: $HCO_3' + SO_4'' < Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$. Воды этого типа сильно минерализованные, смешанные и метаморфизованные. Сюда относятся воды океанов, морей, лиманов, реликтовых водоемов.

Четвертый тип характеризуется отсутствием ионов HCO_3'. Воды этого типа кислые и имеются только в сульфатном и хлоридном классах, в группах $Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$, где нет первого типа.

Классификация В. А. Александрова

Классификация минеральных вод В. А. Александрова основана на трех главных признаках: 1) преобладающих анионах и катионах; 2) терапевтически активных элементах; 3) физических свойствах.

Преобладающие элементы определяются по вычисленным процентам эквивалентов, причем в классификации участвуют лишь те элементы, процентное содержание эквивалентов которых не менее 25 (суммы миллиграмм-эквивалентов катионов и анионов принимаются каждая за 100).

Номенклатура классификации основана на названиях ионов, а не солей. Все минеральные воды делятся на шесть групп.

I. Гидрокарбонатные: % экв. $HCO_3' > 25$, прочих анионов $< 25\%$ экв.

II. Хлоридные: % экв. $Cl' > 25$, прочих анионов $< 25\%$ экв.

III. Сульфатные: % экв. $SO_4'' > 25$, прочих анионов $< 25\%$ экв.

IV. Комбинированные воды: а) хлоридногидрокарбонатные ($SO_4'' < 25\%$ экв.), б) сульфатнокарбонатные ($Cl' < 25\%$ экв.), в) хлоридносульфатные ($HCO_3' < 25\%$ экв.).

V. Воды, принадлежащие к одной из первых четырех групп, но содержащие биологически активные ионы (мышьяк, бром, иод, литий и др.).

VI. Газовые воды, принадлежащие к одной из первых пяти групп, но содержащие значительное количество газов: а) углекислые, б) сероводородные, в) радиоактивные.

К названию каждой группы вод прибавляются термины: 1) натриевые; 2) кальциевые; 3) магниевые, если преобладают катионы $Na^{\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$ или $Mg^{\cdot\cdot}$. Кроме того, к названию каждой группы прибавляются температурные термины: воды до 20° называются холодными, от 20 до 35° — гипотермальными и от 35° — гипертермальными.

Так, например, Смирновский источник в Железноводске по этой классификации должен быть назван: гипертермальным, углекислым, сульфатногидрокарбонатным, кальциевонатриевым, вследствие того, что из анионов в нем преобладают в процентах эквивалентов HCO_3' и SO_4'', из катионов $Na^{\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, свободной CO_2 содержится 1,2 *г/л* и температура воды равна 44°.

Формула М. Г. Курлова

Формула М. Г. Курлова дает представление о главных составных частях воды.

Формула представляет собой дробь, числитель которой состоит из процентов эквивалентов анионов, а знаменатель из процентов эквивалентов катионов; проценты эквивалентов и тех и других проставляются в порядке убывающих чисел. Элементы, присутствующие в количестве менее 10% экв., не проставляются.

Слева от дроби проставляются (*г/л*):

1) содержание газов и активных элементов, если их содержится не меньше количеств, указанных в таблице нижних норм, отличающих обыкновенные воды от минеральных;

2) M — степень минерализации, равная сумме всех ионов и недиссоциированных молекул до первой десятичной цифры.

Справа от дроби ставится температура воды (T) и дебит (D) в кубических метрах в сутки.

Анализ воды Смирновского источника в Железноводске, представленный в виде этой формулы, примет такой вид

$$CO_2 1{,}2 M_{3{,}5} \frac{HCO_3'46SO_4''37Cl'17}{Na\cdot 57Ca\cdot\cdot 33} T_{44} D_{80}.$$

График-круг и график-прямоугольник

Для сопоставления вод различного солевого состава удобно пользоваться графиком-прямоугольником (рис. IV-9) и графиком-кругом (рис. IV-10). На графики наносится солевой состав воды в процентах

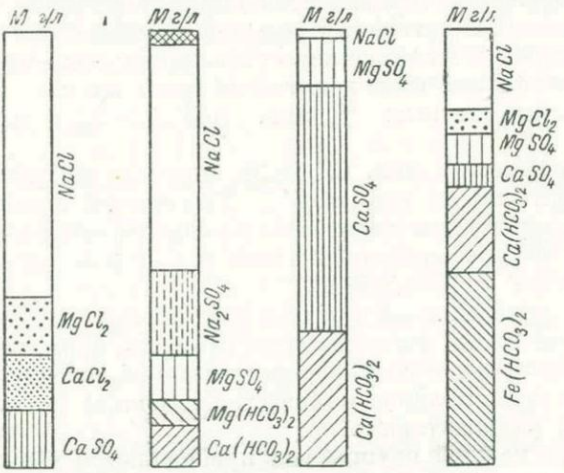


Рис. IV-9. Прямоугольный график солевого состава вод.

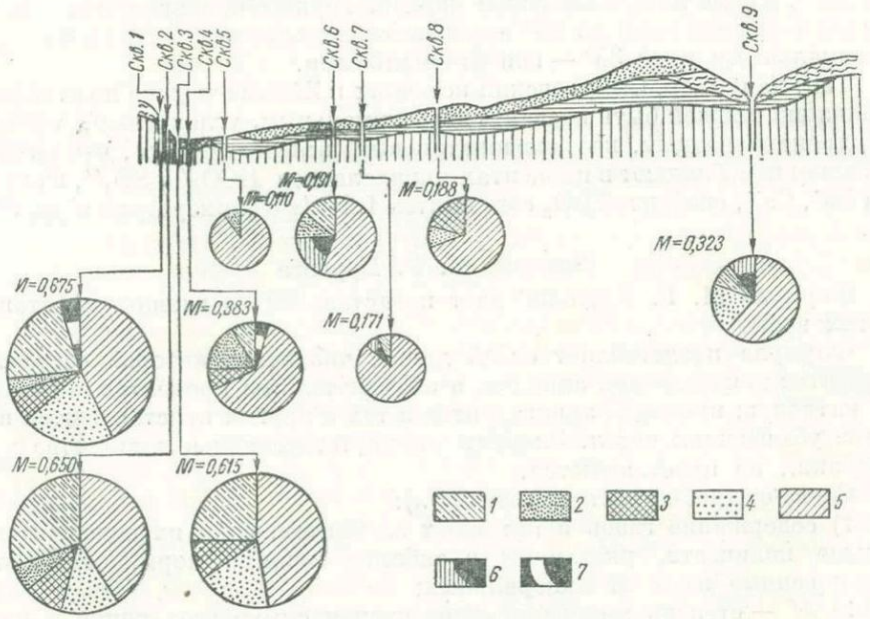


Рис. IV-10. График-круг солевого состава вод. Гипотетический солевой состав, % экв.

1 — $NaCl$, *2* — Na_2SO_4; *3* — $MgSO_4$; *4* — $CaSO_4$; *5* — $Ca(HCO_3)_2$; *6* — $NaHCO_3$; *7* — $Fe(HCO_3)_2$. *M* — общая минерализация, *г/л*.

эквивалентов. Общая минерализация воды (*г/л*) проставляется сбоку графиков. Удобство графика-круга заключается в том, что степень минерализации воды на нем отражается величиной диаметра.

Нанесенные на геологический профиль графики-круги позволяют наглядно проследить изменение состава и общей минерализации вод (рис. IV-10).

Характерные коэффициенты

Классификация природных вод дополняется величинами соотношений процентов эквивалентов ионов, что позволяет устанавливать принадлежность вод к тому или иному генетическому типу и судить о процессах, видоизменяющих состав вод.

В табл. IV-8 приводятся часто применяющиеся коэффициенты, а в табл. IV-9 — состав вод океана.

Таблица IV-8

Характерные коэффициенты химического состава вод

оэффициент	Значение коэффициента	Вода океана	Вода речная, средний состав
$\frac{r\mathrm{SO_4''}}{r\mathrm{Cl'}}$	>1 — преобладает сульфатная соленость $1-0$ преобладает хлоридная соленость	0,1	1,57
$\frac{r\mathrm{Ca''}}{r\mathrm{Mg''}}$	>1 — преобладает Ca'' $1-0$ преобладает Mg''	0,20	3,6
$\frac{r\mathrm{Na'}}{r\mathrm{Cl'}}$	>1 — содержится Na_2SO_4, нет $CaCl_2$ и $MgCl_2$ $1-0$ — содержится $CaCl_2$, нет Na_2SO_4	0,85	1,79
$\frac{r\mathrm{Cl'}-r\mathrm{Na'}}{r\mathrm{Mg''}}$	<1 — воды принадлежат к хлормагниевому типу $1-2$ — преобладает $MaCl_2$, есть и $CaCl_2$ >2 — преобладает хлористый кальций	0,72	
$\frac{r\mathrm{Na'}-r\mathrm{Cl'}}{r\mathrm{SO_4''}}$	>1 — воды принадлежат к гидрокарбонатнонатриевому типу <1 — воды принадлежат к сульфатнонатриевому типу		0,51
$\frac{r\mathrm{SO_4''}}{r(\mathrm{SO_4''}+\mathrm{Cl'})}$	Коэффициент * десульфатизации уменьшается по мере приближения к месторождениям нефти	0,094	
$\frac{\mathrm{Cl'}}{\mathrm{Br'}}$	300 — в морских водах ** <300 — в остаточной рапе морских озер >300 — в водах, связанных с растворением залежей каменной соли		

* В качестве коэффициента, характеризующего сульфатность подземных вод, удобнее пользоваться отношением $\frac{\mathrm{SO_4''}}{\mathrm{Cl'}}$ (*Научн. ред.*)

** Для подземных вод такое толкование хлорбромного коэффициента не подтверждается. *Научн. ред.*

Таблица IV-9

Состав воды современного океана

Ионы	*г/кг*	*мг-экв*	% *экв*
$K^{\cdot}$	0,387	9,89	1,63
$Na^{\cdot}$	10,707	465,51	76,98
$Ca^{\cdot\cdot}$	0,420	21,00	3,47
$Mg^{\cdot\cdot}$	1,317	108,31	17,92
Сумма	12,831	604,71	100,00
Cl'	19,342	545,43	90,19
Br'	0,066	0,82	0,13
SO_4''	2,688	55,97	9,26
HCO_3'	0,150	2,46	0,42
Сумма	22,246	604,68	100,00
Общая сумма	35,08	1209,39	100,00

§ 4. РАДИОАКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ВОД

Все природные воды содержат радиоактивные элементы. Различные условия перехода этих элементов в раствор, а также разнообразные условия их миграции приводят к образованию разных типов радиоактивных вод. В поверхностных водах обычно содержание радиоактивных элементов меньше, чем в подземных. Среднее содержание радия в подземных водах составляет $4 \cdot 10^{-12}$ и урана $7 \cdot 10^{-7}$ *г/л*.

Радиоактивные воды делятся на 5 групп:

1) радоновые — с повышенным содержанием радона;

2) радиевые — с повышенным содержанием радия;

3) радонорадиевые — с повышенным количеством радия и избыточным сверхравновесным количеством радона;

4) уранорадонорадиевые воды гидротермальных месторождений;

5) уранорадиевые воды осадочных месторождений.

В табл. IV-10 приведено содержание урана, радия и радона в природных водах.

§ 5. БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ

Бактериологические исследования воды производятся с целью: 1) санитарной оценки питьевой воды; 2) бактериальной разведки на нефть и горючие газы; 3) определения характера и интенсивности биохимических процессов, протекающих в подземных водах.

1. Санитарное состояние воды определяется степенью фекальной загрязненности. Главным показателем этого загрязнения воды служит кишечная палочка (*Bacterium* Coli).

Для оценки санитарного состояния питьевой воды определяется содержание одной кишечной палочки в единице объема воды (Coli —титр.). Чем вода качественнее, тем в меньших объемах удается обнаружить ки-

Таблица IV-10

Содержание урана, радия и радона в природных водах
(по А. Н. Токареву)

Тип вод	Природная обстановка	Rn в эманах			Ra, *г/л*			U, *г/л*			$\frac{Ra}{U}$
		мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	
Поверхностные	Океаны и моря	0	0	0	$8 \cdot 10^{-14}$	$4{,}5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-13}$	$3{,}6 \cdot 10^{-8}$	$2{,}5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-8}$
	Озера	0	0	0	$1 \cdot 10^{-13}$	$8 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$
	Реки	0	0	0	$2{,}5 \cdot 10^{-13}$	$4{,}2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-13}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$
Воды осадочных пород	Зона интенсивного водообмена	1,0	50,0	15,0	$1 \cdot 10^{-12}$	$6 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$
	Зона весьма затрудненного водообмена	1,0	20,0	6,0	$1 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Воды кислых магматических пород	Зона интенсивного водообмена (воды коры выветривания)	10,0	400,0	100,0	$1 \cdot 10^{-12}$	$7 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
	Зона затрудненного водообмена (воды глубоких тектонических трещин)	8,0	400,0	100,0	$2 \cdot 10^{-12}$	$9 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Воды урановых месторождений	Зона интенсивного водообмена (воды зоны окисления)	50,0	50000,0	1000,0	$8 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$8 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$
	Зона затрудненного водообмена (воды зоны восстановления)	50,0	3000,0	500,0	$1 \cdot 10^{-11}$	$8 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$

шечную палочку и наоборот. По Coli — титру — классифицируют воду следующим образом:

I.	Кишечная	палочка	в 100 мл	воды	— вода здоровая
II.	»	»	10 мл	»	— вода достаточно здоровая
III.	»	»	1 мл	»	— вода сомнительная
IV.	»	»	0,1 мл	»	— вода нездоровая
V.	»	»	0,01 мл	»	— вода совершенно нездоровая

В районах распространения эпидемии тифа или холеры необходимо определить в воде наличие возбудителя брюшного тифа и холерного вибриона для выяснения, не участвует ли в распространении болезней питьевая вода.

2. Бактериологический анализ воды с целью разведки на нефть и горючие газы производится при опробовании скважин и родников как в пластовых водах, залегающих на значительных глубинах, так и в грунтовых водах.

Индикаторной микрофлорой на нефть и газ при проведении водно-микробиологических исследований являются: а) бактерии, окисляющие метан; б) бактерии, окисляющие пропан; в) бактерии, развивающиеся в атмосфере одного из парообразных углеводородов — пентана, гексана или гентана.

Опытные работы по испытанию водно-микробиологической съемки на заведомо газо-нефтяных площадях показали, что все подземные воды, соприкасающиеся с газо-нефтяными залежами или расположенные выше этих залежей, заселены комплексом углеводородной микрофлоры.

3. Определение характера и интенсивности биохимических процессов, протекающих в подземных водах.

По данным микробиологической лаборатории ВСЕГЕИ биологические процессы, протекающие в подземных водах, оказывают значительное влияние на формирование и изменение химического состава подземных вод.

Количество бактерий в подземных водах и их физиологический состав свидетельствуют об интенсивности и характере биохимических процессов в исследуемых водах.

Количество бактерий в подземных водах (прямой счет на мембранных фильтрах) может достигать нескольких сот миллиоклеток в 1 *мл*.

Грунтовые воды более обогащены микрофлорой, чем воды пластовые. В пластовых водах количество бактерий и их качественный состав обусловливаются степенью гидрогеологической раскрытости структур, а также интенсивностью водообмена.

Подземные воды, приуроченные к хорошо и длительное время закрытым структурам или находящиеся в условиях затрудненного водообмена, более бедны микрофлорой, чем воды, залегающие в структурах и пластах открытых или в условиях интенсивного водообмена.

В подземных водах развиваются разнообразные по своей биохимической деятельности микробы: бактерии, разлагающие белковые соединения, углеводы, жиры; бактерии, участвующие в круговороте серы, углеводородные бактерии и др.

По физиологическому составу бактерий можно судить о направленности биохимических процессов, протекающих в подземных водах.

Отбор проб на бактериологический анализ воды производится только в стерильную посуду. При опробовании скважин пробы отбираются после смены 2—3 объемов воды и установления постоянства их химического состава.

§ 6. ОТБОР ПРОБ ВОДЫ ДЛЯ АНАЛИЗА

Отбор проб воды является ответственной операцией, от которой во многом зависит достоверность результатов анализа. Приемы взятия проб воды должны обеспечить возможно более полное сохранение ее первоначального состава и предохранить пробу от возможных загрязнений.

Общие правила отбора проб

Основным правилом при взятии пробы воды является чистота бутылки и пробки. Корковые пробки кипятят в дистиллированной воде, резиновые пробки — в 1-процентном растворе Na_2CO_3, затем промывают водой, 1-процентным раствором HCl и ополаскивают несколько раз дистиллированной водой. Бутылки перед заполнением и пробки перед укупоркой ополаскивают отбираемой водой не менее 3 раз.

Укупорка должна быть герметичная; лучше всего применять пришлифованные стеклянные пробки. Резиновые пробки и менделеевскую замазку нельзя употреблять для проб, в которых предположено определять $Ca^{\cdot\cdot}$, $Pb^{\cdot\cdot}$, $Zn^{\cdot\cdot}$ и ионы других металлов, так как из резиновых пробок может выщелачиваться заметное количество искомых металлов и при вскрытии бутылки трудно избежать загрязнения пробы замазкой. Хорошие сорта резиновых пробок могут быть использованы после обработки их в расплавленном парафине, куда они опускаются на 1 мин. При отборе проб оставляют в бутылках незаполненный объем в 10—15 *мл*, так как иначе пробки при повышении температуры могут быть выбиты.

Если вода должна долго храниться, ее консервируют добавлением 2 *мл* хлороформа на 1 *л* воды.

Пробы воды для обычного анализа, с определением йода, брома, бора, нафтеновых кислот, отбирают в две бутылки емкостью по 1 *л*. Для полного анализа воды со специальными определениями свинца, молибдена, меди, цинка, фтора и т. д. дополнительно отбирают пробу объемом 5—15 *л* бутылки емкостью 1 *л*.

На каждую пробу составляется паспорт в двух экземплярах, который заполняется графитовым карандашом. Один паспорт наклеивается на бутылку, другой привязывается к ее горлышку. В полевой книжке отмечаются водопункты, из которых взяты пробы воды для анализа.

Способы отбора проб воды

Пробу воды из источников и открытых водоемов при небольшой глубине взятия (0,5—1 *м*) отбирают непосредственно в бутылку без вся-

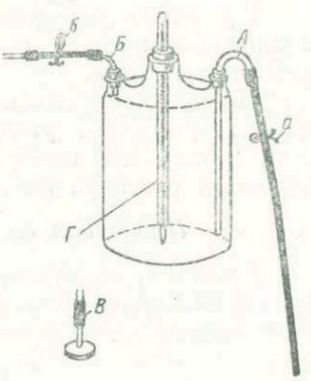


Рис. IV-11. Псевдобатометр конструкции Г. Ю. Верещагина.

а, *б* — зажимы; *А* — трубка с метками; *Б* — трубка для присоединения ручного насоса; *В*—груз, прикрепленный к концу трубки *А*; *Г* — термометр.

ких приспособлений. Необходимо следить за тем, чтобы в отбираемую пробу не попали механические примеси.

Перед взятием проб из эксплуатирующихся колодцев воду откачивают в течение 15 мин.

Отбор пробы с поверхности и глубин, не превосходящих 12—15 *м*, можно произвести при помощи псевдобатометра Верещагина (рис. IV-11).

Перед взятием проб из самоизливающихся скважин, оборудованных краном, необходимо спустить воду, находящуюся в трубе.

Перед взятием проб из несамоизливающихся и неэксплуатируемых скважин следует откачать воду примерно в два объема водяного столба скважины.

Для взятия проб из глубоких скважин предложено несколько типов специальных приборов (см. гл. XXXI).

Отбор специальных проб воды

Проба для определения общего содержания двуокиси углерода и гидрокарбонат-иона

Во избежание потерь двуокиси углерода и гидрокарбонат-иона переводят их на месте взятия пробы воды в нерастворимый карбонат бария, что достигается прибавлением к воде насыщенного раствора гидроокиси бария

$$Ba(OH)_2 + H_2O + CO_2 = \underset{\downarrow}{BaCO_3} + 2H_2O,$$

$$Ba(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 = \underset{\downarrow}{BaCO_3} + \underset{\downarrow}{CaCO_3} + 2H_2O.$$

Пробы воды для определения общего содержания двуокиси углерода и гидрокарбонат-иона берут в колбы емкостью 300—500 *мл*, с метками на 150 *мл*, с хорошо пригнанными резиновыми пробками (колбы должны подходить к прибору для определения общего количества CO_2 и HCO_3'). С помощью резиновой груши в течение 2—3 мин. продувают через колбы воздух, предварительно очищенный от углекислого газа при помощи натронной извести. Затем в каждую колбу быстро приливают до 50 *мл* насыщенного раствора гидроокиси бария, содержащего 5 *г* $BaCl_2$, после чего их плотно закупоривают.

Прибавляемый в колбы раствор должен быть прозрачным; если же он помутнеет, то необходимо зарядку колб раствором повторить. Колбы с раствором, плотно закрытые резиновыми пробками, взвешивают на технических весах с точностью 0,2 *г* и в таком виде отправляют на место взятия пробы.

На месте набирают воду в колбы немного ниже метки 150 *мл*, и плотно закрывают пробками. Анализ осадка производят в стационарной лаборатории.

На одно определение следует брать две пробы. Для раздельного определения двуокиси углерода и гидрокарбонат-иона необходимо, в случае если не отобрана проба на общий анализ, взять отдельную пробу без добавления раствора гидроокиси бария.

Проба для определения агрессивной двуокиси углерода

Агрессивная двуокись углерода способна растворять карбонат кальция. При прибавлении карбоната кальция к воде, содержащей агрессивную двуокись углерода, происходит увеличение щелочности

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca(HCO_3)_2.$$

Пробу воды для направления в лабораторию отбирают в чистую и сухую бутылку емкостью 250 *мл* с хорошо подобранной резиновой пробкой. В бутылку всыпают 2—3 *г* химически чистого $CaCO_3$. Одновременно отбирают пробу воды, без добавки карбоната кальция, для определения иона HCO_3'.

Проба для определения SO_4'' *и* $H_2S + HS'$ *в сероводородных водах*

Вместе со свободным сероводородом в сероводородных водах содержится гидросульфид-ион HS' и сульфат-ион SO_4''.

Так как сероводород и гидросульфид-ион окисляются до сульфат-иона, то для их количественного определения необходимо брать специальную пробу.

Принцип способа забора пробы основан на связывании сероводорода и сульфидной серы в форме сульфида кадмия

$$Cd(CH_3COO)_2 + H_2S = CdS + 2CH_3COOH.$$

Сульфат-ион при этом остается в растворе. Содержание суммы $H_2S + HS'$ может быть определено в лаборатории разложением сульфида кадмия.

Для отбора пробы взвешивают пустые склянки емкостью 500—800 *мл*, наливают в каждую по 100 *мл* раствора $Cd(CH_3COO)_2$ и снова взвешивают. Затем склянки закрывают резиновыми пробками и отправляют на место взятия пробы. В каждую склянку с раствором кадмия набирают по 250—500 *мл* испытуемой воды.

Проба для определения железа

В природных водах соли закисного железа легко окисляются кислородом воздуха и выпадают в осадок в виде гидрата окиси

$$Fe(HCO_3)_2 + 2HOH = Fe(OH)_2 + 2H_2CO_3,$$

$$4Fe(OH)_2 + 2HOH + O_2 = 4Fe(OH)_3.$$

Для определения железа необходимо взять на месте специальную пробу, в которой железо будет стабилизировано.

Для пресных вод стабилизация ионов железа осуществляется прибавлением 3—5 *мл* ацетатного буферного раствора (с $pH \cong 4$) на каждые 100 *мл* воды, что позволяет в дальнейшем определить различные формы железа, содержащегося в исследуемой воде.

Для стабилизации железа в кислых купоросных водах к 1 *л* анализируемой воды прибавляют 10 *мл* H_2SO_4 (1 : 1) и 1 — 1,5 *г* $(NH_4)_2SO_4$.

Проба воды должна быть прозрачна; если вода непрозрачна, ее необходимо отфильтровать и только после этого прибавлять реактив для стабилизации железа.

Проба для определения растворенного кислорода

Проба воды для определения кислорода берется в объеме 150—300 *мл* в калиброванные склянки с притертыми пробками. Калибрование склянок производится путем взвешивания пустой склянки и склянки с дистиллированной водой. Склянку наполняют водой так, чтобы вода пере-

лилась через край. Сразу же после этого в отобранную пробу воды прибавляют пипеткой, погружая конец ее со дна склянки, 1 *мл* раствора $MnCl_2$ и 1 *мл* раствора NaOH с KJ. К пробам жестких вод (свыше 7 *мг-экв* ионов кальция и магния в 1 *л*) прибавляют 3 *мл* раствора $MnCl_2$ и 3 *мл* раствора NaOH с KJ. Затем быстро закрывают склянку пробкой, строго следя за тем, чтобы в склянке не осталось ни одного пузырька воздуха. Содержимое склянки тщательно перемешивают несколько раз.

§ 7. ПОЛЕВЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ

Для выполнения полевого анализа воды сконструировано несколько типов полевых гидрохимических лабораторий, различающихся между собой по назначению и объему выполняемого анализа.

При пользовании полевыми лабораториями необходимо учитывать скорость изменения физических свойств и химического состава воды и соблюдать следующую последовательность определений:

1) температура, pH, запах, прозрачность, цвет;
2) двуокись углерода, сероводород, кислород;
3) железо закисное и окисное, нитрит, аммоний- и нитрат-ионы;
4) карбонат- и гидрокарбонат-ионы, жесткость, ионы кальция, магния, сульфата и хлора.

В полевых гидрохимических лабораториях для определения pH, $NH_4^{\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$ и др. широко используются колориметрические методы, при этом вместо стандартных растворов применяются стандартные окрашенные шкалы-светофильтры на прозрачной пленке.

Полевая лаборатория системы Резникова и Соколова для анализа воды в пеших маршрутах

Лаборатория предназначена для определения физических свойств и химического состава воды при проведении рекогносцировочных гидрогеологических работ. Она удобна для использования в пеших маршрутах: размер 10 × 18 × 20 *см*, вес 1 — 1,5 *кг*.

Лаборатория имеет две откидные крышки и небольшой съемный ящик для оборудования (рис. IV-12). В верхней откидной крышке хранится компаратор для колориметрических определений, полевой мутномер и пробирки для турбидиметрических определений.

Оборудование полевой лаборатории позволяет в течение 30—40 мин. с помощью пробирочно-капельных, турбидиметрических и колориметрических методов выполнять ориентировочный анализ воды, состоящий из определений pH, $Fe^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$, $NH_4^{\cdot}$, NO_2', NO_3', CO_3'', HCO_3', SO_4'', Cl', $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, общей и карбонатной жесткости, двуокиси углерода, сероводорода и кислорода. Наряду с химическим анализом определяются физические свойства воды.

Полевая гидрохимическая лаборатория системы Резникова типа 1950 г.

Лаборатория предназначена для определения физических свойств и химического состава природных вод в полевых условиях при гидрогеологических, гидротехнических, геохимических и других работах.

Лаборатория состоит из двух деревянных футляров: основного — размером 44 × 15 × 30 *см* (рис. IV-13) и запасного — размером 30 × 20 ×

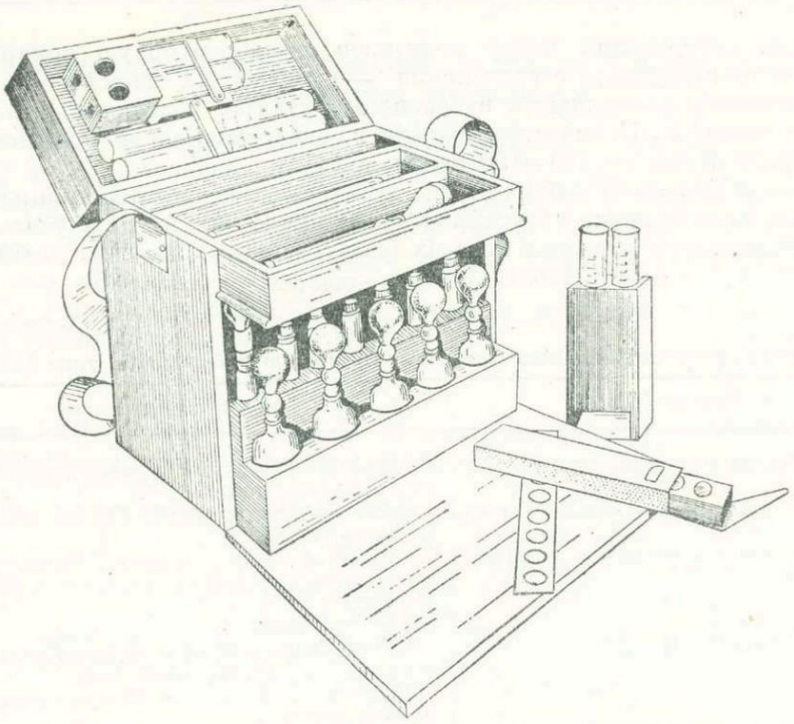


Рис. IV-12. Полевая лаборатория для анализа воды в пеших маршрутах.

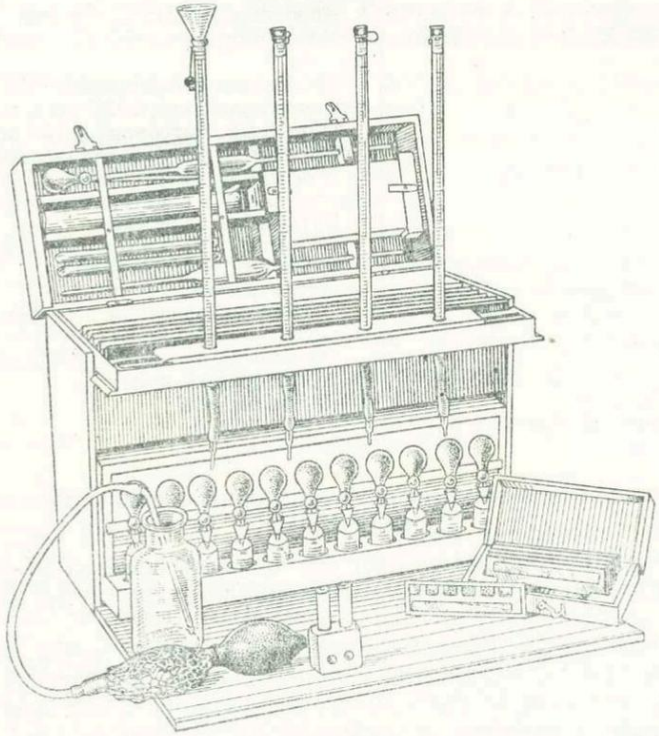


Рис. IV-13. Полевая гидрохимическая лаборатория типа 1950 г.

× 32 *см*, содержащих набор реактивов и лабораторную аппаратуру. Вес основного футляра с реактивами — около 10 *кг*, запасного — 25 *кг*.

Реактивы, находящиеся в основном футляре, позволяют выполнить 40—50 анализов. Количество реактивов, содержащихся в запасном футляре, рассчитано на 140—150 анализов.

С помощью этой лаборатории можно достаточно точно выполнить анализы, позволяющие классифицировать природные воды, изучить динамику их солевого состава и дать их техническую , хозяйственно-бытовую и санитарную оценку (табл. IV-11).

Таблица IV-11

Перечень определений, выполняемых с помощью лаборатории типа 1950 г.

Определение	Метод определения
Концентрация водородных ионов (pH)	Колориметрический с универсальным индикатором Алямовского
Свободная двуокись углерода (CO_2 св)	Объемный, титрованием 100 *мл* воды 0,1-н раствором NaOH
Агрессивная двуокись углерода (CO_2 агр)	Объемный, определением щелочности до и после взаимодействия воды с карбонатом кальция
Сероводород (H_2S)	Качественный
Железо закисное ($Fe^{\cdot\cdot}$)	Колориметрический, с таблеткой или порошком красной кровяной соли
Железо окисное ($Fe^{\cdot\cdot\cdot}$)	Колориметрический, с 10-процентным раствором KCNS
Сумма закисного и окисного железа ($Fe^{\cdot\cdot} + Fe^{\cdot\cdot\cdot}$)	Колориметрический, с 10-процентным раствором
Аммоний-ион ($NH_4^{\cdot}$)	Колориметрический, с реактивом Несслера
Нитрит-ион (NO_2')	Колориметрический, с сухим реактивом Грисса
Нитрат-ион (NO_3')	Полумикроколориметрический, основанный на восстановлении NO_3' до $NH_4^{\cdot}$
Карбонат-ион (CO_3'')	Объемный, титрованием 50 *мл* воды, 0,1-н раствором HCl с фенолфталеином
Гидрокарбонат-ион (HCO_3')	Объемный, титрованием 50 *мл* воды 0,1-н раствором HCl с метиловым оранжевым
Кальций-ион ($Ca^{\cdot\cdot}$)	Турбидиметрический
Магний-ион ($Mg^{\cdot\cdot}$)	Объемный, пальмитатный и путем расчета
Общая жесткость	Объемный, пальмитатный
Карбонатная жесткость	Путем расчета
Сульфат-ион (SO_4'')	Турбидиметрический и объемный, пальмитатный
Хлор-ион (Cl')	Объемный, аргентометрический, с индикатором хроматом калия
Натрий-ион ($Na^{\cdot}$)	Путем расчета
Сумма минеральных веществ	» »

Полевая гидрохимическая лаборатория системы Резникова типа 1954 г.

Лаборатория типа 1954 г. дает возможность определять общую жесткость, ионы магния, кальция и сульфат-ион комплексно-метрическими методами.

Помимо этого, лаборатория позволяет определять pH, свободную и агрессивную двуокись углерода, железо закисное и окисное, ионы NO_2', NO_3', $NH_4^{\cdot}$, CO_3'', HCO_3', Cl', $Na^{\cdot}$ и сумму минеральных веществ.

Количество реактивов в лаборатории рассчитано на выполнение 200 анализов.

Полевая лаборатория системы Резникова для определения неустойчивых компонентов

Лаборатория предназначена для количественного определения в природных водах растворенных газов и pH.

Размер лаборатории — 32 × 24 × 15 *см*, вес — около 8 *кг*. Пользуясь лабораторией, можно выполнять анализ непосредственно у водоисточника, что особенно важно для точного определения растворенных газов при режимных исследованиях.

Перечень определений, выполняемых с помощью лаборатории, и методы анализа приведены в табл. IV-12.

Таблица IV-12

Перечень определений и методы анализа

Определение	Метод анализа
pH	Колориметрический, с несколькими индикаторами, в пределах значений pH=4 — 9, со шкалой стандартных растворов в запаянных пробирках. Точность определения 0,1 pH
Двуокись углерода	Объемный, титрованием 0,1-н раствором Na_2CO_3
Сероводород	Объемный, йодометрический
Кислород	Объемный, йодометрический

Полевая лаборатория системы Резникова и Муликовской для определения специфических компонентов нефтяных вод

Лаборатория предназначена для количественного определения ионов брома, йода, борной и нафтеновых кислот.

Перечень определений, выполняемых с помощью лаборатории, и методы анализа приведены в табл. IV-13.

Таблица IV-13

Перечень определений и методы анализа

Определение	Метод анализа
Бром	Колориметрический с флуоресцеином
Йод	Колориметрический
Борная кислота	Колориметрический с кармином
Нафтеновые кислоты	Турбидиметрический

Лаборатория состоит из двух деревянных футляров: основного — размером 23 × 48 × 30 *см*, и запасного — размером 40 × 20 × 33 *см*.

В откидной крышке основного футляра хранятся в гнездах необходимые для работы пипетки, маленькие воронки, прибор для определения брома, стаканчики, воронки и штатив для пробирок (рис. IV-14). Внутрь футляра вкладываются четыре ящика, вынимающиеся из него во время работы. В каждом из них хранятся необходимые реактивы и аппаратура, закрепленная таким образом, чтобы предохранить ее от поломок во время перевозки.

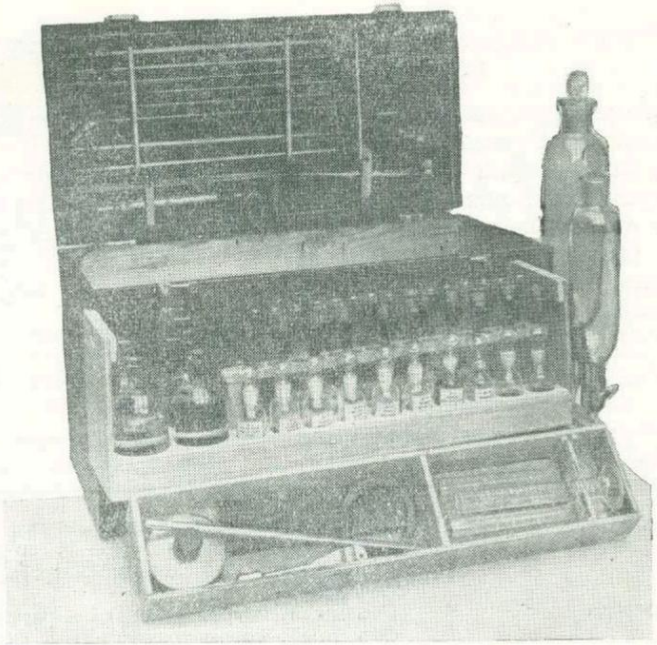


Рис. IV-14. Полевая лаборатория для определения специфических компонентов нефтяных вод.

Вес основного футляра с аппаратурой и реактивами — 8 *кг*, запасного — 15 *кг*. Находящиеся реактивы позволяют выполнить 400 анализов.

Лаборатория типа ВСЕГИНГЕО—ВСЕГЕИ, 1955 г. для гидрохимических поисков рудных месторождений

Лаборатория предназначена для определения отдельных компонентов минерализации природных вод, являющихся гидрохимическими признаками рудных месторождений. Она состоит из трех отдельных лабораторий, взаимно дополняющих друг друга по определяемым компонентам минерализации; в то же время каждая из них может быть использована самостоятельно.

Первая лаборатория — походная, для гидрохимических поисков рудных месторождений (типа ВСЕГЕИ, 1955 г., конструкции А. А. Резникова и И. Ю. Соколова).

Лаборатория предназначена для определения непосредственно у водоисточника следующих компонентов: общей щелочности, хлориона, сульфат-иона (до 75 *мг/л*), суммы цинка, свинца и меди дитизоновым методом, молибдена в виде роданидного комплекса.

Вес лаборатории 1,5 *кг*, запасного ящика — 7 *кг*.

Вторая лаборатория — полевая, для гидрохимических поисков рудных месторождений (типа ВСЕГИНГЕО, 1956 г., конструкции Ю. Л. Медведева) предназначена для анализа воды на базе геологической партии. С ее помощью можно выполнить следующий комплекс определений: сульфат-ион (любые количества), медь с диэтилдитиокарбонатом натрия, цинк дитизоновым методом, молибден в виде роданидного комплекса, свинец нефелометрическим методом в виде сульфида.

Кроме того, при помощи полевой лаборатории можно выделить свинец и цинк для их дальнейшего полярографического определения, получать сухие остатки для дальнейшего спектрального анализа и деминерализованную воду. Лаборатория состоит из 4 ящиков, вес их около 73 *кг*.

Третья лаборатория — полевая гидрохимическая (конструкции А. А. Резникова, типа 1950 или 1954 гг.) для производства общих химических анализов природных вод.

Полевая лаборатория системы Резникова и Муликовской для определения урана в природных водах

Лаборатория предназначена для количественного определения урана люминесцентным и колориметрическим методами при поисковых, разведочных, гидрогеологических и других работах. Вес лаборатории 8—10 *кг*. Люминесцентный метод позволяет определить уран при работе со 100 *мл* воды, когда он содержится в количестве $1 \cdot 10^{-6}$ *г/л*, при работе с 1 *л* воды — до $1 \cdot 10^{-7}$ *г/л*. Колориметрический метод позволяет определить при работе с 1 *л* воды не менее $5 \cdot 10^{-6}$ *г/л* урана и любые большие количества. Точность определения 25%. Количество реактивов, содержащихся в лаборатории, рассчитано на 700—800 определений урана.

§ 8. АГРЕССИВНОСТЬ ВОД

Агрессивностью воды называется ее способность разрушать различные сооружения.

Различают следующие агрессивности воды: 1) углекислотную; выщелачивающую; 3) общекислотную; 4) сульфатную; 5) магнезиальную; 6) кислородную.

Углекислотный вид агрессивности. Углекислотный вид агрессивности состоит в разрушении бетона в результате растворения карбоната кальция под действием агрессивной угольной кислоты и может быть выражен уравнением

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftarrows Ca^{\cdot\cdot} + 2HCO_3'.$$

Этот процесс обратим и до конца не доходит, так как часть угольной кислоты остается после реакции в свободном состоянии. Это количество угольной кислоты называется равновесной углекислотой.

Если содержание свободной угольной кислоты в воде окажется меньше, чем необходимо для равновесия, то из воды будет выделяться $CaCO_3$, т. е. реакция идет справа налево, пока не наступит равновесие.

Если же содержание свободной угольной кислоты будет больше, чем необходимо для равновесия, то при соприкосновении такой воды с $CaCO_3$ будет происходить его растворение, т. е. реакция будет идти слева направо. Процесс растворения будет продолжаться до тех пор, пока не наступит равновесие.

Та часть свободной углекислоты, которая при этом израсходуется на реакцию с карбонатом кальция, называется агрессивной углекислотой.

Из этого следует, что вода будет содержать агрессивную угольную кислоту тогда, когда содержание в ней свободной угольной кислоты будет больше, чем необходимо для равновесия с твердым углекислым кальцием.

Известные в литературе таблицы, графики и формулы для расчета содержания в воде агрессивной кислоты дают возможность получения ориентировочных данных и только для слабо минерализованных вод.

Лучшим методом определения агрессивности воды по отношению к бетону является экспериментальный. Он основан на определении щелочности воды до и после ее взаимодействия с измельченным карбонатом кальция. Результаты выражают содержанием агрессивной угольной кислоты и количеством карбоната кальция, растворяемым 1 *л* исследуемой воды.

В нормах Веденеева к новому проекту ГОСТ (ГОСТ 4796-49) и дополнению ВНИИГиМ предусматривается различное допустимое содержание агрессивной угольной кислоты в зависимости от величины HCO'_3 и общей минерализации, а также условий, в которых происходит агрессия (толщина конструкции, коэффициент фильтрации, напор, сорт цемента). Максимальным содержанием агрессивной CO_2, допустимым при наиболее опасных условиях, является 3 *мг/л*, при наименее опасных — 8,3 *мг/л*.

Агрессивность выщелачивания. Агрессивность выщелачивания происходит за счет растворения карбоната кальция и вымывания из бетона гидрата окиси кальция.

Когда содержание HCO'_3 столь мало, что равновесное содержание CO_2 меньше того, которое должно быть в равновесии с CO_2 в атмосфере, — данная вода всегда будет растворять карбонат кальция. Это происходит вследствие ненасыщенности ионами CO_3'' и HCO_3'.

В зависимости от содержания цемента и условий, в которых находится сооружение, вода, согласно нормам, обладает выщелачивающей агрессией при минимальном содержании HCO_3' от 0,4 до 1,5 *мг-экв*.

Общекислотный вид агрессивности. Общекислотный вид агрессивности связан с содержанием свободных водородных ионов.

Вода будет обладать данным видом агрессии, если pH ниже 5,0 (наихудшие условия), и 6,8 — при наименее опасных условиях.

Сульфатный вид агрессии. Сульфатный вид агрессии имеет место при большом содержании ионов SO_4'', в результате чего, в случае проникновения воды в тело бетона, при кристаллизации образуются соли ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ соль Деваля и др.), производящие вспучивание и разрушение бетона.

По нормам принято, что вода обладает сульфатной агрессией в зависимости от условий, в которых находится сооружение, и содержания ионов хлора.

При применении сульфатостойких цементов агрессия воды имеет место при содержании в ней SO_4'' в 4000 *мг/л* и более, а при обычных цементах — от 250 *мг/л* и выше.

Магнезиальный вид агрессии. Магнезиальный вид агрессии возникает при высоких содержаниях иона магния, предельно допустимое количество которого колеблется в зависимости от сортов цемента, условий, конструкции сооружения и содержания SO_4'', от 750 *мг/л* и более.

Сульфатная и магнезиальная агрессия устанавливаются по нормам или экспериментально — по изменению прочности в данной воде образцов, сделанных из определенных сортов цемента.

Кислородная агрессия. Кислородная агрессия вызывается содержащимся в воде растворенным кислородом и проявляется преимущественно по отношению к металлическим конструкциям и, в частности, к водопроводным трубам, в которых кислород образует ржавчину. Процесс окисления происходит по следующей схеме

$$2Fe + O_2 = 2FeO; \quad 4FeO + O_2 = 2Fe_2O_3; \quad Fe_2O_3 + 3H_2O = 2Fe(OH)_3.$$

При совместном присутствии кислорода с углекислотой агрессивное действие первого повышается.

§ 9. ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ

Жесткость воды обусловливается содержанием в ней солей кальция и магния. Жесткость имеет большое значение при использовании подземных вод для питьевых, хозяйственных и технических целей. Жесткая вода плохо взмыливается, образует накипь в паровых котлах, непригодна для сахарной, кожевенной и многих других отраслей промышленности.

Различают общую жесткость, определяемую содержанием в воде всех солей кальция и магния $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $MgCl_2$, устранимую или временную, обусловливаемую наличием в воде бикарбонатов, удаляемую при кипячении, вследствие разрушения бикарбонатов и перехода их в слабо растворимые карбонаты кальция и магния, выпадающие в осадок и постоянную, соответствующую разности общей и устранимой. Недавно жесткость воды в СССР выражалась в немецких градусах, при этом 1 градус принимался равным 10 *мг* CaO в литре воды. В настоящее время, согласно ГОСТ 6055—51 и ГОСТ 2874—54, жесткость воды выражается в миллиграмм-эквивалентах $Ca^{\cdot\cdot}$ и $Mg^{\cdot\cdot}$, содержащихся в литре воды. Один мг-экв. жесткости отвечает содержанию 20,04 *мг/л* $Ca^{\cdot\cdot}$ или 12,16 *мг/л* $Mg^{\cdot\cdot}$.

В табл. IV-13 приводятся данные для пересчета различных единиц жесткости в мг-экв.

Таблица IV-13

Пересчет различных единиц жесткости в мг-экв

Единица измерения жесткости	мг-экв	Немецкий градус	Французский градус	Английский градус	Американский градус
Один мг-экв. в литре	1	2,804	5,005	3,511	50,045
Один немецкий градус	0,35663	1	1,7848	1,2521	17,847
Один французский градус	0,19982	0,5603	1	0,7015	10
Один английский градус	0,28483	0,7987	1,4255	1	14,255
Один американский градус	0,01998	0,0560	0,1	0,0702	1

О. А. Алёкин (1952) природные воды по степени жесткости разделяет на пять групп:

Очень мягкие до	1,5 *мг-экв*	(до 4,2°)
Мягкие	1,5—3,0 *мг-экв*	(4,2— 8,4°)
Умеренно жесткие	3,0—6,0 »	(8,4—16,8°)
Жесткие	6,0—9,0 »	(16,8—25,2°)
Очень жесткие свыше	9,0 »	(свыше 25,2°)

Для питьевых целей используются подземные воды с жесткостью до 7—10 *мг-экв* ($\sim$20—30°), а в ряде районов СССР и более жесткие воды.

Глава V

КЛАССИФИКАЦИЯ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Разработкой классификаций подземных вод занимались многие советские и зарубежные ученые. Ими в разное время предложены различные классификации подземных вод. Они построены по одному или нескольким различным признакам, характеризующим или только химические особенности подземных вод, или другие их стороны существования и свойства (происхождение, условия залегания, гидравлические свойства, режим движения, температуру и пр.).

В связи с этим существующие классификации подземных вод можно объединить в две основные группы.

1. Химические классификации природных, в том числе и подземных вод (включая минеральные и нефтяные воды) В. И. Вернадского (1929, 1932, 1933, 1934), Ч. Пальмера (1911), В. А. Александрова (1932), Н. Н. Славянова (1932), С. А. Щукарева (1934), Н. И. Толстихина (1936, 1937), Г. А. Максимовича (1944), О. А. Алекина (1946), В. А. Сулина (1946), А. М. Овчинникова (1947, 1955) и др.

2. Генетические и общие классификации подземных вод по происхождению, условиям залегания, или по происхождению и другим в комплексе с ними признакам, предложенные Штейером (1907), О. Э. Мейнцером (1923), М. Канавари (1928), А. М. Жирмунским и А. А. Козыревым (1928, 1929), Б. Л. Личковым (1928, 1933), О. К. Ланге (1933, 1938, 1950), В. С. Ильиным (1933), Н. Н. Славяновым (1933, 1935), Ф. П. Саваренским (1935, 1939), Г. Н. Каменским (1947), Г. А. Максимовичем (1948), И. К. Зайцевым (1948, 1956), А. М. Овчинниковым (1949), А. Н. Семихатовым (1954), Н. И. Толстихиным (1954, 1956), П. П. Климентовым (1955), С. В. Троянским (1956) и др., и частные классификации некоторых авторов (А. М. Овчинников, С. В. Троянский, Н. И. Толстихин), объединенные с общими и разработанные по одному или нескольким признакам Н. И. Толстихиным (1933, 1940, 1941) для подземных вод области многолетней мерзлоты, А. И. Дзенс-Литовским (1940, 1945, 1948) для вод соляных месторождений, А. М. Овчинниковым (1949) и С. В. Троянским (1956) для вод районов молодого вулканизма, А. Н. Токаревым (1956) для радиоактивных вод и Н. И. Плотниковым, М. В. Сыроватко и Д. И. Щеголевым (1957) для подземных вод рудных месторождений.

Несмотря на большое число классификаций, единой классификации, отражающей все стороны существования подземных вод, в настоящее время нет. Это объясняется большой трудностью создания ее, обусловленной множеством естественных и искусственных факторов, оказывающих

влияние на подземные воды; большим разнообразием геологических условий залегания подземных вод; постоянным и разнообразным их движением (фильтрация, диффузия, миграция в связи с переходом воды из одного фазового состояния в другое и т. д.), приводящим к видоизменению и непрерывному обновлению подземных вод, а также и тем, что еще окончательно не разработана гидрогеологическая терминология, вследствие чего в некоторых случаях одни и те же подземные воды различными исследователями называются по-разному.

Химические классификации подземных вод даны в главах IV и VII.

В большинстве общих классификаций подземные воды разделяются на типы и виды по происхождению, условиям залегания и характеру вмещающих воду горных пород, гидравлическим свойствам, режиму движения, климатической зональности, температуре, минерализации и другим признакам.

По происхождению подземные воды разделяют на вадозные и ювенильные.

К вадозным относятся воды верхних слоев земной коры, участвующие в общем круговороте воды в природе.

Ювенильные (девственные) воды — магмогенные воды глубоких зон земной коры, не участвующие — до появления их на поверхность земли, — в общем круговороте воды в природе.

По О. К. Ланге [1950], ювенильные воды образуются тремя путями:

1) при выделении из магмы диссоциированных газов водорода и кислорода, которые в дальнейшем соединяются в воду (ювенильные синтетические воды);

2) при выделении из магмы паров воды, образующих в более верхних зонах земной коры конденсационную воду (ювенильные конденсационные воды);

3) при выделении в глубоких частях земной коры воды из минеральных масс, содержащих кристаллизационную воду (ювенильные дегидратационные воды).

Необходимо отметить, что исследованиями минеральных и термальных источников, проведенными А. М. Овчинниковым и другими гидрогеологами, установлено, что глубокие подземные воды имеют связь с водами верхней зоны земной коры, питающимися атмосферными осадками, т. е. во многих случаях являются смешанными по происхождению водами.

В последнее десятилетие появилось много работ, освещающих вопросы формирования подземных вод. В этих работах имеются и схемы разделения подземных вод по происхождению. Большой интерес в этом отношении представляют генетические классификации подземных вод, разработанные Г. Н. Каменским [1947] и Н. И. Толстихиным [1956].

Первая из них построена на основе так называемых генетических циклов, заключающих в себе процессы, обусловившие формирование того или иного типа подземных вод.

К генетическим циклам Г. Н. Каменский относит:

1) инфильтрационный или континентальный генетический цикл связанный с инфильтрацией атмосферных вод, с комплексом геохимических процессов, происходящих в верхней зоне земной коры;

2) морской или осадочный генетический цикл, связанный с проникновением морских вод в процессе осадкообразования и в дальнейшем с процессами диагенеза осадков и метаморфизации заключенных в них вод;

3) метаморфический и магматический циклы, к которым относятся процессы формирования глубинных вод, связанные с термальным, динамическим и региональным метаморфизмом и магматическими процессами.

К последним циклам относится формирование глубинных гидротерм, заключающих в себе ювенильные воды, образовавшиеся из горных пород под влиянием процессов метаморфизации.

Ведущими процессами в первом цикле являются инфильтрация и инфлюация атмосферных и поверхностных вод в глубь земли через пористые и трещиноватые горные породы, а также конденсация водяных паров.

В различных геологических и физико-географических условиях, в зависимости от направления генетических процессов инфильтрационного цикла, могут формироваться следующие типы подземных вод.

I тип. Грунтовые воды выщелачивания, формирующиеся в результате интенсивного развития процессов инфильтрации, что имеет место в условиях достаточно влажного климата.

II тип. Грунтовые воды континентального засоления, формирующиеся в засушливых степных и пустынных районах под влиянием интенсивного испарения и процессов взаимодействия атмосферных вод с засоленными почвами.

III. Артезианские воды выщелачивания или воды глубокой циркуляции, включающие два подтипа:

1) воды артезианских бассейнов в широких впадинах платформы, характеризующиеся малыми скоростями и длительными путями циркуляции, обусловленными значительной протяженностью бассейнов и относительно небольшими превышениями областей питания над областями стока;

2) воды глубокой циркуляции в тектонических структурах горно-складчатых областей, характеризующиеся относительно интенсивной циркуляцией и сопровождающиеся иногда выходом восходящих термальных источников.

По генетической классификации Н. И. Толстихина подземные воды разделяются на три типа, к первому из которых относится парообразная фаза подземных вод, ко второму — жидкая фаза и к третьему — твердая. В каждом типе выделяются подтипы и множество отдельных разновидностей подземных вод (табл. V-1).

Таблица V-1

Схема генетической классификации подземных вод (по Н. И. Толстихину, 1956)*

I. Парообразная фаза подземных вод (пар)

А. Пары эндогенные, образующиеся непосредственно в земной коре:

а. Пары, возникающие в результате процессов внутрипочвенного испарения	Зона аэрации
б. Пары, возникающие в результате испарения пленочных, капиллярных вод, верховодок и грунтовых вод	Зона холодного пара
в. Пары, образующиеся вследствие испарения подземных водотоков и водоемов (преимущественно в карстовых областях)	
г. Пары, образующиеся при испарении подземных вод в зоне насыщения (например, в газовых шапках нефтяных месторождений, в месторождениях газов)	Зона насыщения
д. Пары, возникающие вследствие испарения вод нижних водоносных горизонтов основания зоны насыщения	Зона горячего пара
е. Пары вулканогенные, образующиеся в земной коре под воздействием вулканических процессов	Все вышеуказанные зоны земной коры
ж. Пары, образующиеся под влиянием гидротермальных процессов	

* Схема генетической классификации Н. И. Толстихина слишком сложна и академична. *Научн. ред.*

Продолж. табл. 1

Б. **Пары экзогенные** (миграционные), мигрирующие или диффундирующие в земную кору извне

1. Пары верхние:	
а. Пары, мигрирующие с поверхности земли вместе с атмосферным воздухом	Зона холодного пара
б. Пары, диффундирующие из атмосферы в почву	
2. Пары нижние и глубинные (ювенильные):	
а. Пары мигрирующие и диффундирующие из подкоровых глубин	Зона горячего пара
б. Пары магматогенные мигрирующие и диффундирующие из магматических очагов	Различные зоны земной коры

II. Жидкая фаза подземных вод (вода)

(Воды капельно-жидкие, капиллярные, пленочные и др.)

А. **Воды эндогенные,** образующиеся непосредственно в земной коре

а. Воды криогенные (от таяния криогенных пород)	
б. Воды конденсационные: $б_1$) верхние $б_2$) нижние	
в. Воды биогенные	В том числе синтетические
г. Воды хемогенные	
д. Воды метаморфогенные	
е. Воды дегидратационные	
ж. Воды радиохимических реакций (?)	

Б. **Воды экзогенные,** поступающие различными путями в земную кору извне

1. Воды миграционные верхние, поступающие с поверхности земли в результате процессов их миграции и диффузии паров из атмосферного воздуха

а. Воды конденсационные верхние		
б. Воды атмосферных осадков (атмогенные)	Инфильтрационные Инфлюационные	Вадозные
в. Воды гидросферы (рек, болот, озер, лагун и морей)	Инфильтрационные Инфлюационные	

г. Воды антропогенные (гидротехнических сооружений, ирригационные, водопроводные, канализационные, полей орошения и др.).

2. Воды седиментационные, поступающие с поверхности земли в результате процессов седиментации:
   а. Воды гидросферы: рек, болот, лагун, морей
   б. Воды биосферы — в результате захоронения растительных и животных организмов — биогенно-седиментационные

3. Воды миграционные нижние, поступающие в зону насыщения земной коры: а) снизу — из зоны горячего пара и из подкоровых глубин и б) из магматических очагов

III. Твердая фаза воды (лед)

(Подземные льды и льдистые горные породы)

А. **Льды эндогенные,** образующиеся непосредственно в земной коре.

1. Льды атмогенные, возникающие в зоне аэрации:

Льды сублимационные (конденсационные)	Сублимационно-конжеляционные
Льды конжеляционные	

2. Льды гидрогенные конжеляционные, возникшие преимущественно в зоне насыщения вследствие замерзания подземных вод:

Продолж. табл. 1

а. Льды, образующиеся при замерзании подземных водоемов и водотоков, а также струй и капежей (преимущественно в карстовых и термокарстовых полостях— пещерные льды, в горных выработках и туннелях; в том числе ледяные сосульки, сталактиты, сталагмиты, наледи пещер и горных выработок).

б. Льды конституционные, возникшие при замерзании водоносных и водоупорных пород или образующиеся в уже замерзших породах:
Лед-цемент — большей частью в дисперсных песчаных породах.
Лед сегрегационный — преимущественно в дисперсных глинистых и пылеватых породах.
Лед жильный — преимущественно в скальных трещиноватых породах — осадочных, изверженных и метаморфических.
Лед инъекционный — большей частью в дисперсных породах (льды подземных наледей — гидролакколитов; интрузивные залежи подземных льдов и т. п.), но встречается и в скальных породах (инъекционный жильный лед).

Б. **Льды экзогенные,** образовавшиеся на поверхности земли, затем в процессе седиментации погребенные (льды седиментационные).

1. Льды атмогенные осадочно-метаморфические:

а. Лед снежных надувов	Снежные (инфильтрационные)
б. Лед снежников (фирновый)	
в. Лед ледников (глетчерный)	Динамометаморфические

2. Льды гидрогенные конжеляционные, образующиеся при замерзании наземной гидросферы:

а. Льды рек и других водотоков	Автохтонные или аллохтонные	
б. Льды болот и озер		
в. Льды лагун и морей		
д. Льды наземных наледей различного происхождения	Автохтонные	В основе — конжеляционные, с возможными прослоями атмогенных осадочно-метаморфических льдов

В. **Особые случаи происхождения подземных льдов**

1. Льды атмогенные осадочно-метаморфические, образующиеся при занесении снега в морозобойные и другие трещины, в карстовые, термокарстовые и другие полости. (Снежники карстовых шахт крымской яйлы).
2. Льды гидрогенные конжеляционные, возникающие при многократном проникновении поверхностных и надмерзлотных вод в морозобойные трещины «повторножильные льды» (ледяные клинья в тундрах Арктики и т. п.).

По условиям залегания и характеру вмещающих воду горных пород подземные воды можно разделить на следующие виды:

1) поровые воды, залегающие и циркулирующие в почвенных горизонтах и различных по генезису, гранулометрии и минералогическому составу рыхлых отложениях четвертичного покрова;

2) пластовые воды, залегающие и циркулирующие в пластах осадочных горных пород, подразделяемые на порово-пластовые и трещинно-пластовые;

3) трещинные воды, залегающие и циркулирующие в магматических и метаморфических горных породах, пронизанных равномерной трещиноватостью; [1]

4) трещинно-жильные воды, залегающие и циркулирующие в отдельных открытых тектонических трещинах и зонах тектонических нарушений.

По гидравлическим свойствам подземные воды делятся на напорные и безнапорные.

---

[1] К трещинным водам следует относить и воды, циркулирующие в массивах карбонатных, гипсоносных и соленосных пород. Кроме этого, необходимо также выделять трещинно-карстовые воды. *Научн. ред.*

В зависимости от климатических факторов, обусловливающих режим подземных вод, т. е. изменение во времени производительности водоносных горизонтов, состава, температуры и уровня подземных вод, последние разделяют на зональные, азональные, интразональные.

К зональным относятся подземные воды, режим которых определяется климатом (воды верхних безнапорных и напорных водоносных горизонтов); к азональным — глубокие подземные воды, находящиеся как бы вне климатических зон земного шара; к интразональным — воды, встречаемые в любой климатической зоне, но имеющие свои специфические особенности, например, — почвенные воды, верховодка и др.

По температуре в районах с отсутствием многолетней мерзлоты подземные воды разделяются на холодные, с температурой ниже 20° С; теплые — выше 20° С, и горячие (термы) — выше 50° С.

Общие классификации в большинстве своем построены на основе комплекса признаков, отражающих различные, но далеко не все стороны существования подземных вод в природе.

Из числа общих здесь приводятся классификации: 1) Ф. П. Саваренского [1939]; 2) А. М. Овчинникова [1949]; 3) П. П. Климентова [1955]; 4) Н. И. Толстихина [1954].

Первые две классификации, особенно классификации Ф. П. Саваренского, наиболее широко используются при изучении подземных вод в самых различных целях, а классификационная схема Н. И. Толстихина значительно дополняет схемы В. И. Вернадского и Б. Л. Личкова в части разделения подземных вод глубоких зон земной коры и характеризуется своей универсальностью в отношении подразделения подземных вод, залегающих в зонах аэрации и насыщения.

Общие классификации, предложенные другими учеными, не имеют столь широкого распространения, как классификация Ф. П. Саваренского и А. М. Овчинникова, так как они являются или устаревшими (Штейер, О. Э. Мейнцер, М. Канавари, А. М. Жирмунский, А. А. Козырев), или недостаточно полными в отношении условий залегания подземных вод (Н. Н. Славянов, Б. Л. Личков, О. К. Ланге и др.), или громоздкими, с большим количеством малоупотребительных терминов (Г. А. Максимович) и т. п. Самая поздняя классификационная схема С. В. Троянского (1956) не изменяет существа классификаций Ф. П. Саваренского и А. М. Овчинникова; она полностью построена на основе этих классификаций и отличается от них только тем, что карстовые воды в ней отнесены к особым типам подземных вод.

В табл. V-2 —V-5 приводятся классификации подземных вод Ф. П. Саваренского, А. М. Овчинникова, П. П. Климентова и Н. И. Толстихина.

Кроме выделенных в табл. V-2 —V-5 типов и видов подземных вод, последние часто подразделяются по геолого-стратиграфическому признаку — в соответствии со стратиграфией развитых в районе осадочных, метаморфических и магматических пород.

В этом случае подземные воды называют по возрасту или происхождению вмещающих воду горных пород, например: «воды кембрийских отложений», «воды юрских отложений», «воды пролювиальных отложений» и т. п. При этом всегда следует иметь в виду, что возраст пород не совпадает с возрастом подземных вод, так как последние находятся в постоянном движении, проявляющемся в самых различных формах.

Таблица V-2

Классификация подземных вод
(по Ф. П. Саваренскому, 1939)

Типы воды	Области питания и распространения	Характер напора	Характер движения потока	Происхождение	Геологические условия залегания	Климатическая зональность	Температура	Геохимические зоны	Химическая характеристика
Почвенные, болотные, верховодка	Совпадают (воды, близкие к поверхности)	Нисходящие ненапорные	Ламинарный	Вадозные	Поверхностные образования	Интразональные	Подвержена сезонным колебаниям	Зоны выщелачивания и местами засоления	Пресные, местами засоленные
Грунтовые	Обычно совпадают (воды неглубокие)	Нисходящие, ненапорные, иногда с местным напором	Преимущественно ламинарный	Вадозные	Поверхностные отложения и верхние слои коры выветривания	Зональные			
Карстовые	Близкие (воды преимущественно неглубокие)	Обычно нисходящие, ненапорные	Преимущественно турбулентный	Вадозные	Известняки, доломиты и другие выщелачиваемые породы	Азональные	Обычно непостоянная	Зона выщелачивания	Пресные, обычно жесткие
Артезианские	Не совпадают (воды преимущественно глубокие)	Восходящие напорные, напор гидростатический	Ламинарный в рыхлых породах и может быть турбулентный в трещиноватых породах	Вадозные	Структуры осадочных пород (бассейны)	Азональные	Повышающаяся с глубиной	Зоны выщелачивания и цементации	Пресные, иногда минерализованные
Жильные (трещинные)		Восходящие; напор гидростатический или газовый	Преимущественно турбулентный	Вадозные и ювенильные	Преимущественно зоны тектонической трещиноватости	Азональные	То же	Зона цементации	Пресные и минерализованные

Таблица V-3

Схема подразделения подземных вод по условиям залегания
(по А. М. Овчинникову, 1949)

Основные типы	Подтипы		Особые типы	
	Воды в пористых горных породах (поровые воды)	Воды в трещиноватых горных породах (трещинные воды)	Воды районов «вечной» мерзлоты	Воды районов молодого вулканизма
Верховодка	Почвенные, болотные, верховодка на линзах водоупорных пород Воды такыров и бугристых песков (в пустынях) Воды песчаных массивов и дюн (на побережье морей)	Воды коры выветривания трещиноватых горных пород Воды верхнего (дренированного) этажа закарстованных массивов Воды кровли лавовых потоков и туфобрекчий	Воды деятельного слоя	Дериватные воды термальных источников Воды временно функционирующих фумарол в периоды увлажнения
Грунтовые воды	Аллювиальные воды, воды делювиальных и озерных отложений Воды древнеаллювиальных отложений Воды флювиогляциальных отложений (над-, меж- и подморенных песчано-галечниковых накоплений)	Трещинные грунтовые воды кровли коренных изверженных пород и основания лавовых потоков Пластово-трещинные и трещинно пластовые воды осадочных отложений Карстовые воды массивов карбонатных пород (а также гипсоносных и соленосных)	Надмерзлотные воды Межмерзлотные воды	Воды повышенной температуры, обогащенные газами Воды небольших фумарол и гейзеров
Артезианские воды	Воды артезианских бассейнов (в моноклинально залегающих и выклинивающихся песчано-галечниковых свитах предгорных районов)	Воды артезианских бассейнов (в пластах, массивах и штоках трещиноватых горных пород) Воды артезианских склонов (в карбонатных и туфогенных толщах и массивах интрузивных пород)	Подмерзлотные воды	Газирующие термоминеральные (иногда горячие) воды, восходящие по тектоническим разрывам и контактам различных свит Воды артезианских систем, осложненных внедрением изверженных масс, обогащенные специфическими (иногда редкими) элементами

Таблица V-4

Схема классификации подземных вод
(по П. П. Климентову, 1955)

Основные типы подземных вод	Характер напора	Главные виды подземных вод	Соотношение областей питания и распространения	Особенности режима	Происхождение	Использование в народном хозяйстве
Воды зоны аэрации	Ненапорные	Болотные, почвенные, верховодка Воды солончаков и солонцов Воды деятельного слоя в районах многолетней мерзлоты	Области питания и распространения совпадают	Воды обычно временного характера	В основном инфильтрационное, местами возможно конденсационное	Наибольшее значение имеют для сельского хозяйства, но иногда применяются и для сезонного водоснабжения мелких предприятий
Грунтовые воды	Чаще ненапорные	Воды аллювиальных отложений Воды ледниковых отложений Воды делювиальных, пролювиальных и других покровных отложений Воды степей, пустынь и полупустынь Воды морских побережий Воды горных областей		Уровень воды колеблется в зависимости от инфильтрации влаги с поверхности, от подземного испарения и местами—от передачи напора		Используются для водоснабжения, реже — для орошения
Артезианские воды	Напорные	Межпластовые напорные (в том числе нефтяные, подмерзлотные, минеральные)	Области питания и распространения не совпадают	Уровень воды колеблется в результате передачи напора	Инфильтрационное и морское	Пресные воды используются для водоснабжения, высокоминерализованные — для добычи соли и некоторых элементов, минеральные — для лечебных целей

§ 2. ВОДЫ ЗОНЫ АЭРАЦИИ

Воды зоны аэрации — воды, залегающие выше зоны насыщения горных пород, заключенной между поверхностью грунтовых вод и подстилающим их водоупорным слоем (рис. V-1).

К водам зоны аэрации относятся почвенные воды и верхо-

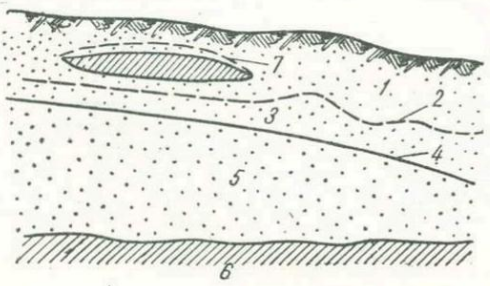


Рис. V-1. Схема разреза верхней части земной коры.

1 — зона аэрации; *2* — поверхность капиллярной зоны; *3* — капиллярная зона; *4* — поверхность грунтовых вод; *5* — зона насыщения; *6* — водоупорный слой; *7* — верховодка.

водка. Под почвенными водами понимают приуроченные к почвенному слою воды, участвующие в питании корневой системы растений, имеющие связь с атмосферой и подстилающими их верховодкой и грунтовыми водами. Эти воды характеризуются большим содержанием органических веществ и микроорганизмов, они оказывают огромное влияние на плодородие почв и в основном изучаются почвоведами, агрохимиками и агрономами.

При гидрогеологических исследованиях почвенные воды, а равно типы и состав почв, изучаются в связи с осушением и орошением земель (см. гл. XXV), а также при выяснении закономерностей режима грунтовых вод, залегающих или непосредственно под почвенными горизонтами, или отделенных от них верховодкой (см. § 4 этой главы).

Верховодка — своеобразный тип подземной воды, которая образуется за счет инфильтрации атмосферных и поверхностных вод, задержанных непроницаемыми или слабо проницаемыми выклинивающимися пластами или линзами, окруженными водопроницаемыми пористыми или трещиноватыми горными породами в зоне аэрации (рис. V-1).

В гидрогеологических разрезах верховодка располагается выше уровня грунтовых вод на поверхности водоупорных или слабопроницаемых выклинивающихся пластов или линз, заключенных среди водопроницаемых горных пород.

Отличительными признаками верховодки являются:

1) ограниченная площадь их распространения, определяемая размерами непроницаемых линз;

2) резкие колебания уровня воды, состава и запасов ее в зависимости от климата района распространения верховодки;

3) легкая загрязняемость воды другими водами (почвенными, болотным , промышленными и пр.);

4) непригодность в подавляющем большинстве своем для постоянного водоснабжения;

5) своеобразие динамики верховодки: она может участвовать в питании грунтовых вод и может быть полностью израсходована на испарение.

По составу воды верховодки пестрые: в северных районах пресные или слабоминерализованные, с повышенным содержанием органических веществ, железа, кремнекислоты; в южных, где имеет место интенсивное испарение — высокоминерализованные различного состава.

§ 3. БОЛОТНЫЕ ВОДЫ

Болотные воды — воды болот и заболоченных земель. Болота представляют собой избыточно увлажненные участки земной поверхности, покрытые слоем торфа мощностью не менее 30 *см* (в неосушенном виде) и 20 *см* (в осушенном виде).

Заболоченные земли от болот отличаются меньшей, чем указано выше, мощностью торфяного слоя.

Гидрогеологическое изучение болотных вод производится при осушении заболоченных территорий, правильный выбор которого зависит от типа болотных котловин по происхождению, условий питания болот, их растительного покрова и пр.

По условиям питания болота разделяют на три основные группы (рис. V-2):

1) низинные, которые питаются атмосферными, грунтовыми, озерными или речными водами;

Схема классификации подземных вод по условиям залегания
(по Н. И. Толстихину, 1954)

Таблица V-5

		Подземные воды гидрогеологических районов	
		а — находящихся вне области распространения мерзлой зоны	*б* — находящихся в пределах области распространения мерзлой зоны
Подземные воды земной коры	Воды зоны аэрации	Почвенные воды: Верховодка; Трещинные и карстовые воды зоны нисходящего движения подземных вод	Почвенные воды: Надмерзлотные воды сезонных таликов; Межмерзлотные трещинные и карстовые воды зоны аэрации; Подмерзлотные трещинные и карстовые воды зоны аэрации
		Воды капиллярной каймы	Воды капиллярной каймы: Сезонных и многолетних надмерзлотных таликов; Межмерзлотных таликов; Подмерзлотных таликов
	Воды зоны насыщения	Грунтовые воды; Трещинные и карстовые ненапорные воды зоны горизонтального движения вод	Надмерзлотные воды многолетних таликов: подрусловые, подозерные, конусов выноса, горных шлейфов и др. — —
		Межпластовые ненапорные воды (Ф. П. Саваренский, 1935; О. К. Ланге, 1932; А. Н. Семихатов, 1954)	— Межмерзлотные ненапорные воды аллювиальных и других отложений (трещинные, карстовые); Подмерзлотные ненапорные воды аллювиальных и других отложений; трещинные, карстовые и др.
		Пластовые напорные воды артезианских бассейнов—артезианские воды; Трещинные и карстовые напорные воды зоны нисходяще-восходящего движения подземных вод	— Межмерзлотные напорные воды: пластовые, артезианские; трещинные, карстовые; трещинно-жильные; Подмерзлотные напорные воды: пластовые—артезианские; трещинные, карстовые, трещинно-жильные
		Напорные трещиниые воды фундамента артезианских бассейнов; Трещинные и карстовые напорные воды зоны наиболее глубокой миграции подземных вод	— Подмерзлотные напорные воды: артезианские; трещинные, карстовые; трещинно-жильные, зоны наиболее глубокой миграции подземных вод
	Воды зоны горячего пара	1. а) Горячие пары воды глубоких частей артезианских складчатых областей 2. Горячие пары воды оболочки сиаль (гранитной) 3. Горячие пары воды оболочки сима (состава основных	бассейнов и подстилающего их фундамента. б) Горячие пары воды гидрогеологических и ультраосновных пород)
Воды в зоне пластичности подкоровых глубин и внутрикоровых магматических очагов		Подкоровые (внутренние) (ин	и магматические тернальные) воды

2) верховые (сфагновые), питающиеся преимущественно атмосферными осадками;

3) переходные, которые имеют смешанное питание — грунтовое и атмосферное.

Кроме этих типов, встречаются так называемые «висячие болота», возникающие на пологих склонах долин, в местах выклинивания грунтовых вод.

Показателем гидрогеологических особенностей болот (условий их питания, происхождения и пр.) может служить их растительный покров.

Известно, например, что болота озерного происхождения обычно имеют открытую водную поверхность, зеленый (гипнум) или белый (сфагнум) покров мха; они же часто бывают покрыты маломощным торфяным ковром (сплавиной), под которым находится болотная вода.

Наличие на участках болот березы или ели указывает на незначительное увлажнение этих участков, а произрастание сосны — на торфяные залежи, образовавшиеся в бывших верховых болотах и т. п.

Требования, предъявляемые к гидрогеологическим исследованиям при осушении заболоченных территорий, рассматриваются ниже (гл. XXV).

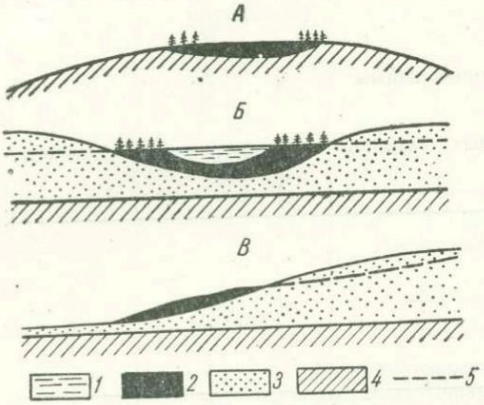


Рис. V-2. Типы болот по условиям их питания.

А — верховые; *Б* — низинные; *В* — переходные; *1* — вода; *2* — торф; *3* — песок; *4* — глина; *5* — уровень подземных вод.

Здесь мы только отметим, что для болот первой группы осушение осуществляется путем перехвата и отвода поверхностных вод; для болот второй группы — отводом самих болотных вод и для третьей группы — совместными мероприятиями по урегулированию поверхностного стока и дренажу грунтовых вод, участвующих в питании болот.

§ 4. ГРУНТОВЫЕ ПОРОВЫЕ ВОДЫ

Отличительные признаки и формы залегания грунтовых вод

Грунтовыми водами называются подземные воды первого от поверхности водопроницаемого горизонта, залегающего на первом выдержанном водонепроницаемом слое.

Таким залеганием грунтовых вод обусловливаются те отличительные признаки, которые свойственны этим водам. Признаки эти следующие.

1. Отсутствие напора в грунтовых водоносных горизонтах; грунтовые воды имеют свободную поверхность и непосредственную связь с атмосферой. Разведочными и эксплуатационными выработками уровень этих вод вскрывается на той глубине, на которой он залегает в данных условиях в период проходки выработок.

2. Совпадение области питания и распространения грунтовых вод, причем основным источником питания их являются атмосферные и по-

верхностные воды, поступающие путем инфильтрации и инфлюации через пористые породы зоны аэрации.

3. Своеобразие режима грунтовых вод во времени. Режим их, т. е. колебание во времени производительности водоносных горизонтов, уровня воды, химического состава и физических свойств определяется в основном изменениями во времени элементов гидролого-метеорологической обстановки района распространения этих вод.

4. Наибольшая доступность грунтовых вод для практического использования и в то же время для загрязнения их болотными, промышленными, фекальными водами.

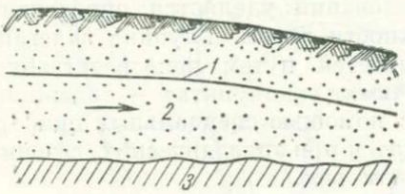


Рис. V-3. Схема грунтового потока.

1 — поверхность грунтовых вод; *2* — песок водоносный; *3* — непроницаемая порода (водоупорный слой).

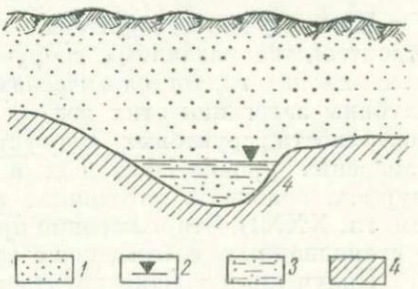


Рис. V-4. Схема грунтового бассейна.

1 — песок; *2* — поверхность грунтовых вод; *3* — песок водоносный; *4* — непроницаемая порода (водоупорное ложе).

Грунтовые воды имеют повсеместное распространение на земном шаре и приурочены они преимущественно к отложениям четвертичного покрова: аллювию речных долин, делювиальным, элювиальным, пролювиальным и флювиогляциальным образованиям.

В природе грунтовые воды, в зависимости от особенности геоморфологического и геологического строения местности, образуют различные формы залегания, к которым относятся: 1) грунтовый поток; 2) грунтовый бассейн; 3) сочетание грунтового потока с грунтовыми бассейнами.

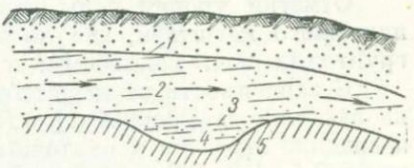


Рис. V-5. Сочетание грунтового потока с грунтовым бассейном.

1 — поверхность грунтовых вод; *2* — грунтовый поток; *3* — граница грунтового потока с грунтовым бассейном; *4* — грунтовый бассейн; *5* — водоупор.

Грунтовый поток — безнапорный водоносный горизонт, движение воды в котором происходит под влиянием силы тяжести в направлении уклона поверхности (зеркала) грунтовых вод (рис. V-3).

Грунтовый бассейн — понижение в водоупорном ложе, выполненное водопроницаемыми породами, насыщенными водой, имеющей горизонтальную поверхность (рис. V-4).

Вследствие геологических процессов, например, выветривания, эрозии и других факторов, водоупорное ложе грунтовых вод то повышается, то понижается.

В таких условиях встречается третья форма залегания грунтовых вод — сочетание грунтового потока с грунтовыми бассейнами (рис. V-5).

Грунтовая вода находится в непрерывном движении; она под влиянием силы тяжести перемещается от повышенных участков к пониженным,

причем водоносные породы, содержащие эту воду, могут пересекаться отрицательными формами современного рельефа: оврагами, речными долинами, балками, озерными котловинами и т. п. При таком пересечении происходит разгрузка подземного потока и выход грунтовых вод на поверхность земли в виде так называемых нисходящих источников (см. гл. VI).

При движении грунтового потока к месту разгрузки уровень его постепенно понижается; образуется криволинейная поверхность, называемая депрессионной.

Карта поверхности грунтовых вод

При изучении грунтовых вод для водоснабжения, мелиорации, строительства различных сооружений и других целей особое внимание в комплексе гидрогеологических исследований уделяется определению глубины залегания этих вод от поверхности земли. Глубина залегания поверхности грунтовых вод устанавливается путем непосредственного измерения уровня этих вод в различных водопунктах — скважинах, шурфах, колодцах, источниках и пр. с помощью специальных приборов (см. гл. XXXI). Эти измерения производятся при эпизодических, сезонных и стационарных наблюдениях за уровнем вод.

Полученные уровни грунтовых вод пересчитываются на абсолютные или относительные отметки по формуле

$$H_в = H_з - h, \qquad \text{(V-1)}$$

где

$H_в$ — абсолютная отметка уровня воды в данном пункте;

$H_з$ — абсолютная отметка поверхности земли в этом же пункте;

h — глубина залегания воды в данном пункте.

Отметки уровня воды наносятся на топографическую основу того или иного масштаба, где по ним проводятся горизонтали поверхности грунтовых вод, называемые гидроизогипсами.

В зависимости от масштаба топографической основы, числа пунктов наблюдений за уровнем грунтовых вод, назначения карт гидроизогипс последние строятся в различных масштабах с проведением гидроизогипс через 0,5, 1,0, 2,0, и 5,0 *м* (рис. V-6).

По карте гидроизогипс решаются важные для практических целей задачи, например, для проектирования водоснабжения на базе грунтовых вод, разработки осушительных мероприятий, выбора площадок под промышленные или гражданские сооружения и т. п. По карте гидроизогипс определяются:

1) направление движения грунтовых вод на заданном участке путем проведения нормали к двум смежным гидроизогипсам (см. рис. V-6);

2) уклон подземного потока на заданном участке путем деления сечения карты гидроизогипс на расстояние между двумя гидроизогипсами, взятое в масштабе карты;

3) взаимосвязь грунтовых вод с поверхностными по характеру сопряжения гидроизогипс с рекой; при этом в природе имеют место два основных случая, из них первый отвечает рис. V-7а, когда грунтовые воды питают поверхностные, а второй — рис. V-7б, когда поверхностные воды питают грунтовые;

4) глубина залегания грунтовых вод в любом заданном пункте по разности отметок гидроизогипс и изогипс поверхности современного рельефа;

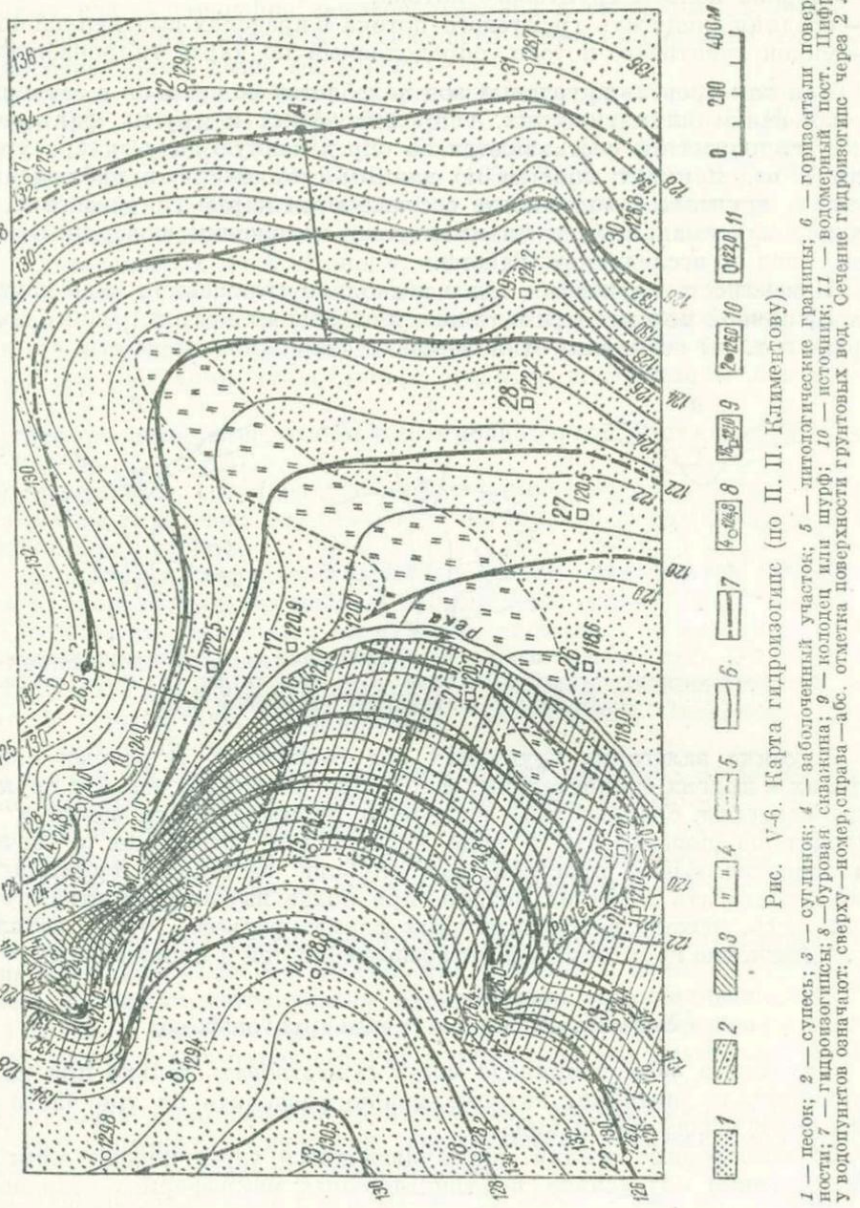


Рис. V-6. Карта гидроизогипс (по П. П. Климентову).

1 — песок; *2* — супесь; *3* — суглинок; *4* — заболоченный участок; *5* — литологические границы; *6* — горизонтали поверхности; *7* — гидроизогипсы; *8* — буровая скважина; *9* — колодец или шурф; *10* — источник; *11* — водомерный пост. Цифры у водопунктов означают: сверху — номер, справа — абс. отметка поверхности грунтовых вод. Сечение гидроизогипс через 2 *м*.

5) расход грунтового потока по формуле

$$Q = KBhi, \qquad \text{(V-2)}$$

где Q — расход грунтового потока;

K — коэффициент фильтрации горных пород, слагающих грунтовый водоносный горизонт, определяемый откачками из скважин, шурфов или на фильтрационных приборах в лаборатории или по эмпирическим формулам (см. главу XII);

B — ширина полосы грунтового потока;
h — средняя мощность грунтового потока в пределах выделенной полосы;
i — уклон грунтового потока, определяемый по карте гидроизогипс.

Так как уровень грунтовых вод колеблется во времени в зависимости от изменения климатических, гидрологических и других факторов, то карты гидроизогипс составляются на определенную дату замера уровней воды в водопунктах; причем по данным стационарных наблюдений за уровнем грунтовых вод иногда составляются карты гидроизогипс, отвечающие максимальному и минимальному положению поверхности грунтовых вод в исследуемом районе.

Поверхность грунтовых вод в несколько сглаженном виде повторяет рельеф земной поверхности и только в отдельных местах (речные долины, овраги и т. п.) возможны отклонения от этой закономерности.

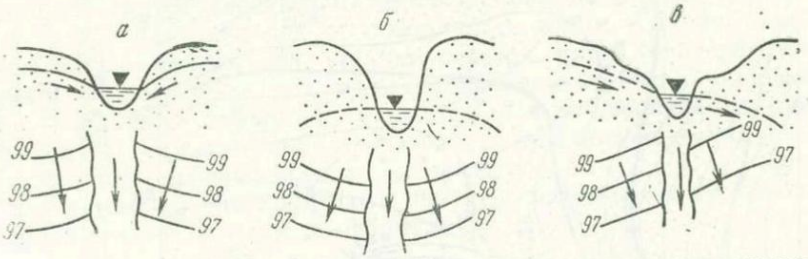


Рис. V-7. Соотношение между поверхностными и грунтовыми водами.
а — река дренирует грунтовые воды, *б* — река питает грунтовые воды, *в* — река питает и дренирует грунтовые воды.

Глубина залегания грунтовых вод различная. В речных долинах, оврагах и других отрицательных формах современного рельефа грунтовые воды залегают сравнительно неглубоко от поверхности земли и часто выходят на поверхность в виде нисходящих источников и мочажин. На водораздельных пространствах глубина залегания грунтовых вод может достигать десятков метров, при более высоких отметках уровня воды здесь, нежели в отрицательных формах рельефа, что и обусловливает движение грунтовых вод от возвышенностей к понижениям.

Условия питания и режим грунтовых вод

Грунтовые воды в природе могут существовать только при наличии источников их питания, которые можно разделить на три часто тесно связанных между собой вида:

1) атмосферные осадки, просачивающиеся через породы зоны аэрации, особенно интенсивно в отрицательных микроформах современного рельефа;

2) поверхностные воды в период высокого подъема их уровня;

3) напорные подземные воды, поступающие из более глубоких горизонтов.

Условия питания грунтовых вод являются наиболее важным фактором их режима.

Под режимом подземных вод, в том числе и грунтовых, понимают естественно-исторический процесс, включающий в себя отдельные стадии формирования подземных вод и протекающий под влиянием взаимодействующих и изменяющихся климатических, гидрогеологических, гео-

логических, почвенных, биогенных и других факторов. Конкретнее, режим грунтовых вод — изменение запасов этих вод и связанных с ними их уровня, физических свойств и химического состава во времени под влиянием перечисленных выше факторов.

Подробное освещение вопроса режима подземных вод можно найти в работах П. В. Отоцкого (1915, 1916), М. А. Вевиоровской и К. И. Разина (1937), Г. Н. Каменского, Н. Н. Биндемана, М. А. Вевиоровской и М. Е. Альтовского (1938), О. К. Ланге (1934, 1935, 1939), М. А. Шмидта (1940) и других и особенно в последней методической работе по режиму подземных вод, составленной коллективом специалистов под редакцией М. Е. Альтовского и А. А. Коноплянцева (1954).

На основе анализа гидродинамических особенностей режима грунтовых вод Г. Н. Каменский (1953) выделяет четыре основных типа режима:

1) водораздельный, формирующийся под влиянием переменных во времени инфильтрации атмосферных осадков, испарения и подземного стока;

2) прибрежный, определяемый в основном колебаниями уровня рек, озер, морей;

3) предгорный, где наряду с инфильтрацией осадков большое влияние на режим грунтовых вод оказывает поглощение речных вод и вообще поверхностного стока;

4) мерзлотный, характеризующийся полным или частичным промерзанием надмерзлотных вод (см. § 8 настоящей главы).

Кроме этого, выделяют следующие типы режимов грунтовых вод по условиям их питания:

1) з о н а л ь н ы е , подчиняющиеся законам зональности по вертикали и горизонтали, — ледниковый, мерзлотный, снеговой, дождевой и пустынный режимы;

2) а з о н а л ь н ы е, не подчиняющиеся законам зональности, — речной, озерный, морской, радиоактивный и искусственный.

В первой группе режим грунтовых вод определяется главным образом климатическим фактором; во второй — гидрологическим, геологическим факторами и искусственным, связанным с хозяйственной деятельностью человека.

Закономерности режима грунтовых вод изучаются при стационарных наблюдениях за этими водами, при которых в полном соответствии с ранее указанным методическим руководством устанавливаются:

1) условия питания грунтовых вод за счет атмосферных осадков, конденсации водяных паров воздуха и подземных вод других водоносных горизонтов;

2) условия дренирования грунтовых вод источниками, реками, озерами, дренажными сооружениями, действующими горными выработками, а также сухими долинами и котловинами;

3) направления и скорости движения грунтовых вод и закономерности их изменения во времени и пространстве;

4) эпизодические, суточные, сезонные, годовые и многолетние изменения запасов грунтовых вод, их уровня, температуры, химического, реже бактериологического и газового состава;

5) взаимосвязь элементов режима грунтовых вод между собой и факторами, определяющими режим (климатическими, гидрологическими и др.);

6) места поступления в грунтовые водоносные горизонты загрязненных речных, озерных, болотных, промышленных вод, а также минерали-

зованных вод из других водоносных горизонтов в действующие или проектируемые водозаборы;

7) изменение режима грунтовых вод, вызванное деятельностью человека.

Стационарным гидрогеологическим наблюдениям за режимом грунтовых вод предшествует или производится одновременно с ними изучение:

1) геолого-структурных особенностей, орогидрографии и гидрогеологических условий района распространения изучаемых грунтовых водоносных горизонтов;

2) мощности грунтовых водоносных горизонтов, литологического, химико-минералогического состава и фильтрационных свойств пород, слагающих эти горизонты и зону аэрации в вертикальном и горизонтальном направлениях;

3) условий залегания и площади распространения изучаемых грунтовых водоносных горизонтов;

4) мощности, химического и механического состава почв;

5) характера растительного покрова и его транспирационной деятельности;

6) условий поверхностного стока;

7) динамики влажности в зоне аэрации;

8) режима метеорологических и гидрологических факторов;

9) влияния тех или иных мероприятий (создание водохранилищ, орошение и пр.) на режим грунтовых вод.

Выяснение всех этих вопросов и составляет основу для установления условий и закономерностей питания, движения, дренирования и формирования запасов изучаемых грунтовых вод, их физических свойств и химического состава.

Для многолетних наблюдений за режимом грунтовых вод организуется стационарная сеть, которая, в зависимости от целевого назначения гидрогеологических исследований, может состоять из разного количества пунктов наблюдений, устанавливаемых после тщательного анализа литературных и фондовых материалов по геологии и гидрогеологии исследуемого района, а нередко и после рекогносцировочного обследования его с применением разведочных работ или гидрогеологической съемки.

В дополнение необходимо отметить, что существуют некоторые особенности изучения режима грунтовых вод, в зависимости от того, где находятся они в речных долинах и на междуречьях, предгорных шлейфах и межгорных котловинах, полупустынных и пустынных районах и на морских побережьях, а также на орошаемых и осушаемых землях.

Подробное описание этих особенностей можно найти в ранее указанном методическом руководстве (Методич. руков. по изуч. режима подз. вод, 1954) и в гл. XXV.

Зональность грунтовых вод

Грунтовые воды, так же как климат, почвы и растительность земного шара, закономерно изменяются от полюсов к экватору.

На основе этой закономерности, впервые (для почв) установленной В. В. Докучаевым, были позднее П. В. Отоцким (1914), В. С. Ильиным (1923), О. К. Ланге (1947), Г. Н. Каменским (1949), И. В. Гармоновым (1948, 1955), Г. А. Максимовичем (1947) и др. разработаны различные схемы зональности грунтовых вод для территории СССР.

Не рассматривая здесь схемы П. В. Отоцкого как устаревшей, отметим, что В. С. Ильин на территории Европейской части СССР выделяет

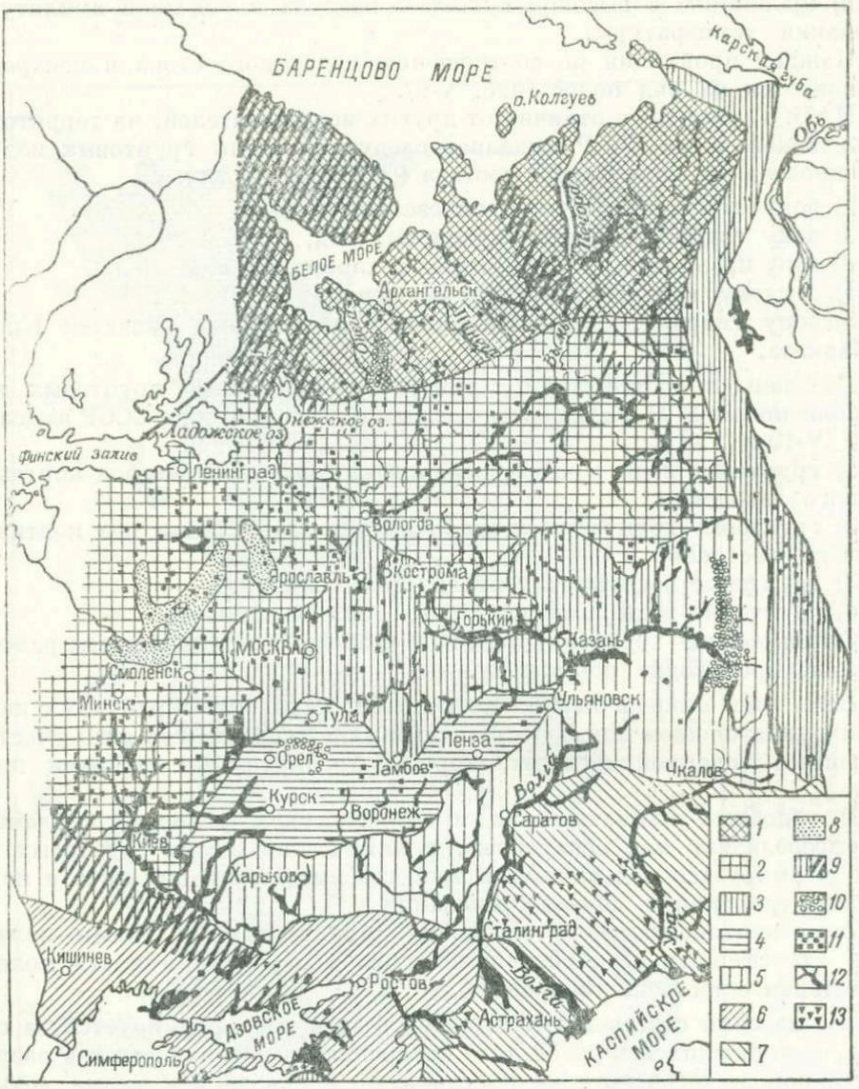


Рис. V-8. Схематическая карта грунтовых вод Европейской части СССР (по В. С. Ильину).

Зональные воды: *1* — воды зоны тундр; *2* — высокие воды Севера; *3* — воды зоны неглубоких оврагов; *4* — воды зоны глубоких оврагов; *5* — воды овражно-балочной зоны; *6* — воды зоны Причерноморских балок; *7* — воды Прикаспийских балок. Азональные воды: *8* — воды областей конечных морен; *9* — трещинные воды преимущественно в массивных породах; *10* — карстовые воды; *11* — болотные воды; *12* — воды аллювиальных и флювиогляциальных отложений; *13* — воды солончаков.

зональные и азональные воды и среди них отдельные зоны и виды (рис. V-8).

О. К. Ланге на территории СССР выделяет три провинции зональных грунтовых вод:

а) провинцию вечной мерзлоты с отрицательными среднегодовыми температурами;

б) провинцию с высокой влажностью воздуха, положительными среднегодовыми температурами и небольшой амплитудой суточных, сезонных и годовых колебаний температуры;

в) провинцию с высокой сухостью воздуха и большой амплитудой колебания температуры.

Каждая провинция по соотношению подземного стока и испарения расчленяется на ряд полос (рис. V-9).

И. В. Гармонов, в отличие от других исследователей, на территории Европейской части СССР выделяет следующие зоны грунтовых вод по особенностям их химического состава (с севера на юг):

1) зону гидрокарбонатно-кремнеземистых вод;
2) зону гидрокарбонатно-кальциевых вод;
3) зону преобладания сульфатных и хлоридных вод;
4) подзону континентального засоления;
5) зону гидрокарбонатно-кальциевых вод горных областей Крыма и Кавказа.

Наконец, в соответствии с генетическими типами грунтовых вод, предложенными Г. Н. Каменским, последний на территории СССР выделяет (рис. V-10):

1) грунтовые воды зоны выщелачивания без участков вод континентального засоления;
2) грунтовые воды зоны выщелачивания с участками вод континентального засоления;
3) грунтовые воды континентального засоления;
4) грунтовые воды выщелачивания горных районов.

Формирование грунтовых вод, перечисленных в данной схеме районирования, происходит по-разному.

Воды зоны выщелачивания имеют распространение в районах с избыточным увлажнением или недостаточным увлажнением, где есть участки, сложенные водопроницаемыми, хорошо дренируемыми горными породами.

В подобных климатических и геологических условиях подземный сток преобладает над испарением, и химический состав грунтовых вод здесь формируется под влиянием процесса выщелачивания почв и пород при выветривании и почвообразовании.

Зона континентального засоления характеризуется малым количеством атмосферных осадков, интенсивным испарением и почти полным отсутствием естественного дренажа.

Химический состав грунтовых вод в этой зоне формируется за счет солей, накопившихся в результате испарения на поверхности и в разрезе почв и пород, через которые просачиваются дождевые и талые воды в грунтовые водоносные горизонты. Большое влияние на химизм грунтовых вод в этой зоне оказывают состав самих водосодержащих пород и морфология современного рельефа. Установлено, что в различных условиях современного рельефа залегают разные по минерализации грунтовые воды.

Пресные воды встречаются на возвышенностях, водоразделах, где обычно и находятся основные области питания грунтовых водоносных горизонтов; воды с повышенной минерализацией располагаются у подножий склонов, а соленые минерализованные воды — в балках, долинах и других отрицательных формах рельефа.

Следует отметить, что изучение зональности грунтовых вод необходимо не только для выяснения условий формирования и режима этих вод, но и при выборе их для практического использования в тех или иных целях (водоснабжение, орошение, осушение и пр.).

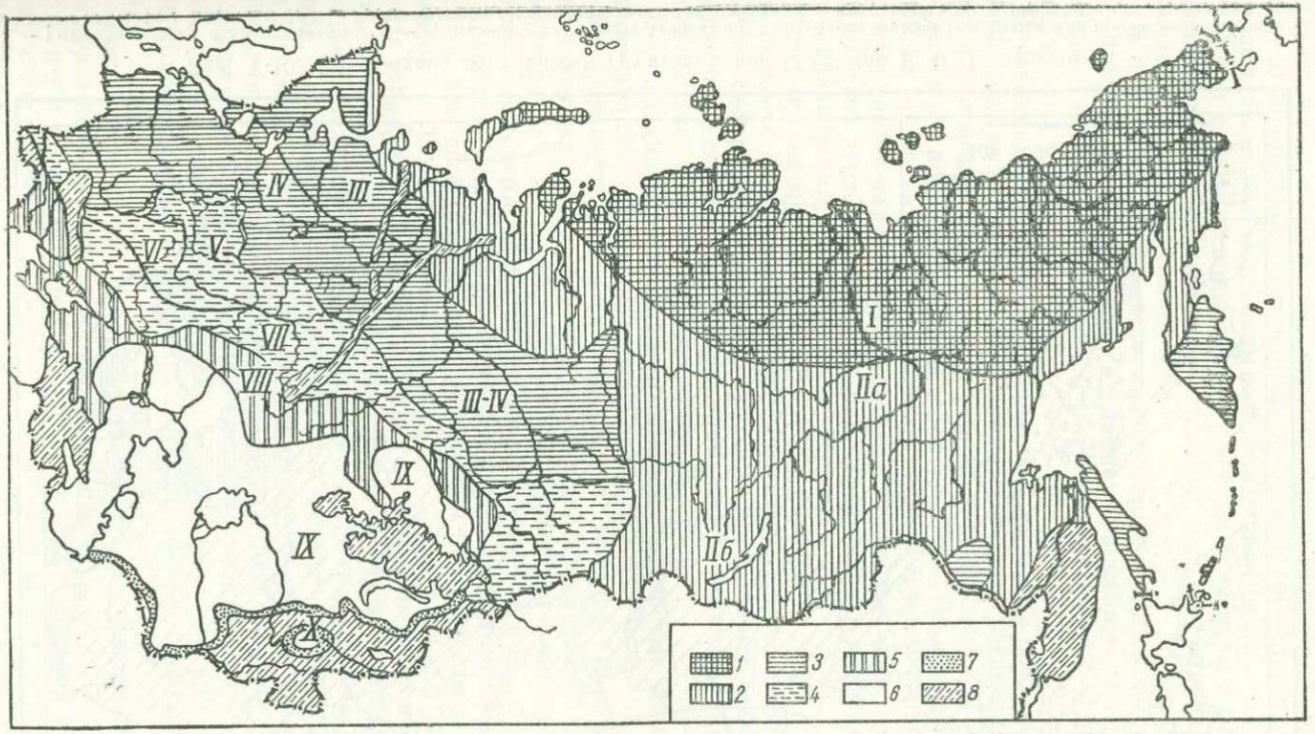


Рис. V-9. Схема распространения зональных грунтовых вод на территории СССР (по О. К. Ланге).

Провинция вечной мерзлоты: *1* — сплошная мерзлота с сезонно промерзающими грунтовыми водами (*I*); *2* — таликовая и островная мерзлота с полупромерзающими (*IIа*) и непромерзающими (*IIб*) водами. Провинция с высокой влажностью воздуха; *3* — полоса избыточного увлажнения с водами типа тундровых (*III*) и типа высоких вод Севера (*IV*); *4* — полоса неустойчивого увлажнения в зонах неглубоких оврагов (*V*), глубоких оврагов (*VI*), овражно-балочной (*VII*). Провинция с высокой сухостью воздуха: *5* — полоса балок с преобладанием подземного стока над испарением (*VIII*); *6* — полоса равновесия подземного стока и испарения (*IX*); *7* — полоса подгорных шлейфов и предгорных равнин (*X*); *8* — области азональных грунтовых вод.

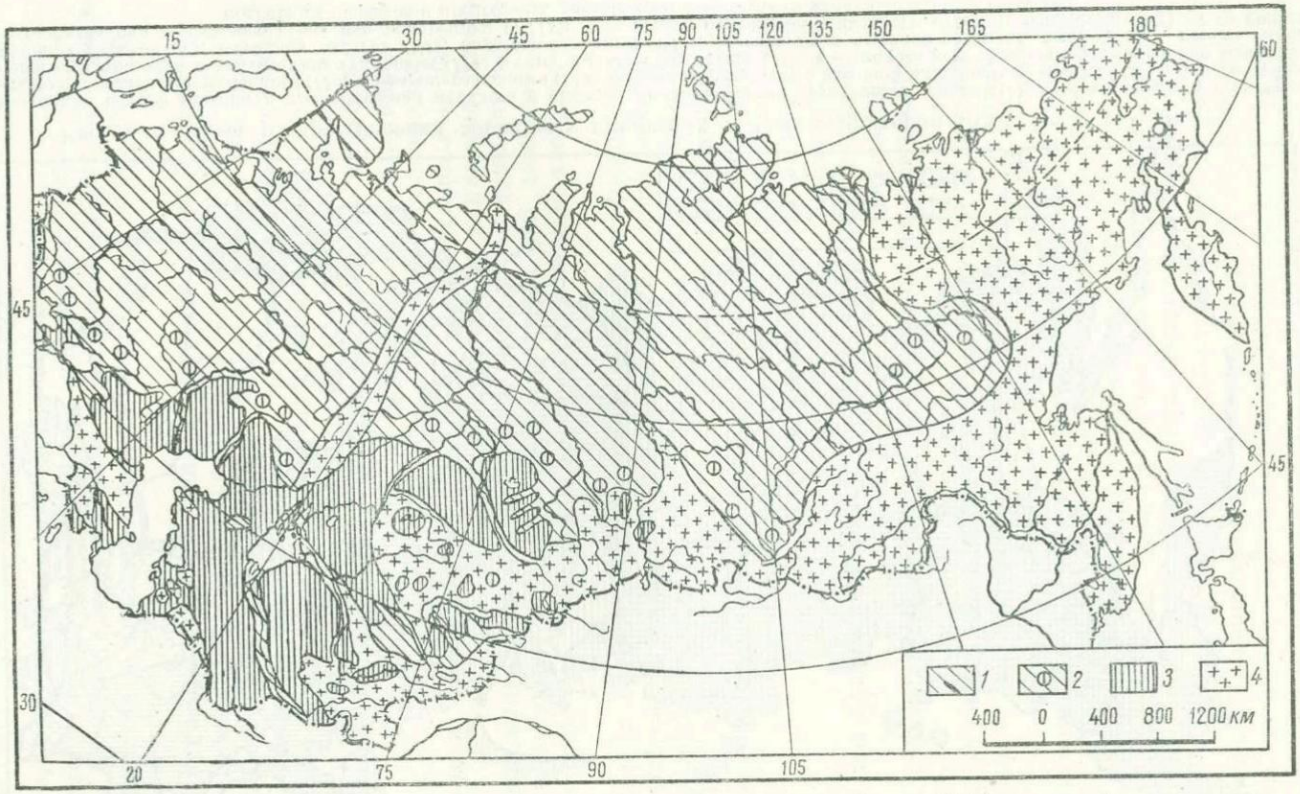


Рис. V-10. Карта-схема зональности грунтовых вод СССР (по Г. Н. Каменскому).

1 — грунтовые воды выщелачивания; *2* — грунтовые воды выщелачивания с интразональными участками вод континентального засоления (показаны кружками); *3* — грунтовые воды континентального засоления; *4* — грунтовые воды выщелачивания горных районов.

Основные типы поровых грунтовых вод

Отмечаются следующие основные типы грунтовых вод: 1) речных долин; 2) ледниковых отложений; 3) степей, полупустынь и пустынь; 4) горных областей; 5) песчаных морских побережий.

Грунтовые воды в речных долинах приурочены к древним и современным аллювиальным песчано-гравийным, песчаным и песчано-глинистым отложениям.

На отдельных участках долин некоторых рек и, в частности, Волги, Оки, Днепра, Москвы, и других песчано-гравийные разности аллювия залегают в нижних, а песчаные и песчано-глинистые — в верхних частях разрезов этих участков.

Источниками питания грунтовых вод речных долин являются атмосферные осадки и поверхностные воды. Глубина залегания этих вод от поверхности земли изменяется от 0 (в местах выхода воды на поверхность на склонах и у подножия речных террас) до 10—15 *м* и более.

Воды аллювиальных отложений обычно пресные, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого состава, пригодные для водоснабжения.

Разведка этих вод производится скважинами и шурфами; эксплуатация — скважинами, колодцами, галереями.

Грунтовые воды ледниковых отложений широко развиты в северных, северо-западных районах Европейской части СССР, в Северной Германии и Польше. Ледниковые отложения в этих районах представлены валунными глинами и суглинками, а также флювиогляциальными песками и галечниками.

Пески и галечники слагают озы, камы, зандровые поля и выполняют древние долины стока талых вод ледника.

Эти долины встречаются в Польше и Северной Германии между грядами конечных морен, имеющих широтное простирание. Ширина долин изменяется от 3 до 25 *км*, а мощность аллювиально-флювиогляциальных песков и галечников достигает десятков метров. [1]

С песками и галечниками связаны мощные бассейны и потоки грунтовых вод, используемых для водоснабжения населенных пунктов и других объектов в Германии и Польше.

На территории СССР грунтовые воды приурочены к песчаным полям, озам, камам. Особенно обширные песчаные поля с большими запасами грунтовых вод развиты в районах Минска, Мытищ (под Москвой) и других местах. Грунтовые воды района Мытищ долгое время эксплуатировались для водоснабжения Москвы; в настоящее время они используются для водоснабжения местных предприятий и населенных пунктов.

Грунтовые воды флювиогляциальных отложений в большинстве своем слабо минерализованные; они используются для водоснабжения сельскохозяйственных объектов, промышленных предприятий и городов.

Разведка этих вод может осуществляться скважинами и шурфами; эксплуатация — скважинами и колодцами.

Грунтовые воды степных, полупустынных и пустынных районов имеют свои особенности, обусловленные гидролого-метеорологической обстановкой. Для этих районов характерны: малое количество атмосферных осадков (в среднем 150—200 *мм* в год), слабо развитая гидрографическая сеть, широкое распространение лес-

[1] Такие долины хорошо выражены в Эстонской ССР. *Научн. ред.*

совидных пород и сухих песков, высокое испарение. Таким образом, общие условия формирования грунтовых вод в этих районах являются весьма неблагоприятными.

Грунтовые воды здесь характеризуются своей пестротой как по условиям залегания, так и химическому составу.

В районах распространения лессовидных пород грунтовые водоносные горизонты обычно залегают глубоко от поверхности земли, обладают слабой водообильностью, а воды их — повышенной минерализацией.

Грунтовые воды сухих степей и полупустынь (Прикаспийская низменность и другие районы) залегают на различных глубинах от поверхности земли. Они в большей части имеют высокую минерализацию и являются непригодными для водоснабжения.

Высокая минерализация грунтовых вод является следствием интенсивного испарения, которое здесь происходит не только с водной поверхности суши, но и с поверхности грунтовых вод, когда зеркало последних залегает на глубине, не превышающей высоты капиллярного поднятия у вышележащих пород. В последнем случае поры-капилляры являются путями движения грунтовых вод к поверхности земли, где эти воды испаряются в атмосферу, что приводит к засолению почвенного покрова и образованию солончаков.

Пресные грунтовые воды в сухих степях и полупустынях имеют распространение на небольших по площади пониженных участках, где атмосферные воды просачиваются на глубину в бо́льших количествах, чем на возвышенных пространствах и приводораздельных склонах.

Грунтовые воды песчаных пустынь (Кара-Кум, Кызыл-Кум, Муюн-Кум) почти повсеместно сильно минерализованы и непригодны для водоснабжения. Пресные источники и колодцы в пустыне Кара-Кум встречаются или у подножия г. Копет-Дага, или в районах такыров, представляющих собой глинистые площадки, окруженные барханными песками. Воды, пригодные для питья, залегают здесь в линзах песка, окружающего такыры. Они образуются за счет дождевых вод, выпадающих на поверхность такыров, где они собираются в естественные трещины или искусственные канавы и по ним отводятся в пески, окружающие такырные участки. В песках дождевые воды отжимают соленые воды, образуя при этом линзы пресных вод, которые затем используются для водоснабжения.

Грунтовые воды горных областей связаны с песчано-глинистыми отложениями конусов выноса и предгорных наклонных равнин, аллювиальными образованиями горных рек, породами межгорных котловин, иногда бессточных.

В предгорных равнинах и конусах выноса, в местах, где в разрезе водопроницаемых пород встречаются линзы глин, грунтовые воды приобретают местный напор, высота которого определяется положением уровня грунтовых вод относительно нижней поверхности водоупорных линз.

Грунтовые воды в горных областях преимущественно пресные, пригодные для водоснабжения; в замкнутых межгорных котловинах — пестрые; в краевых частях котловин, где выпадает бо́льшее количество атмосферных осадков, грунтовые воды залегают глубоко от поверхности земли и являются пресными.

Разведка грунтовых вод в горных районах производится скважинами и шурфами; эксплуатация — скважинами и колодцами.

Грунтовые воды песчаных морских побережий приурочены к дюнным мелкозернистым, однородным пескам,

причем зеркало грунтовых вод в сглаженном виде повторяет дюнную поверхность.

Установлено, что в дюнных песках морских побережий и на песчаных островах пресные грунтовые воды на определенной глубине от уровня моря сменяются солеными водами (рис. V-11).

В соответствии с рис. V-11 глубина залегания пресных вод, при среднем удельном весе морской воды, равном 1,024, рассчитывается по формуле

$$H' = 43h, \tag{V-1}$$

здесь

$$H' = H + h,$$

где

H — глубина залегания пресных вод, считая от уровня моря;

h — превышение уровня пресных вод над уровнем моря.

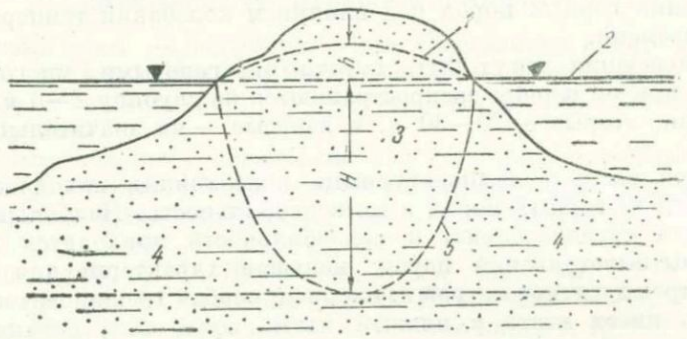


Рис. V-11. Схема залегания пресных грунтовых вод на песчаном острове в море.

1 — уровень пресных грунтовых вод; *2* — уровень моря; *3* — водоносные пески с пресными водами; *4* — водоносные пески с солеными водами; *5* — граница между пресными и солеными водами.

Режим эксплуатации пресных грунтовых вод дюн и островов должен устанавливаться по данным опытных откачек и стационарных наблюдений, которыми определяется соотношение между отбираемым количеством воды (Q_1) и поступлением пресной воды, в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков (Q_2); при этом, во избежание подсасывания соленых вод, должно сохраняться соотношение

$$Q_1 < Q_2.$$

§ 5. ТРЕЩИННЫЕ ГРУНТОВЫЕ И НАПОРНЫЕ ВОДЫ

Трещинные воды — подземные воды, залегающие и циркулирующие в трещиноватых магматических, метаморфических и осадочных горных породах.

В горных породах различают три главных типа трещин по их происхождению:

1) трещины тектонические, образовавшиеся при формировании геологических структур;

2) трещины выветривания, возникающие при выветривании и размывании горных пород;

3) трещины литогенетические, связанные с формированием пород.

Часто в горных породах одного и того же района имеет место сочетание всех трех или двух типов трещин. Водообильность трещиноватых горных пород в значительной степени зависит от типа развитых в них трещин и характера взаимосвязи последних между собой.

В районах с развитием тектонической трещиноватости наибольшая водообильность пород наблюдается в зонах разрывных дислокаций (сбросов, взбросов) и в местах развития отдельных крупных открытых трещин или трещин, заполненных проницаемым песчаным или песчано-глинистым материалом.

С глубокими тектоническими трещинами земной коры связаны минеральные и термальные воды, обладающие иногда специфическим солевым и газовым составом, отличным от состава подземных вод верхних водоносных горизонтов (см. гл. VII).

Трещины выветривания образуются главным образом при нагревании и охлаждении горных пород под влиянием колебаний температуры воздуха во времени.

Эти колебания могут быть суточными, годовыми, многолетними и вековыми, причем первые распространяются на глубину 2—3 *м* от поверхности земли; вторые — 20—30 *м*, и вековые — на значительно бо́льшие глубины.

В тесной связи с температурными колебаниями находятся степень трещиноватости горных пород и их водообильность. Наибольшая трещиноватость, а следовательно, и водообильность приходится на первые 2—3 *м* зоны выветривания пород; меньшая характерна для последующих двух-трех десятков метров и, наконец, слабая трещиноватость и водообильность имеет место в нижней части зоны выветривания горных пород.

Литогенетические трещины имеют развитие в пределах всей мощности пласта или толщи горных пород. С этими трещинами бывают связаны как грунтовые воды, например, в трещиноватых базальтовых лавах и пр., так и трещинно-пластовые воды в артезианских бассейнах.

Подземные воды различных по происхождению трещин нередко бывают гидравлически связаны между собой, чем и объясняется во многих случаях пестрота химического состава вод, вскрываемых скважинами в трещиноватых породах или выходящих из них на поверхность в виде источников.

Питание трещинных вод в основном происходит за счет атмосферных осадков, причем условия питания зависят от морфологии современного рельефа и характера пород четвертичного покрова.

Установлено, что открытые трещины обычно приурочиваются к крутым склонам современного рельефа. Это объясняется тем, что продукты выветривания под влиянием силы тяжести здесь сносятся вниз; грунтовые воды обладают в данном случае большими уклонами зеркала, а в связи с этим и большими скоростями движения. Это способствует лучшему вымыванию обломочного материала из трещин.

Через открытые трещины атмосферные воды поступают в трещиноватые породы, образуя в них трещинные грунтовые воды, в большинстве случаев гидравлически связанные с грунтовыми водоносными горизонтами, приуроченными к обломочным породам конусов выноса, предгорных равнин, межгорных котловин или речных долин.

Естественно, что наиболее интенсивная инфильтрация и инфлюация атмосферных осадков будет происходить на водораздельных участках,

где трещиноватые горные породы выходят непосредственно на дневную поверхность.

Трещинные воды по связи их с определенными типами трещин и гидравлическим свойствам разделяют:

1) на трещинные грунтовые воды, приуроченные к литогенетическим трещинам и трещинам выветривания;

2) на трещинно-жильные напорные воды, связанные с тектоническими трещинами.

Специальная классификация трещинных вод и подробное их описание приведены в работе Н. И. Плотникова, М. В. Сыроватко и Д. И. Щеголева [1957].

Движение трещинных вод в земной коре, в зависимости от размера трещин, бывает ламинарным и турбулентным (см. гл. X, XII, XVIII, XIX).

§ 6. КАРСТОВЫЕ ГРУНТОВЫЕ И НАПОРНЫЕ ВОДЫ

Карстовые воды — подземные воды, залегающие и циркулирующие в трещинах, пустотах, каналах, пещерах, образовавшихся в результате выщелачивания известняков, доломитов, гипсов, ангидритов и солей (галита и других).

Карстовым явлениям посвящены работы таких известных исследователей, как: Е. Мартеля, А. Грунда, Ф. Катцера, А. А. Крубера, В.А.Варсанофьевой, А. С. Баркова, И. К. Зайцева, Г. А. Максимовича, М. А. Гатальского, А. И. Дзенс-Литовского, А. А. Иванова, Ф. А. Макаренко, Н. А. Гвоздецкого, А. Ф. Якушовой, В. А. Апродова, Д. С. Соколова, Н. И. Соколова, Д. В. Рыжикова, Ю. П. Пармузина, Н. И. Николаева, Е. А. Лушникова, С. Т. Каштанова, Л. В. Ступишина и др. [1]

В работах большинства этих исследователей характеризуется и гидрогеология [2] карстовых районов.

Не описывая здесь процесс карстообразования, подробно рассмотренный в работах многих из перечисленных ученых, отметим лишь, что развитие карста по взглядам большинства его исследователей обусловливается следующими основными факторами:

1) наличием растворимых горных пород (известняков, доломитов, гипса, ангидрита, солей);

2) трещиноватостью и пористостью этих пород, способствующих проникновению в них атмосферных и поверхностных вод;

3) колебательными движениями земной коры, определяющими развитие или затухание процесса карстообразования;

4) наличием движущихся вод, в том числе и глубинных (термальных, углекислых и других), производящих выщелачивание горных пород;

5) общим геолого-структурным строением, рельефом и климатом района развития карстующихся горных пород, ускоряющим или замедляющим процесс карстообразования.

Все эти тесно связанные между собой факторы определяют процесс карстообразования, следствием которого являются поверхностные и подземные формы карста, имеющие огромное значение в гидрогеологии карстовых районов. К основным поверхностным формам карста относятся:

---

[1] Труды этих и других исследователей составляют основу карстоведения — науки, изучающей карст во всех формах проявления его в природе.

[2] По терминологии многих исследователей — гидрография карста.

1) воронки различных размеров, симметричные и асимметричные, представляющие собой понижения в рельефе с каналом (понором), идущим в глубь массива карстующихся пород;

2) карстовые колодцы — крупные вертикальные трещины округлой формы;

3) карстовые овраги — вытянутые по простиранию понижения;

4) полья — крупные замкнутые карстовые депрессии современного рельефа.

К подземным формам карста принадлежат различные по размерам вертикальные и горизонтальные каналы, галереи и пещеры, включая сюда и так называемые сифонные каналы, с которыми бывает связано сифонное движение воды, питающей субмаринные источники (гл. VI).

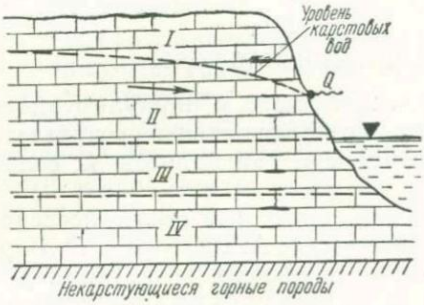


Рис. V-12. Гидрогеологические зоны карстовых вод (по И. К. Зайцеву).

I — зона периодической циркуляции воды; *II* — зона активных запасов воды; *III* — зона сифонной циркуляции; *IV* — зона пассивных запасов карстовых вод.

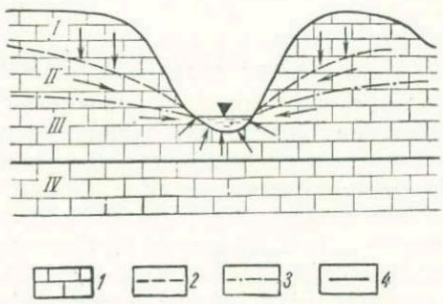


Рис. V-13. Схема зональности карстовых вод (по Д. С. Соколову).

I — зона аэрации; *II* — зона сезонных колебаний уровня подземных вод; *III* — зона полного насыщения; *IV* — зона глубинной циркуляции; *1* — известняки; *2* — высокий уровень карстовых вод; *3* — низкий уровень карстовых вод; *4* — направление движения воды.

В вертикальном разрезе карстовых районов некоторые исследоват ли выделяют ряд зон, обладающих своими гидрогеологическими особенностями.

Так, И. К. Зайцевым [1940] выделяются четыре взаимосвязанные зоны (рис. V-12).

I. Зона периодической циркуляции воды, приуроченная к вертикальным карстовым каналам.

II. Зона активных запасов воды, приуроченная к зоне горизонтальной циркуляции карстовых вод.

III. Зона сифонной циркуляции, приуроченная к сифонным каналам.

IV. Зона пассивных запасов карстовых вод.

Д. С. Соколовым [1951] в разрезе карстового района также выделяются четыре зоны, которые различаются между собой по условиям движения подземных вод (рис. V-13).

I. Зона аэрации, где движение инфильтрационных и инфлюационных вод происходит по трещинам (реже порам) и карстовым каналам, преимущественно в вертикальном направлении.

II. Зона сезонных колебаний уровня подземных вод, для которой характерна периодическая смена горизонтального и вертикального движения подземных вод.

III. Зона полного насыщения, залегающая в сфере дренирующего воздействия гидрографической сети; движение подземных вод в этой зоне

направлено в сторону речных долин, а близ нижней границы зоны оно носит напорный характер и направлено снизу вверх.

IV. Зона глубокой циркуляции, в которой движение подземных вод происходит вне непосредственного дренирующего воздействия главной реки данного карстового района и направлено или в сторону главной реки другого соседнего района, имеющей более глубокий эрозионный врез, или к депрессии тектонического характера.

В последнее время Г. А. Максимовичем [1956, 1957] предложена наиболее полная схема гидродинамической зональности карстовых вод. По этой схеме в карстовых районах выделяются следующие зоны циркуляции вод. I. Зона поверхностной циркуляции. II. Зона вертикальной (нисходящей) циркуляции. III. Зона переходная. IV. Зона горизонтальной циркуляции. V. Зона сифонной циркуляции. VI. Зона глубинной циркуляции.

I. Зона поверхностной циркуляции — зона, в которой атмосферная вода стекает по поверхности карстующихся горных пород, не покрытых другими некарстующимися породами, и образует при этом карры, ложбины, коррозионно-эрозионные воронки и т. п., а также карстовые озера.

II. Зона вертикальной (нисходящей) циркуляции соответствует зоне периодической циркуляции И. К. Зайцева или зоне аэрации Д. С. Соколова, где движение воды происходит вниз по вертикальным трещинам и пустотам. Мощность этой зоны зависит от мощности карстующихся пород, характера современного рельефа и климата карстового района. На равнинных участках мощность зоны составляет 30—100 *м* и более; в горных районах — сотни метров, а иногда 1—2 *км*.

III. Зона переходная, для которой характерно чередование вертикальной и горизонтальной циркуляции, обусловленное сезонными колебаниями уровня карстовых вод. При подъеме уровня последних происходит горизонтальное движение вод; при спаде — вертикальное. Мощность переходной зоны определяется амплитудой колебания уровня карстовых вод, величина которой зависит от количества выпадающих атмосферных осадков, рельефа местности и степени закарстованности горных пород (уменьшается с увеличением закарстованности пород).

IV. Зона горизонтальной циркуляции, в которой движение карстовых вод происходит к речным долинам или окраине карстующегося массива.

V. Зона сифонной циркуляции характеризуется напорным движением карстовых вод, приуроченных к сифонным каналам, которые в равнинных районах залегают ниже уровня рек; в горных, при отсутствии магистральных речных долин, они выходят или на окраине карстующегося массива, или залегают ниже уровня моря. В районах с наличием магистральных рек движение вод происходит от водораздельных пространств к этим рекам в их подрусловые каналы, образуя подрусловые потоки, текущие в направлении уклона рек. При этом в местах, где карстующиеся горные породы, вследствие изменения геологического строения или наличия разрывных дислокаций, сменяются некарстующимися, подрусловые воды выходят в реке или близ ее русла в виде восходящих источников.

В горных районах, где отсутствуют магистральные речные долины, карстовые воды зоны сифонной циркуляции разгружаются или в виде наземных источников (на окраине карстующегося массива, при большом

расстоянии его от берега моря), или субмаринных источников (при нахождении карстующегося массива близ моря).

VI. Зона глубинной циркуляции, залегающая ниже речных долин и подрусловых пустот, характеризуется движением воды по структурам в направлении базисов разгрузки континентов, морей и океанов.

В зависимости от мощности и площади распространения карстующихся пород, геолого-структурного строения карстовой области, степени расчлененности ее рельефа, наличия или отсутствия в ней речных долин, знака колебательных движений земной коры, климатических условий, положения карстовой области относительно морского берега и т. д. в областях известнякового и гипсового карста, выделяется, по Г. А. Максимовичу [1957], пять типов вертикальных гидрогеологических разрезов.

I тип соответствует разрезу, в котором развита только одна зона вертикальной (нисходящей) циркуляции вод. Характерен для карстующихся массивов, подстилаемых водопроницаемыми некарстующимися горными породами (Крымские Яйлы и др.).

II тип отвечает разрезу, где имеется только одна зона горизонтальной циркуляции карстовых вод. Характерен для пологопадающих пластов гипса, залегающих на водоупорном ложе и перекрытых некарстующимися горными породами (западное крыло Предуральского прогиба и др.).

III тип характерен для разрезов, в которых встречаются зоны вертикальной и горизонтальной циркуляции, приуроченные к известнякам, доломитам, гипсам, ангидритам небольшой мощности, подстилаемым водопроницаемыми некарстующимися горными породами значительной мощности (Крым, Марокко, Восточные Альпы вблизи Вены, плато Ла Мурдже в Италии и др.).

IV тип встречается в разрезах, где развиты зоны вертикальной, горизонтальной и сифонной циркуляции. Характерен для мощных карстующихся толщ, причем при наличии магистральных речных долин воды сифонной циркуляции разгружаются в подрусловые пустоты, а при отсутствии долин — на окраине карстующегося массива (район Гагры на Черном море, средиземноморские карстовые области и др.).

V тип характерен для разрезов, в которых развиты все зоны циркуляции вод — вертикальная, горизонтальная, сифонная и глубинная.

Следует отметить, что в одной и той же карстовой области могут иметь место два-три типа гидрогеологических разрезов.

В зависимости от геологического и геоморфологического строения карстовой области и ее положения относительно морского берега находятся не только типы вертикальных гидрогеологических разрезов, но и условия питания и дренирования карстовых вод.

В горно-складчатых районах области питания карстовых вод располагаются по периферии этих районов, на поверхностях выравнивания; движение вод направлено к предгорьям, и области разгрузки в общем носят линейный характер. В приморских районах встречаются субмаринные источники.

В платформенных районах, расположенных близ моря, карстовые воды обладают также односторонним стоком. Для районов платформенного типа, расчлененных речными долинами и сложенных на значительной площади карстующимися горными породами, характерен двухсторонний сток карстовых вод. Последний наблюдается также в узких полосах кар-

стующихся пород, заключенных между некарстующимися горными породами.

Наконец, на небольших по площади карстующихся массивах в горных и платформенных районах может иметь место центробежный сток с овальной областью разгрузки, которая располагается по периферии массивов.

Карстовые воды характеризуются специфическими особенностями своего режима и химического состава. Специфичность режима карстовых вод заключается в том, что они, при залегании выше местного или общего базиса эрозии, обладают:

1) турбулентным характером движения в крупных трещинах, каналах и пещерах;

2) резкими и неравномерными во времени колебаниями уровня в период выпадения ливневых осадков, снеготаяния и т. п.;

3) более интенсивным движением, чем воды пористых водоносных горизонтов.

Химический состав карстовых вод в основном определяется составом карстующихся горных пород, гидродинамической зональностью земной коры (см. гл. VIII), влиянием климата и деятельностью человека.

В общем менее минерализованные воды характерны для известнякового карста; более минерализованные — для гипсового и наиболее минерализованные — для соляного карста.

Карстовые воды известняков, доломитов, мраморов зоны интенсивного водообмена обычно пресные, гидрокарбонатные; зоны затрудненного водообмена — минерализованные, сульфатные и хлоридные и зоны весьма затрудненного водообмена — высокоминерализованные соленые воды и рассолы хлоридного состава.

Карстовые воды гипсов и ангидритов зоны интенсивного водообмена сульфатные, а в зонах затрудненного и весьма затрудненного водообмена — хлоридные, часто рассольного типа.

Карстовые воды солей во всех трех зонах соленые хлоридного состава. Эти воды, выходящие на поверхность в виде источников, широко используются при поисках соляных месторождений по гидрогеологическим признакам.

На состав карстовых вод, приуроченных к карбонатным, сульфатным и соленосным породам, особенно залегающим в зоне интенсивного водообмена, оказывают влияние климатические условия и деятельность человека.

Известно, что большие количества выпадающих атмосферных осадков вызывают опреснение карстовых вод. С деятельностью человека связано загрязнение этих вод промышленными и фекальными водами и обогащение их нитратами и другими компонентами, изменяющими облик типично карстовых вод.

На территории СССР карстовые воды широко распространены как на площади, так и на глубине.

Они связаны с известняками, доломитами, мраморами различного возраста — от докембрия до четвертичного — и гипсами, ангидритами, солями от кембрийского до третичного возраста.

Наиболее изучены карстовые воды в Крыму, на Кавказе, под Ленинградом и Прибалтике, в Тульской, Московской, Воронежской и других областях, в Карпатах, за западном склоне Урала, Уфимском плато, Алтае, по р. Волге в районе Самарской Луки, в бассейне р. Лены, в Средней Азии и многих других районах СССР (см. библиографию к первому разделу).

Общие методические указания по изучению карстовых вод приводятся ниже в главе IX.

§ 7. АРТЕЗИАНСКИЕ ВОДЫ

Артезианские воды — напорные подземные воды, залегающие между водоупорными слоями в пределах сравнительно крупных геологических структур (синклиналей, моноклиналей и др.), сложенных породами дочетвертичного, реже четвертичного возраста [1].

Эти структуры, содержащие в себе один, два или несколько напорных водоносных горизонтов и обладающие значительными размерами по площади, называются артезианскими бассейнами.

В каждом артезианском бассейне выделяются следующие различные по гидрогеологическим условиям составные части (рис. V-14): 1) область питания; 2) область напора; 3) область разгрузки.

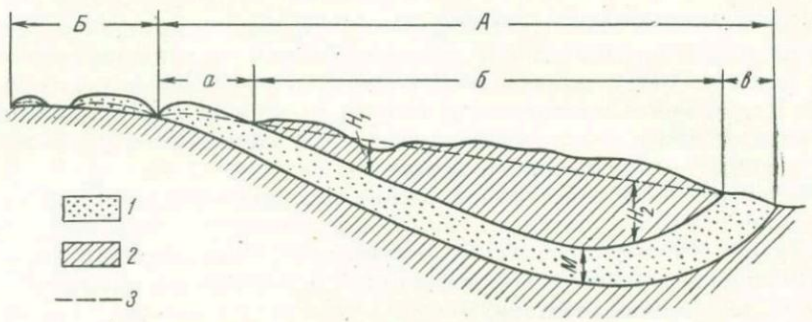


Рис. V-14. Схема артезианского бассейна (по А. М. Овчинникову).

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

Область питания. Область питания — площадь выхода водопроницаемых горных пород, участвующих в строении артезианского бассейна, на дневную поверхность.

Располагается эта область на более высоких отметках. Подземные воды области питания не обладают напором, имеют непосредственную связь с атмосферой, часто дренируются местной гидрографической сетью.

Область напора. Область напора — основная площадь развития артезианского бассейна, в пределах которой уровень подземных вод залегает выше кровли водоносных горизонтов. Этот уровень называется напорным или пьезометрическим, а расстояние по вертикали от кровли водоносного горизонта до данного уровня — н а п о р о м.

Пьезометрический уровень может быть положительным и отрицательным; в первом случае он залегает выше, во втором — ниже поверхности земли.

Необходимо заметить, что эти понятия являются условными, так как в зависимости от изменения условий питания и эксплуатации артезианских вод положительный уровень может перейти в отрицательный (при интенсивной эксплуатации напорного горизонта), а отрицательный —

[1] Некоторые гидрогеологи к артезианским водам относят только самоизливающиеся напорные воды.

в положительный (при улучшении питания горизонта, например, искусственным путем с помощью нагнетательных или водопоглощающих скважин).

Линии, соединяющие на карте точки с одинаковыми абсолютными или относительными отметками пьезометрического уровня, называются гидроизопьезами. Карта гидроизопьез строится методом интерполяции и отражает пьезометрическую поверхность данного напорного водоносного горизонта.

По карте гидроизопьез решаются следующие гидрогеологические задачи:

1) определяется направление движения напорных вод на заданном участке путем проведения нормали к двум смежным гидроизопьезам (по нормали поток будет направлен в сторону меньшей гидроизопьезы);

2) определяется уклон пьезометрической поверхности на заданном участке путем деления сечения карты на расстояние между двумя смежными гидроизопьезами в масштабе карты ($i = h/l$);

3) определяется уровень воды в отметках в любом заданном пункте.

Кроме этого, при нанесении на карту изолиний кровли и подошвы водоносного горизонта по карте гидроизопьез можно определить величину напора и мощность горизонта.

Область разгрузки. Область разгрузки — область выхода напорных вод на поверхность в виде восходящих источников, представляющих собой грифоны, концентрированные струи, рассеянные и линейные выходы и т. п. (см. гл. VI).

Разгрузка напорных вод может происходить на склонах террас и коренных берегов рек, озер и морей, а также в зонах тектонических нарушений и контактов магматических с осадочными горными породами и других местах.

Артезианские бассейны в разрезе обычно содержат несколько напорных водоносных горизонтов, каждый из которых, при отсутствии гидравлической связи между ними, характеризуется своей пьезометрической поверхностью, определяемой уровнями воды в областях питания и разгрузки данного водоносного горизонта. Кроме артезианских бассейнов, напорные воды встречаются в так называемых артезианских склонах, имеющих распространение в горных и предгорных районах.

Артезианские склоны — своеобразные асимметричные бассейны с моноклинально залегающими или выклинивающимися водоносными горизонтами.

Области питания и разгрузки в артезианских склонах находятся на близких расстояниях друг от друга, причем на границе областей питания и разгрузки могут выходить как нисходящие, так и восходящие источники (рис. V-15).

Наконец, артезианские воды часто залегают в бассейнах без видимых областей разгрузки, называемых бассейнами с замедленным водообменом (рис. V-16).

Водообмен в подобных бассейнах происходит весьма медленно во времени через слабо водопроницаемые породы, покрывающие водоносные горизонты.

В засушливых районах выходящие таким путем на поверхность подземные воды в значительных количествах расходуются на испарение. В частности предполагают, что такие условия водообмена имеют место в Терско-Кумском бассейне и некоторых районах Причерноморской впадины.

Химический состав подземных вод артезианских бассейнов обусловливается составом водоносных и водоупорных пород, соотношением между собой областей питания и напора, гидродинамической зональностью, геолого-структурными, климатическими и другими факторами.

Установлено, что в артезианских бассейнах при областях питания, значительно превышающих области напора, имеет место активный водообмен, поэтому в бассейнах подобного типа большим распространением пользуются пресные воды. В крупных артезианских бассейнах с небольшими областями питания и большими по площади областями напора значительное распространение имеют минерализованные воды, часто рассольного типа.

В артезианских бассейнах всех типов и размеров, при отсутствии в их разрезах гипсов, ангидритов и солей, а также высокопроницаемых пород, залегающих на глубине и выходящих на поверхность в областях питания

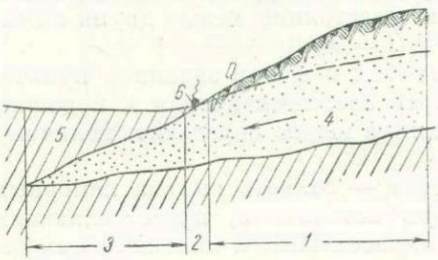


Рис. V-15. Схема артезианского склона.

1 — область питания артезианского склона; *2* — область разгрузки; *3* — область напора; *4* — водоносная порода; *5* — водоупорная порода; *6* — источники нисходящие и восходящие.

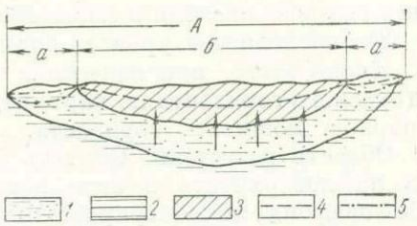


Рис. V-16. Схема артезианского бассейна с замедленным водообменом.

А — граница бассейна в данном разрезе; *а* — области питания (и частично стока); *б* — область напора и затрудненной медленной разгрузки через кровлю слабоводопроницаемых пород; *1* — водоносный горизонт с минерализованными водами; *2* — водоупорные породы; *3* — слабоводопроницаемые породы; *4* — уровень воды; *5* — граница между пресными и минерализованными водами.

бассейнов, пресные воды гидрокарбонатного состава обычно залегают в зоне интенсивного водообмена, минерализованные гидрокарбонатно-сульфатного, сульфатного и сульфатнохлоридного состава — в зоне затрудненного водообмена, и высокоминерализованные воды и рассолы хлорнатриевокальциевого типа — в зоне весьма затрудненного водообмена.

Мощности этих зон в каждом артезианском бассейне свои и определяются они конкретными геолого-структурным строением и гидрогеологическими условиями бассейнов (см. табл. VIII-1).

Артезианские воды имеют огромное значение в народном хозяйстве СССР. Они используются для водоснабжения городов, населенных пунктов, промышленных предприятий, железнодорожных станций, совхозов, МТС и других объектов, а также для извлечения брома, йода, в бальнеологических целях и пр.

Использование артезианских вод возможно только при достаточности их запасов, которые зависят от величины артезианских бассейнов, размеров областей их питания, числа водоносных горизонтов, их мощности и фильтрационных свойств, водоотдачи пород, слагающих водоносные горизонты, климатических условий и других факторов.

Запасы артезианских вод устанавливаются по результатам их разведки и опробования, причем в зависимости от степени разведанности запасы подразделяются на соответствующие категории (см. гл. XXII).

Разведка и эксплуатация артезианских вод осуществляются скважинами различной глубины и конструкции, которые устанавливаются, исходя из конкретных гидрогеологических условий артезианского бассейна. На территории СССР имеется много артезианских бассейнов, различных по площади, а также мощности, возрасту и составу слагающих их горных пород. В СССР артезианские бассейны встречаются как в платформенных, так и горно-складчатых областях и районах.

Районированием артезианских вод территории СССР занимались А. Н. Семихатов [1925], М. М. Васильевский [1938—1940], Г. Н. Каменский, М. М. Толстихина и Н. И. Толстихин [1957] и др. Ими предложены различные схемы районирования; из них здесь приводится только схема Г. Н. Каменского , М. М. Толстихиной и Н. И. Толстихина, которая построена по геолого-структурному признаку и является самой новейшей схемой в регионально-гидрогеологической литературе [1].

Схема районирования артезианских вод в СССР, по Г. Н. Каменскому, М. М. Толстихиной и Н. И. Толстихину, показана на рис. V-17, не требующем дополнительного пояснения.

§ 8. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ОБЛАСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ [2]

Многолетнемерзлые горные породы на территории СССР имеют широкое распространение. Они встречаются в различных по геоморфологическому и геолого-структурному строению районах и занимают площадь, превышающую 10 млн. *км*^{2} , что составляет около 47% всей территории страны (рис. V-18).

Распространены многолетнемерзлые горные породы и во многих других районах земного шара (Гренландия, острова Северного Ледовитого океана, Канада, Аляска, Монголия, Китай, Антарктида и др.), занимающих около 26% территории суши.

Многолетнемерзлыми горными породами называются породы, содержащие в порах, пустотах и трещинах лед и имеющие отрицательную или нулевую температуру, сохраняющуюся в течение многих лет и веков [3].

Область распространения многолетнемерзлых пород (многолетней мерзлоты) в СССР характеризуется:

1) отрицательной среднегодовой температурой воздуха;
2) сухой, холодной и продолжительной зимой;
3) коротким, сравнительно теплым летом;
4) малым (150—400 *мм*) количеством осадков, из которых на зимние приходится менее 50 *мм* (для большей части территории области).

---

[1] Эта схема районирования недостаточно учитывает геоструктурные особенности территории СССР и нуждается в уточнении. *Научн. ред.*

[2] В данном руководстве в основном сохраняются ранее установленные в мерзлотоведении термины, понятия и классификационные схемы, так как они прочно вошли в географическую, геологическую и гидрогеологическую литературу и в многочисленные работы по многолетней мерзлоте, и к тому же ими пользуется большинство специалистов, изучающих мерзлые горные породы в самых различных целях.

Новые термины, определения, понятия (например, «геокриология» и др.), разработанные коллективом сотрудников Института мерзлотоведения Академии наук СССР, значительно уточняют и в ряде случаев коренным образом изменяют существующие в мерзлотоведении терминологию, определения, классификации, но, несмотря на свою большую научную обоснованность, они пока не имеют широкого распространения в литературе и особенно в практике.

[3] Этим определением не отрицаются колебания температуры многолетнемерзлых горных пород во времени.

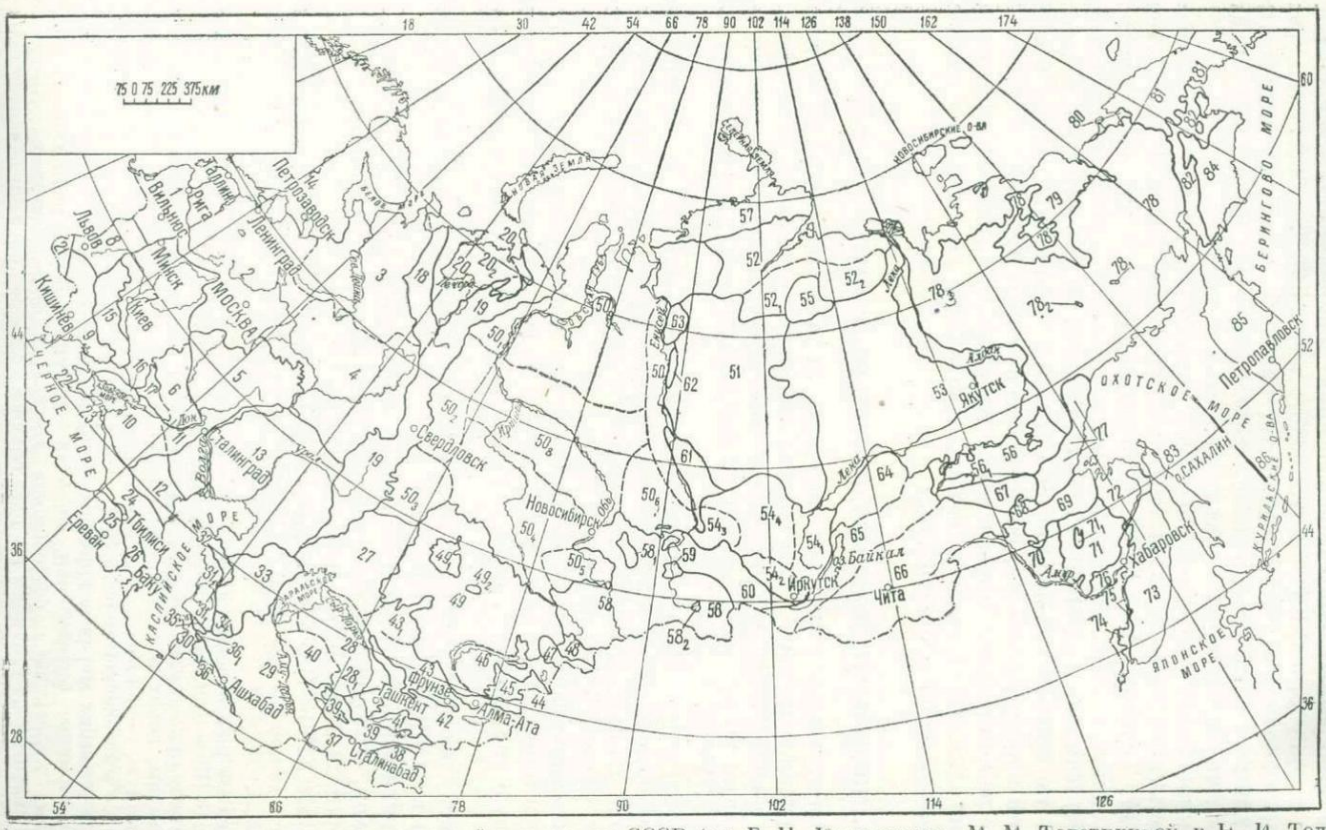


Рис. V-17. Карта гидрогеологического районирования СССР (по Г. Н. Каменскому, М. М. Толстихиной и Н. И. Толстихину). Европейская часть СССР, Урал и Кавказ.

Артезианские бассейны: *1* — Прибалтийский артезианский бассейн; *2—4* — артезианские бассейны Центра, Востока Севера Русской платформы (Русский артезианский сложный бассейн); *2* — Московский артезианский бассейн; *3* — Северодвинский артезианский бассейн; *4* — Волго-Камский артезианский бассейн; *5* — Сурско-Хоперский артезианский бассейн; *6—7* — Днепровско-Донецкий артезианский бассейн; *6* — Донецко-Донской артезианский бассейн; *7* — Днепровский артезианский бассейн; *8* — Львовский артезианский бассейн; *9* — Причерноморский артезианский бассейн; *10* — Приазовский артезианский бассейн; *11* — Ергенинский особый гидрогеологический район; *12* — Терско-Кумский артезианский бассейн; *13* — Прикаспийский артезианский бассейн.

Гидрогеологические складчатые области: *14* — Балтийская гидрогеологическая складчатая область; *15—16* — Украинская гидрогеологическая складчатая область: *15* — Подольская гидрогеологическая складчатая область; *16* — Азовский гидрогеологический массив; *17* — Донецкая гидрогеологическая складчатая область (Донбасс); *18—20* — Тимано-Уральская гидрогеологическая складчатая область: *18* — Тиманская гидрогеологическая складчатая область; *19* — Уральская гидрогеологическая складчатая область; 20_1—20_3 — Печорская группа артезианских бассейнов: 20_1 — Печорский артезианский бассейн; 20_2 — Усинский артезианский бассейн; 20_3 — Коротайхский артезианский бассейн; *21* — Карпатская гидрогеологическая складчатая область; *22—26* — Крымско-Кавказская гидрогеологическая сложная складчатая область: *22* — Крымская гидрогеологическая складчатая область; *23* — Керченско-Таманская гидрогеологическая область (система) малых артезианских бассейнов; *24* — Гидрогеологическая складчатая область Большого Кавказа (Большекавказская); *25* — Гидрогеологическая складчатая область Малого Кавказа (Малокавказская); *26* — Рионо-Куринская группа (система) малых арезианских бассейнов.

Средняя Азия и Восточный Казахстан

Артезианские бассейны: *27—29* — Группа Прикаральских артезианских бассейнов: *27* — Тургайский артезианский бассейн; *28* — Сыр-Дарьинский артезианский бассейн; 28_1 — Приташкентский артезианский бассейн 2-го порядка, *29* — Аму-Дарьинский (Каракумский) артезианский бассейн; *30* — Закаспийский (Западно-Туркменский) артезианский бассейн; 31_1—32_2 — Красноводско-Мангышлакский артезианский бассейн: 31_1 — Красноводский бассейн 2-го порядка; 31_2 — Мангышлакский бассейн 2-го порядка.

Гидрогеологические складчатые области: *32* — Мангышлакская гидрогеологическая складчатая область; *33* — Устюртская гидрогеологическая область (система) малых артезианских бассейнов *34* — Туаркырская гидрогеологическая складчатая область; *35* — Балханская гидрогеологическая складчатая область; *36* — Копетдагская гидрогеологическая складчатая область; 36_1 — Гидрогеологический район г. Малый Балхан; *37* — Южно-Таджикская гидрогеологическая область малых артезианских бассейнов; *38* — Памирская гидрогеологическая складчатая область; *39* — Алайская гидрогеологическая складчатая область: 39_1 — Зеравшанский межгорный артезианский бассейн; *40* — Кызылкумская гидрогеологическая область малых артезианских бассейнов и мульд с выступами палеозойского фундамента на поверхность в горах-одиночках; *41* — Ферганский артезианский бассейн; *42* — Тянь-шанская гидрогеологическая складчатая область; *43* — Чуйский артезианский бассейн: 43_1 — Сарысуйский артезианский бассейн; *44* — Илийский артезианский бассейн; *45* — Джунгарская гидрогеологическая складчатая область; *46* — Алакуль-Балхашский артезианский бассейн; *47* — Тарбагатайская гидрогеологическая складчатая область; *48* — Зайсанский артезианский бассейн; *49* — Северо-Казахстанская гидрогеологическая складчатая область: 49_1 — Тенгиз-Кургальджинский артезианский бассейн; 49_2 — Карагандинский артезианский бассейн.

Сибирь и Дальний Восток

Артезианские бассейны: 50_1—50_9 — Западно-Сибирский артезианский бассейн: 50_1 — северо-западное крыло; 50_2 — западное крыло; 50_3 — юго-западная часть — Тобольский артезианский бассейн; 50_4 — Иртышский артезианский бассейн; 50_5 — Кулундино-Барнаульский артезианский бассейн; 50_6 — Чулымский артезианский бассейн; 50_7 — восточное (Енисейское) крыло; 50_8 — Обский артезианский бассейн — центральная часть Западно-Сибирского артезианского бассейна; 50_9 — Прикарский артезианский бассейн; *51—54* — Восточно-Сибирская группа артезианских бассейнов: *51* — Тунгусский артезианский бассейн; *52* — Хатангский артезианский бассейн; 52_1 — Нижне-Котуйский гидрогеологический район (южное крыло бассейна); 52_2 — Нижне-Оленекский гидрогеологический район; *53* — Якутский артезианский бассейн; 54_1—54_4 — Ангаро-Ленский артезианский бассейн; 54_1 — Верхне-Ленский артезианский бассейн; 54_2 — Иркутский артезианский бассейн; 54_3 — Канский артезианский бассейн; 54_4 — Ангарский артезианский бассейн.

Гидрогеологические складчатые области: *55* — Анабарская гидрогеологическая складчатая область; *56* — Алданская гидрогеологическая складчатая область; 56_1 — Чульманский артезианский бассейн; *57* — Таймырская гидрогеологическая складчатая область; *58* — Саяно-Алтайская гидрогеологическая складчатая область; 58_1 — Кузнецкий межгорный артезианский бассейн; 58_2 — Тувинский межгорный артезианский бассейн; *59* — Минусинские бассейны подземных вод; *60—63* — Саяно-Енисейская сложная гидрогеологическая складчатая область; *60* — Восточно-Саянская гидрогеологическая складчатая область; *61* — Енисейская гидрогеологическая складчатая область; *62* — Туруханская гидрогеологическая складчатая область; *62* — Хантайская гидрогеологическая складчатая область; *64—66* — Восточно-Сибирская сложная гидрогеологическая складчатая область; *64* — Патомо-Витимская гидрогеологическая складчатая область; *65* — Байкало-Чарская гидрогеологическая складчатая область; *66* — Даурская гидрогеологическая складчатая область; *67* — Становая гидрогеологическая складчатая область; *68* — Верхне-Зейский артезианский бассейн; *69* — Джагдынская гидрогеологическая складчатая область; *70* — Нижне-Зейский артезианский бассейн; *71* — Буреинская гидрогеологическая складчатая область; 71_1 — Буреинский межгорный артезианский бассейн; *72* — Амгунь-Амурская гидрогеологическая складчатая область; *73* — Сихотэ-Алинская гидрогеологическая складчатая область; *74* — Приханкайский артезианский бассейн; *75* — Уссурийский бассейн подземных, в основном грунтовых, вод; *76* — Сунгари-Амурский бассейн подземных, в основном, грунтовых вод; *77* — Джугджурская гидрогеологическая складчатая область; *78* — Верхояно-Колымская сложная гидрогеологическая складчатая область; 78_1 — Эльгенский артезианский бассейн; 78_2 — Аркагалинский артезианский бассейн; 78_3 — Алазейская гидрогеологическая складчатая область 2-го порядка; *79* — Яно-Колымский артезианский бассейн; *80* — Чаунский артезианский бассейн; *81* — Чукотская гидрогеологическая складчатая область; *82* — Пенжинско-Анадырская система артезианских бассейнов; *83* — Сахалинская гидрогеологическая складчатая область; *84* — Корякская гидрогеологическая складчатая область; *85* — Камчатская гидрогеологическая складчатая область; *86* — Курильская гидрогеологическая складчатая область.

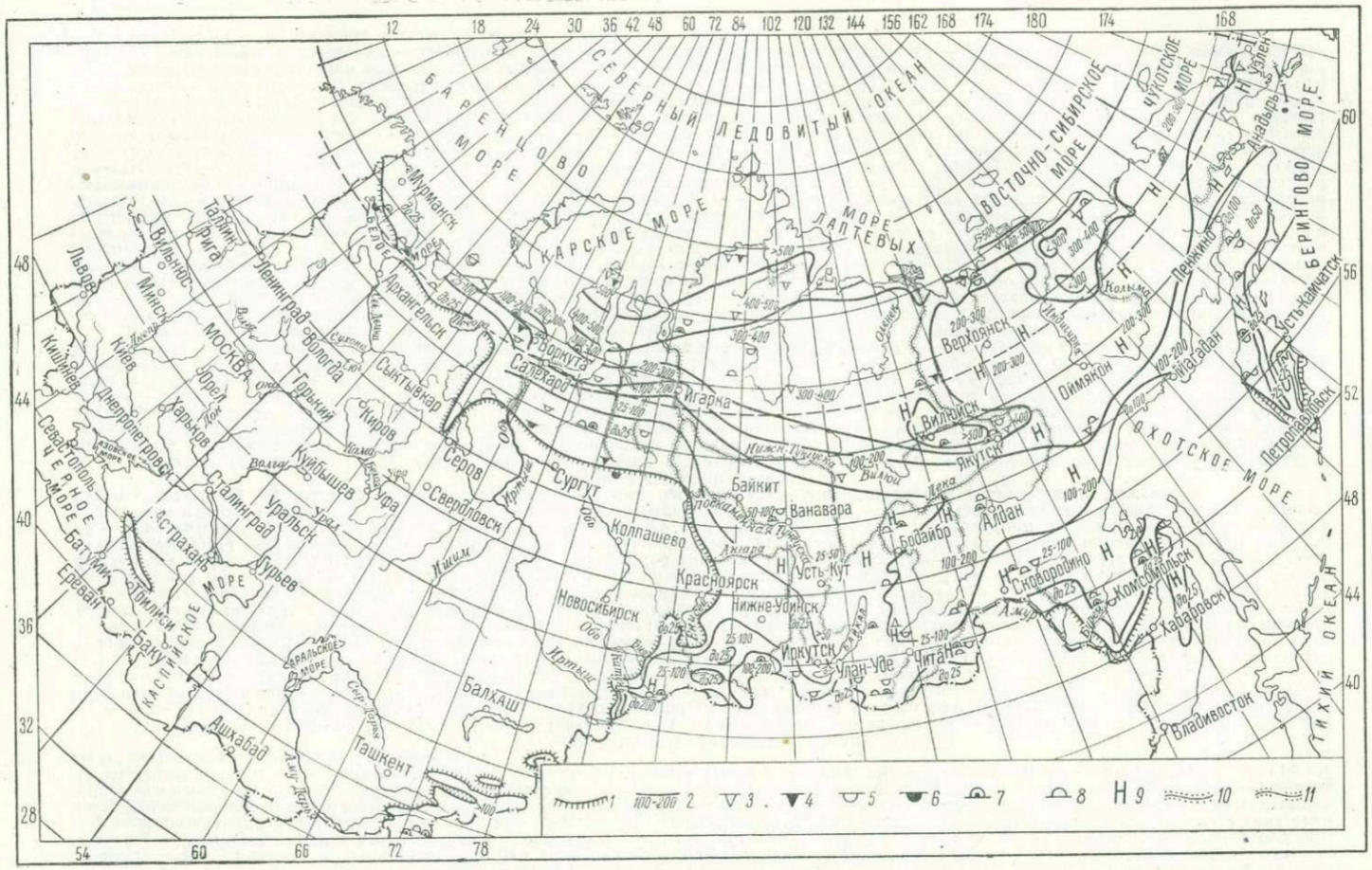


Рис. V-18. Схематическая карта распространения многолетнемерзлых горных пород на территории СССР (по И. Я. Баранову).

1 — границы области и оледенения районов с многолетнемерзлыми горными породами; *2* — пределы вероятных максимальных мощностей зоны многолетнемерзлых пород; *3* — современный термокарст по жильным льдам; *4* — древний термокарст по жильным льдам; *5* — современный термокарст по нежильным льдам (инъекционным, погребенным); *6* — древний термокарст по нежильным льдам; *7* — многолетние бугры пучения; *8* — сезонные бугры пучения; *9* — наледи речные и ключевые; *10* — талики сплошные; *11* —талики прерывистые.

Эти климатические особенности являются малоблагоприятными для формирования и питания подземных вод всей области развития мерзлых пород и особенно ее северных районов.

Мощность зоны многолетнемерзлых горных пород на территории СССР колеблется в широких пределах и в общем возрастает с юга на север (рис. V-18). В этом же направлении падают среднегодовая температура воздуха и температура мерзлых горных пород. Неслучайно северные районы области распространения многолетнемерзлых пород находятся в значительно худшей гидрогеологической обстановке, чем центральные и южные, так как в северных районах многие водоносные горизонты промерзжены, а существующие непромороженные горизонты имеют ограниченные области питания и трудные условия дренирования.

В вертикальном разрезе области или района с многолетнемерзлыми породами выделяются:

1) деятельный слой — слой максимального зимнего промерзания и летнего оттаивания. Мощность деятельного слоя в зависимости от характера слагающих его пород, их влажности, гранулометрического состава, географического положения и климата района, экспозиции поверхности рельефа и пр., изменяется от нескольких сантиметров до 3—5 *м*;

2) зона многолетнемерзлых горных пород, часто с таликами и трещинами, с которыми бывают связаны подземные воды;

3) зона талых пород, в проницаемых разностях которых залегают и движутся подземные воды.

Описание подземных вод области распространения многолетнемерзлых горных пород можно найти в работах А. В. Львова, М. И. Сумгина, Н. И. Толстихина, И. Я. Баранова, П. Ф. Швецова, В. Г. Петрова, В. М. Пономарева, В. М. Максимова, П. И. Мельникова, А. И. Ефимова, Н. И. Обидина, А. И. Калабина. Из работ этих и многих других не указанных здесь исследователей особое место занимает работа Н. И. Толстихина (1941), в которой рассмотрены многие стороны существования и развития подземных вод мерзлой зоны литосферы и, в частности, их классификация, построенная по целому ряду признаков.

По характеру вмещающих воду горных пород, ее фазовому состоянию и наличию мерзлой зоны земной коры подземные воды области развития многолетнемерзлых горных пород разделяются на следующие классы и подклассы.

I. Надмерзлотные воды, залегающие над зоной мерзлых пород:

а) воды деятельного слоя; б) воды надмерзлотных многолетних таликов.

II. Межмерзлотные воды, залегающие внутри зоны мерзлых пород:

а) воды в жидкой фазе; б) воды в твердой фазе.

III. Подмерзлотные воды, залегающие под зоной мерзлых пород на различных глубинах от ее нижней поверхности:

а) воды аллювиальных отложений; б) порово-пластовые; в) трещинно-пластовые; г) карстовые; д) трещинные; е) трещинно-жильные.

Надмерзлотные воды деятельного слоя в области развития многолетнемерзлых пород распространены повсеместно. Они связаны с водопроницаемыми пористыми и трещиноватыми горными породами различного происхождения, возраста и состава, слагающими деятельный слой. Водоупорным основанием для этих вод является верхняя поверхность многолетнемерзлых пород, неровности которой обусловливают изменение мощности надмерзлотных водоносных горизонтов как нормально, так и параллельно движению воды в них.

Области питания и распространения этих вод в летний период совпадают между собой.

Основными источниками питания их в это время являются атмосферные осадки, а на участках речных долин, сложенных хорошо проницаемыми породами, в питании надмерзлотных вод, наряду с атмосферными, участвуют поверхностные воды, при высоком стоянии их уровня в реках и водоемах.

Иногда в питании надмерзлотных вод участвуют подмерзлотные воды, особенно трещинно-жильные, связанные с нарушениями сбросового характера. Характерной особенностью надмерзлотных вод деятельного слоя является чередование в годовом разрезе их напорности и безнапорности.

С наступлением отрицательных температур воздуха они постепенно промерзают, приобретая при этом местный напор, величина которого изменяется во времени в зависимости от глубины промерзания надмерзлотного водоносного горизонта.

В связи с этим приток воды к водозаборным сооружениям (колодцам, скважинам) в течение года меняется от своего наибольшего значения (при максимальном оттаивании деятельного слоя) до нуля (при полном промерзании надмерзлотного горизонта), причем расчет дебита водозабора должен производиться как для напорных вод (при наличии сезонномерзлых пород сверху), так и безнапорных (при отсутствии этих пород сверху).

Надмерзлотные воды деятельного слоя обычно слабо минерализованы и только в районах населенных пунктов и в местах связи с водами глубоких горизонтов они становятся более минерализованными за счет хлоридов, щелочей, нитратов, нитритов и др. Незначительная мощность деятельного слоя (1—2 *м*), своеобразный режим его во времени (промерзание зимой и оттаивание летом) являются теми факторами, которые ограничивают использование надмерзлотных вод для постоянного водоснабжения населенных пунктов, предприятий и других объектов.

Воды многолетних надмерзлотных таликов приурочены к водопроницаемым породам, слагающим талики, залегающие под руслами рек и озер. Талики образуются в результате отепляющего действия поверхностных вод на многолетнемерзлые горные породы.

Под крупными реками Сибири, несущими много тепла, имеют место сквозные талики, являющиеся своеобразными областями питания и дренирования подземных вод межмерзлотных и подмерзлотных водоносных горизонтов (рис. V-18).

Источниками питания вод надмерзлотных таликов являются атмосферные и поверхностные воды, а также подмерзлотные воды, разгружающиеся в этих таликах. Поэтому состав вод надмерзлотных таликов пестрый. Встречаются как пресные гидрокарбонатные воды, так и воды с повышенной минерализацией сульфатного, хлоридного или смешанного состава. Запасы этих вод определяются размерами таликов, степенью их промерзания зимой, условиями питания, водоотдачей и фильтрационными свойствами горных пород, участвующих в строении таликов.

В некоторых местах пресные воды непромерзаемых надмерзлотных таликов используются для постоянного водоснабжения населенных пунктов, железнодорожных станций и других объектов.

Межмерзлотные воды в жидкой фазе залегают в зоне многолетнемерзлых осадочных, метаморфических и магматических горных пород. Эти воды часто бывают гидравлически связаны с надмерзлотными и подмерзлотными водами.

По характеру вмещающих воду горных пород можно выделить пластовые, трещинно-карстовые и трещинно-жильные межмерзлотные воды.

Пластовые воды встречаются в аккумулятивных террасах речных долин, залегая здесь в талых песках и галечниках, переслаивающихся с мерзлыми глинистыми породами.

Трещинно-карстовые воды связаны с трещинами, подземными пустотами и каналами, развитыми в известняках, доломитах и гипсах, залегающих в мерзлой зоне земной коры.

Трещинно-жильные воды залегают и циркулируют в тектонических трещинах сбросового характера, не выходящих за пределы нижней поверхности зоны мерзлых пород.

При развитии подобных трещин ниже зоны мерзлых пород межмерзлотные трещинно-жильные воды становятся связующими между надмерзлотными и подмерзлотными водами.

Кроме перечисленных видов межмерзлотных вод, последние встречаются в таликах, имеющих форму линз, и т. п. Такие формы залегания межмерзлотных вод имеют распространение в древних руслах, представляя собой остатки подрусловых потоков, и в аллювиальных отложениях, слагающих террасы речных долин.

Существование в мерзлых породах межмерзлотных вод в жидкой фазе объясняется динамикой этих вод, т. е. непрерывным их движением, предохраняющим водоносные пути от промерзания, а также минерализацией воды, обусловливающей замерзание ее при температуре ниже отрицательной температуры окружающих мерзлых горных пород.

В большинстве случаев межмерзлотные воды являются напорными и область их питания не совпадает с областью распространения. Химический состав межмерзлотных вод в различных районах области развития мерзлых пород разный. Определяется он составом пород, в которых циркулируют эти воды, условиями их питания, наличием или отсутствием связи с надмерзлотными и подмерзлотными водами, глубиной залегания водоносных горизонтов, присутствием в разрезах гипсов, ангидритов и каменной соли и другими факторами. Установлено, что межмерзлотные воды, имеющие связь с надмерзлотными и поверхностными, являются пресными, гидрокарбонатного или смешанного состава, а при связи с глубокими подмерзлотными водами — более минерализованными, различными по химическому составу.

Межмерзлотные воды районов, в разрезах которых широким развитием пользуются соленосные и гипсоносные породы, относятся к хлоридным, или сульфатным, реже смешанным, имеющим высокую минерализацию, иногда соответствующую рассолам.

Межмерзлотные воды являются наиболее низкотемпературными подземными водами на земле, и в ряде случаев, например, при залегании и движении в соленосных мерзлых породах, они обладают отрицательными температурами.

Пластовые и трещинно-карстовые межмерзлотные воды, залегающие в зоне дренирующего влияния современной гидрографической сети и не связанные с соленосными и гипсоносными породами, а также минерализованными водами глубоких водоносных горизонтов, в большинстве своем являются пригодными для водоснабжения.

Межмерзлотные воды в твердой фазе — залежи подземного льда в мерзлых породах, широко распространенные в Центральной Якутии, на Ляховских и Новосибирских островах, в низовьях р. Яны и других районах северо-востока Сибири.

Подземные льды в мерзлых породах залегают в виде пластов, линз, жил, клиньев и т. п., имеющих мощность, измеряемую метрами и десятками метров.

Пресные льды при их таянии дают воду, обычно пригодную для водоснабжения.

Создание методов разработки подземного льда для водоснабжения является технической задачей наших дней.

Подмерзлотные воды — подземные воды, залегающие или непосредственно под зоной многолетнемерзлых горных пород, или отделенные от ее нижней поверхности водонепроницаемыми породами.

Эти воды, в отличие от над- и межмерзлотных вод, не встречаются в твердой фазе. Они относятся к напорным, причем при залегании непосредственно под зоной мерзлых пород имеют низкие температуры, близкие к 0°, тогда как воды, не контактирующие с нижней ее поверхностью, обладают положительными температурами, иногда довольно высокими.

Подмерзлотные воды аллювия встречаются в тех речных долинах, в которых мощность зоны мерзлых пород превышает мощность водоносных аллювиальных отложений. В зависимости от ориентировки относительно осевой части долин и экспозиции их склонов, мерзлые породы могут залегать симметрично (например, в долинах меридионального простирания В. Забайкалья), асимметрично, выклиниваться в центральной части долины и т. п. Эти условия залегания мерзлых пород в речных долинах необходимо всегда учитывать при поисках и разведке подмерзлотных вод аллювия.

Температура подмерзлотных вод аллювиальных отложений близка к 0°, реже равна 1—2°, причем повышается она с увеличением глубины их залегания от нижней поверхности зоны мерзлых пород.

Подмерзлотные порово-пластовые и трещинно-пластовые воды залегают в различных осадочных горных породах. Первые из них характерны для слабосцементированных и несцементированных пористых пород; вторые встречаются в плотных осадочных породах, в которых трещиноватость доминирует над пористостью.

Подмерзлотные карстовые воды по условиям залегания и циркуляции аналогичны подобным водам, широко распространенным вне области развития многолетнемерзлых горных пород. Карстовые водоносные горизонты приурочены к закарстованным известнякам, доломитам, гипсам, залегающим под зоной мерзлых пород.

Среди других водоносных горизонтов области развития мерзлых пород карстовые горизонты являются наиболее водообильными. С ними бывают связаны многие крупнодебитные источники, часто образующие зимой большие наледи (Южная Якутия и другие районы северо-востока СССР).

Подмерзлотные трещинные и трещинно-жильные воды в области распространения многолетнемерзлых пород, так же как и вне этой области, приурочены к трещинам коры выветривания и трещинам тектонического происхождения.

Наибольшее практическое значение имеют трещинно-жильные воды, как обладающие постоянным режимом и значительными запасами, тогда как трещинные воды коры выветривания в районах с большой мощностью мерзлой зоны в основном проморожены, а в районах с небольшой мощностью ее сохраняется лишь часть трещинных вод, питание которых, вследствие наличия мерзлой зоны, сильно затрудняется или прекращается совсем.

Подмерзлотные воды в области развития мерзлых пород широко распространены. Встречаются они в горноскладчатых районах, массивах кристаллических пород и артезианских бассейнах. Последние иногда имеют огромные размеры по площади с целым рядом подмерзлотных водоносных горизонтов (Якутский, Тунгусский и многие другие бассейны, рис. V-17).

Области питания и распространения подмерзлотных водоносных горизонтов не совпадают между собой. Питание подмерзлотных вод происходит за счет атмосферных и поверхностных вод, а также вод надмерзлотных и межмерзлотных горизонтов.

Формирование химического состава подмерзлотных вод определяется составом вмещающих их горных пород, условиями питания, глубиной залегания водоносных горизонтов и фильтрационными свойствами слагающих их горных пород, наличием в разрезах соленосных и гипсоносных пород, деятельностью микробов в земной коре и другими факторами. Поэтому минерализация, солевой и газовый состав подмерзлотных вод весьма разнообразны: встречаются как пресные, пригодные для водоснабжения воды, так и минерализованные, иногда рассольного типа, содержащие специфические элементы (Br, J, B, Ba, Si, Ra и др.) и газы (H_2S, CH_4, тяжелые углеводороды и др.), характерные для подземных вод нефте-газоносных площадей, структур и районов.

Глубина залегания подмерзлотных вод различна и определяется мощностью зоны мерзлых пород, геолого-структурными и гидрогеологическими условиями района распространения этих вод и приуроченностью его к той или иной области артезианского бассейна (питания, напора или стока).

В пределах всей области развития многолетнемерзлых горных пород глубина залегания подмерзлотных вод увеличивается с юга на север, достигая в центральных и северный районах ее 300—600 *м* и более.

Разведка и эксплуатация подмерзлотных вод для водоснабжения и других целей осуществляется колонковыми и роторными скважинами, бурение которых в мерзлых породах в настоящее время достаточно хорошо освоено.

Подземные воды области распространения многолетнемерзлых пород характеризуются некоторыми специфическими чертами своего режима, отличающими его от режима подземных вод других районов и определяемыми:

1) промерзанием и оттаиванием горных пород деятельного слоя;

2) деградацией или нарастанием зоны многолетнемерзлых пород во времени.

В зависимости от этих двух факторов изменяются во времени и условия питания и дренирования над-, меж- и подмерзлотных водоносных горизонтов, характер взаимосвязи их между собой; происходит смена жидкой фазы твердой и наоборот, а также переход вод из безнапорных в напорные. Вследствие этих процессов в области, занятой многолетнемерзлыми породами, происходит образование бугров пучения, наледей, развитие термокарста и т. д.

Бугры пучения возникают в результате сложных физико-механических процессов, протекающих в замерзающих песчаных, песчано-глинистых и глинистых породах; при этом образование и рост бугров связаны с миграцией воды, происходящей в этих породах в процессе их промерзания. Совокупность таких процессов, как замерзание пород и части содержащейся в них воды, миграцию ее при промерзании пород, образование

бугров, растрескивание их, прорыв воды на поверхность и ее замерзание, М. И. Сумгин называет наледным процессом; результатом его являются разнообразные наледи, встречаемые в области развития многолетнемерзлых пород.

По Н. И. Толстихину [1940, 1941], наледь — ледяное тело, образовавшееся при замерзании речной или подземной воды, излившейся на поверхность льда, снега или земли. В пределах деятельного слоя наледи образуются в результате промерзания водоносного тракта, по которому движется вода. Такого же определения придерживаются А. В. Львов [1916], В. Г. Петров [1930] и многие другие. Наледи весьма разнообразны по происхождению, положению относительно поверхности земли, форме и размерам.

По происхождению различают наледи речных вод, образующиеся при промерзании рек, и наледи над-, меж- и подмерзлотных вод. Последние в свою очередь подразделяются на ключевые, возникающие при замерзании воды источников, и грунтовые — при промерзании грунтовых или надмерзлотных водоносных горизонтов.

Кроме этих встречаются и смешанные наледи, которые образуются за счет речных и подземных вод одновременно. Относительно поверхности земли наледи бывают наземные и подземные.

Наземные наледи встречаются в оврагах и речных долинах, на приводораздельных склонах, водораздельных пространствах и т. п. По длительности своего существования различают однолетние (сезонные) наледи и многолетние, сохраняющиеся в течение многих лет непрерывно.

Наледи имеют самые различные формы: округлую, овальную, удлиненную, треугольно-языковую и другие, более сложные формы, определяемые особенностями строения современного рельефа в месте их образования. Размеры наледей на территории СССР изменяются в широких пределах — от небольших по площади (< 100 *м*^{2}) до гигантских (1—2 *км*^{2}).

Мощность наледей колеблется от десятых долей метра до десятка метров. К крупным относятся наледи, источниками питания которых являются речные воды, воды мощных подрусловых потоков, карстовые, трещинно-жильные меж- и подмерзлотные воды, а также смешанные наледи, образующиеся при одновременном их питании поверхностными и подземными водами. Размеры и формы наледей не остаются постоянными. Известно, что наледи, действующие всю зиму, достигают особого максимального развития в начале весны, перед снеготаянием, а непостоянно действующие — в период прекращения поступления на дневную поверхность наледной воды.

Поверхность наледей в ряде случаев является неровной; она осложняется наледными буграми высотой в 2—3 *м* и трещинами, прорезающими наледные бугры и тело наледи.

Иногда по этим трещинам происходит излияние наледной воды на поверхность. Лед наледей обычно имеет слоистое строение, реже массивное и обладает белым, зеленовато-голубым, синим, желтым и красно-бурым цветом, определяемым физическими свойствами воды, образовавшей наледь.

Кроме наземных, большое распространение в районах развития многолетнемерзлых пород имеют подземные наледи. Они разделяются на однолетние, возникающие и развивающиеся в зимний период в пределах деятельного слоя и исчезающие к осени, и многолетние, названные Н. И. Толстихиным гидролакколитами, образующиеся в основном в зоне

многолетнемерзлых пород, за исключением верхней их части, которая располагается в деятельном слое.

В рельефе однолетние наледи выражаются в виде небольших бугров высотой до 2 *м* и диаметром в несколько метров; многолетние имеют высоту до 15—30 *м*, при диаметре в 60—80 *м* и более, с крутизной склонов до 40°. Наряду с такими по размерам и крутизне склонов гидролакколитами встречаются и более мелкие поднятия с пологими склонами.

Источниками питания гидролакколитов являются надмерзлотные и главным образом меж- и подмерзлотные воды. В строении гидролакколитов участвуют (сверху вниз): почвенно-растительный покров, лед, вода и мерзлые песчаные или песчано-глинистые породы. Часто между льдом и водой находится воздушное пространство, заполненное влажным воздухом.

В процессе своего роста и под влиянием солнечного тепла гидролакколиты растрескиваются, постепенно разрушаются, склоны и вершины их, обращенные к югу, проседают, образуя при этом пологие воронки, часто заполненные водой.

Подток подземной воды в эти воронки снизу приводит к тому, что вода из воронок начинает переливать через борта их и стекать ручейками в пониженные места современного рельефа. Таким путем на месте гидролакколитов и особенно пологих их разновидностей образуются озера протаивания, достигающие иногда значительных размеров. Многочисленными исследованиями установлено, что наибольшее количество источников, наледей, гидролакколитов, озер протаивания, бугров пучения и воронок их взрыва встречается на поверхностях современного рельефа, имеющих южную, юго-восточную и юго-западную экспозицию, а также в заболоченных падях, на речных аккумулятивных террасах и на дне крупных оврагов.

Кроме озер протаивания, возникающих при разрушении гидролакколитов, в районах, занятых многолетнемерзлыми породами, имеют место провалы почвы и подстилающих ее пород, образующиеся при таянии залежей подземного льда.

Следствием этого процесса, называемого т е р м о к а р с т о м, являются термокарстовые озера и другие провальные мезо- и микроформы: воронки, блюдца, колодцы, ложбины, долины и т. п.

Термокарст, возникающий вне влияния человека, является важным признаком деградации зоны многолетнемерзлых пород.

Деградация способствует улучшению условий питания подземных вод и увеличению их динамических и общих запасов. Этим объясняется важность и необходимость установления при гидрогеологических исследованиях в области распространения многолетнемерзлых пород превалирующей стороны мерзлотного процесса—деградации или нарастания зоны мерзлых пород.

В заключение отметим, что бугры пучения и наледи в районах с наличием многолетнемерзлых пород являются надежными поисковыми признаками на подземные воды.

Картирование и всестороннее изучение бугров пучения, наледей, термокарстовых форм составляют важнейшие элементы проводимых в этих районах гидрогеологических исследований. Основные районы распространения бугров пучения и наледей в СССР показаны на схематической карте развития многолетнемерзлых пород (рис. V-18).

Глава VI

ИСТОЧНИКИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ

Источником (ключом, родником) называется естественный выход подземной воды на дневную поверхность. На Украине источники называют криницами. Выход подземной воды на дневную поверхность обусловливается тремя часто тесно связанными между собой следующими факторами:

1) эрозионным расчленением местности, т. е. пересечением водоносных горизонтов отрицательными формами современного рельефа — речными долинами, балками, оврагами, распадками, озерными котловинами и т. п.;

2) структурно-геологическим строением местности, т. е. наличием дизъюнктивных и пликативных дислокаций (открытых тектонических трещин сбросового характера, зон тектонических нарушений, антиклинальных складок с нарушенными сводами, крыльями и пр.);

3) наличием в районе интрузий и даек, в зонах контактов которых с осадочными горными породами подземные воды выходят на поверхность, если эти зоны имеют открытые трещины.

При этом необходимо иметь в виду, что в самих интрузиях и дайках по трещинам также могут выходить на поверхность подземные воды, приуроченные или к породам интрузий и даек, или осадочным породам, контактирующим с ними.

Несмотря на многочисленную литературу, посвященную источникам, в настоящее время сводной классификации, отражающей условия их выхода, связь с различными типами подземных вод, их режим, практическое использование и др., не существует.

Имеются частные классификации и схемы, построенные или по характерным горным породам, с которыми связаны источники (А. Гейм), или по связи с безнапорными и напорными водами (К. Кейльгак, Е. Принц, Р. Кампе, Ф. П. Саваренский, А. Н. Семихатов, О. К. Ланге и др.), или по характеру горных пород в сочетании с типами подземных вод (А. М. Овчинников и др.).

По связи с безнапорными и напорными водами источники разделяются на нисходящие, связанные с безнапорными водоносными горизонтами, и восходящие, питающиеся напорными водами.

По приуроченности к отдельным типам подземных вод источники можно разделить на шесть групп.

I. Источники, питающиеся верховодкой.

II. Источники грунтовых поровых вод.

III. Источники трещинных грунтовых и напорных вод.

IV. Источники карстовых грунтовых и напорных вод.

V. Источники артезианских вод.

VI. Источники подземных вод области многолетней мерзлоты.

I. Источники, питающиеся верховодкой. Источники, питающиеся верховодкой, характеризуются резкими эпизодическими колебаниями дебита, температуры и состава, полностью зависящими от изменения во времени метеорологических условий района распространения этих источников.

II. Источники грунтовых поровых вод. Источники грунтовых поровых вод являются нисходящими; дебит, температура и состав их также подвержены сезонным и в меньшей степени эпизодическим колебаниям, которые обусловлены изменением метеорологических условий района.

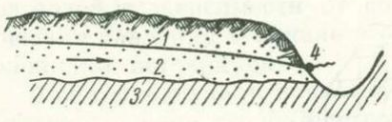


Рис. VI-1. Эрозионный нисходящий источник.

1 — поверхность грунтовых вод; *2* — грунтовый водоносный горизонт; *3* — водоупор; *4* — источник.

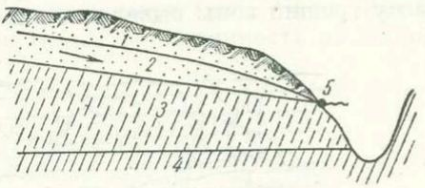


Рис. VI-2. Контактовый источник.

1 — поверхность грунтовых вод; *2* — грунтовый водоносный горизонт, сложенный песками; *3* — пласт слабоводопроницаемых пород; *4* — водоупорный пласт; *5* — источник.

Эта группа источников разделяется на три подгруппы (типа): эрозионные; контактовые; переливающиеся.

Эрозионные источники встречаются в отрицательных формах современного рельефа, прорезающих питающий эти источники грунтовый водоносный горизонт на ту или иную глубину (рис. VI-1).

Контактовые источники выходят в отрицательных формах рельефа на контактах хорошо проницаемых со слабо проницаемыми или водоупорными породами, залегающими наклонно или горизонтально (рис. VI-2).

Переливающиеся источники имеют восходящее движение воды в месте выхода на поверхность (рис. VI-3).

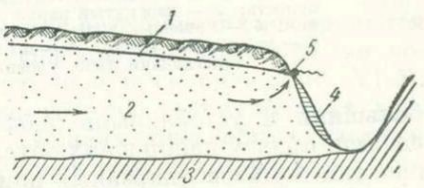


Рис. VI-3. Переливающийся источник.

1 — поверхность грунтовых вод; *2* — грунтовый водоносный горизонт; *3* — водоупор; *4* — водонепроницаемые породы делювия; *5* — источник.

Восходящее движение в этом случае возникает вследствие различных причин:

1) развития делювия на склонах отрицательных форм современного рельефа;

2) больших неровностей водоупорного ложа водоносного горизонта, питающего источник;

3) наличия сброса у головки источника, препятствующего дальнейшему нисходящему движению грунтовых вод;

4) фациальной изменчивости горных пород, слагающих грунтовый водоносный горизонт.

Переливающиеся источники в полевых условиях трудно отличимы от восходящих; поэтому часто у этих источников для установления при-

надлежности их к нисходящим или восходящим приходится делать расчистки, а иногда производится ручное бурение неглубоких скважин.

III. Источники трещинных грунтовых и напорных вод. Источники трещинных грунтовых и напорных вод бывают нисходящие и восходящие. Первые связаны с трещинами зоны выветривания магматических, метаморфических и осадочных горных пород; по режиму они подобны источникам грунтовых поровых вод и отличаются от них тем, что обычно имеют концентрированные, сосредоточенные выходы. В большинстве своем эти источники малодебитные [1].

Вторые приурочены к отдельным тектоническим трещинам сбросового типа и зонам тектонических нарушений, пересекающих и дренирующих массу трещин зоны выветривания. Эти источники обладают сравнительно

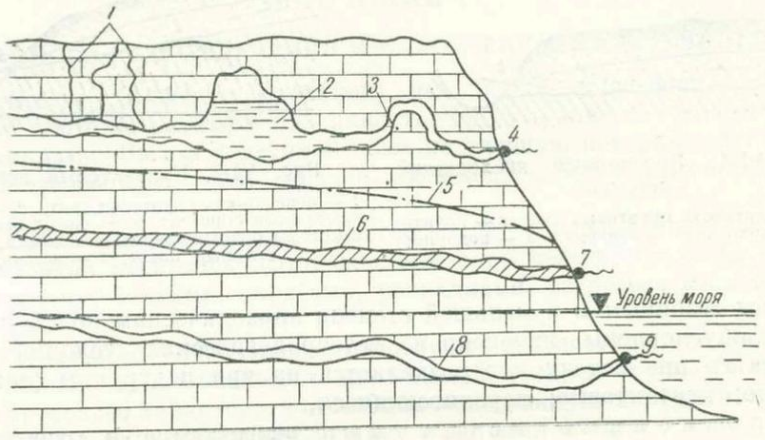


Рис. VI-4. Карстовые источники.

1 — трещины и каналы, выходящие на поверхность земли; *2* — карстовая полость; *3* — изогнутый канал сифонного типа; *4* — перемежающийся источник; *5* — уровень воды постоянного карстового водоносного горизонта; *6* — карстовый канал; *7* — постоянный источник; *8* — карстовый канал, залегающий ниже уровня моря; *9* — субмаринный источник.

большими и устойчивыми дебитами, питаются напорными трещинными водами, причем напор в них обусловливается гидростатическим давлением, давлением газов (нарзаны) или водяных паров (гейзеры).

К этой подгруппе относится большинство выходов минеральных вод (см. гл. VII), а также термальные и горячие источники (см. ниже).

IV. Источники карстовых грунтовых и напорных вод. Источники карстовых грунтовых и напорных вод относятся к нисходящим [2] и отличаются большим разнообразием по водообильности и характеру выходов. Они питаются карстовыми водами, широко распространенными в районах развития карбонатных, гипсоносных и соленосных горных пород.

Из большого числа разнообразных карстовых источников можно выделить три характерные подгруппы: перемежающиеся источники, постоянные и субмаринные.

Перемежающиеся источники характеризуются непостоянством дебита во времени; действуя по принципу сифона (рис. VI-4),

[1] Нисходящие трещинные источники характеризуются неустойчивым дебитом. *Научн. ред.*

[2] Известно много и восходящих источников карстовых вод. *Научн. ред.*

они дают то большие дебиты, то очень малые, вплоть до прекращения выхода воды. Связаны подобные источники с зоной, залегающей выше уровня карстовых вод.

Постоянные источники обладают сравнительно постоянными дебитами, иногда достигающими нескольких кубических метров в секунду[1]. Эти источники связаны с крупными трещинами, подземными каналами, горизонтальными пещерами, развитыми в зоне распространения основных карстовых водоносных горизонтов, залегающих выше уровня моря (рис. VI-4).

Субмаринные источники приурочены к подземным карстовым каналам, залегающим ниже уровня моря (рис. VI-4). Характерной особенностью этих источников является периодичность их выхода под водой в зависимости от соотношения давлений в канале и над головками источников.

Если давление в канале превышает давление столба воды над головкой источника, тогда последний функционирует; при обратном соотношении давлений происходит засасывание поверхностной (морской) воды в глубь карстующегося массива (морская мельница).

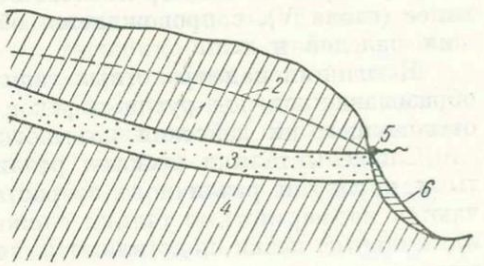


Рис. VI-5. Восходящий источник артезианских вод.

1 — верхний водоупор; *2* — пьезометрический уровень; *3* — напорный водоносный горизонт; *4* — нижний водоупор; *5* — источник; *6* — делювиальный чехол.

Иногда, при соответствующей взаимосвязи трещин и каналов в карстующемся массиве, засасывание сопровождается выходом морской воды выше уровня моря. На склонах карстующихся пород появляются соленые источники выше пресных.

V. Источники артезианских вод. Источники артезианских вод являются восходящими, постоянно действующими; связаны они с напорными водоносными горизонтами артезианских бассейнов и склонов (рис. VI-5).

В артезианских бассейнах источники встречаются в долинах рек, оврагах, озерных котловинах, складках, трещинах сбросового характера, зонах контактов интрузий и даек с осадочными горными породами и пр., находящихся в областях напора и разгрузки.

Артезианские склоны характерны для предгорных районов, где моноклинально залегающие водоносные породы, погружаясь под водоупорные, выклиниваются или фациально изменяются от грубообломочных и песчаных разностей до песчано-глинистых и глинистых.

Вследствие этого создается гидростатический напор, приводящий к появлению мощных восходящих источников, иногда по линиям, повторяющим конфигурацию подножиев гор.

VI. Источники подземных вод области многолетней мерзлоты. Эти источники подробно изучались Н. И. Толстихиным [1941], который и предложил наиболее полную их классификацию. В соответствии с этой классификацией выделяются следующие источники: надмерзлотные — нисходящие; межмерзлотные — преимущественно восходящие; подмерзлотные — восходящие.

---

[1] Дебит этих источников чаще всего резко колеблется по сезонам года. *Научн. ред.*

Надмерзлотные — нисходящие — источники выходят в отрицательных формах современного рельефа и в зависимости от вида питающих их надмерзлотных вод разделяются на две подгруппы: 1) источники деятельного слоя; 2) источники надмерзлотных таликов.

Источники надмерзлотных вод деятельного слоя в летний период питаются поровыми или трещинными водами, залегающими над верхней поверхностью многолетней мерзлоты в четвертичных рыхлых отложениях или трещинах зоны выветривания магматических, метаморфических или осадочных горных пород.

С наступлением отрицательных температур воздуха надмерзлотные воды деятельного слоя в большинстве своем промерзают. Прекращается в связи с этим и функционирование источников первой подгруппы. Процесс промерзания надмерзлотного водоносного горизонта, как отмечалось ранее (глава V), сопровождается образованием бугров пучения, небольших наледей и т. п.

Источники надмерзлотных таликов связаны с водами этих таликов, образовавшихся под руслами рек и ручьев, озер и стариц в результате отепляющего их действия на многолетнемерзлые горные породы.

Сложены талики песками различной зернистости, реже трещиноватыми породами различного возраста, состава и происхождения. Встречаются надмерзлотные талики сложного строения, когда водоносные аллювиальные пески подстилаются водоносными же известняками, доломитами или песчаниками.

Зимой вода надмерзлотных таликов промерзает, за исключением участков со сравнительно мощными таликами, сложенными хорошо проницаемыми породами. Промерзание их бывает связано с образованием наледей, бугров пучения, гидролакколитов и пр.

Нередко источники первой подгруппы сбрасывают свои воды в речные долины, озерные котловины и т. п., пополняя тем самым запасы надмерзлотных вод таликов, питающих вторую подгруппу источников. Кроме такой связи, существует подземная гидравлическая связь надмерзлотных вод деятельного слоя и таликов.

Наибольшими дебитами надмерзлотные источники первой и второй подгрупп обладают в период максимального оттаивания мерзлых пород, который для большинства районов мерзлоты приходится на сентябрь месяц.

Воды надмерзлотных источников, как правило, пресные, слабо минерализованные гидрокарбонатного, сульфатного или смешанного гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридного состава. Реже, при подпитывании надмерзлотных таликов водами более глубоких водоносных горизонтов, встречаются источники с повышенной минерализацией воды.

Источники первой подгруппы используются для временного индивидуального водоснабжения; источники второй подгруппы — для мелкого водоснабжения животноводческих ферм, МТС и небольших населенных пунктов.

Межмерзлотные — восходящие[1] — источники питаются напорными водами таликов (долины с так называемой слоистой мерзлотой), трещин (трещиноватые породы), трубообразных каналов и водоносных пластов (трещинно-карстовые породы, подземные льды).

[1] В южных районах распространения мерзлой зоны встречаются межмерзлотные нисходящие источники, когда окна сквозных таликов имеют большие размеры; пересечение подобных таликов отрицательными формами рельефа приводит к появлению нисходящих источников.

Межмерзлотные источники в зависимости от характера питающих их водоносных горизонтов обладают различными дебитами от десятых долей литра до десятков литров в секунду и сравнительно постоянным режимом во времени.

При выходе в долинах рек эти источники зимой образуют наледи (см. гл. V). Воды этих источников пресные или минерализованные, гидрокарбонатные, сульфатные, смешанного состава или хлоридные.

Пресные источники используются для постоянного водоснабжения населенных пунктов, находящихся в области мерзлоты. Хлоридные межмерзлотные воды часто содержат микрокомпоненты, характеризующие благоприятную обстановку для сохранения нефтяных залежей (Якутской артезианский бассейн).

Подмерзлотные — восходящие — источники питаются различными подземными водами, залегающими под зоной многолетнемерзлых пород, — порово-пластовыми, трещинно-пластовыми, трещинными и трещинно-карстовыми. Характеризуются они постоянством дебита, температуры и состава воды. Зимой образуют крупные наледи, размеры которых определяются дебитами питающих их источников. В некоторых районах северо-востока СССР, по исследованиям П. Ф. Швецова [1941, 1951], наледи подмерзлотных вод достигают гигантских размеров [1].

Воды подмерзлотных источников различны по составу. Встречаются пресные воды, пригодные для питьевых и технических целей, и воды с повышенной и высокой вплоть до рассола минерализацией, не пригодные для водоснабжения, но имеющие, вследствие содержания в них в больших концентрациях J, Br, B, Ba, Sr и других микрокомпонентов, промышленное и нефтепоисковое значение.

Исследованиями Н. И. Толстихина, Н. И. Обидина, И. Я. Баранова и других установлено, что в южных частях области многолетней мерзлоты выходы источников зависят от экспозиции склонов. Большее число источников выходит на южных склонах и совсем незначительное количество — на северных.

В менее выраженной форме эта закономерность наблюдается и в центральных частях области многолетней мерзлоты (Якутия и другие районы).

В дополнение к основным типам источников, встречаемых в области многолетней мерзлоты, следует выделить так называемые субаквальные источники, которые выходят на дне рек и озер. Питаются эти источники водами надмерзлотных многолетних таликов или межмерзлотными и подмерзлотными водами.

Наличие в реках и озерах слоя воды маскирует места выхода субаквальных источников в летнее время. Зимой же на реках и озерах в местах, где выходят источники, особенно когда они имеют высокие дебиты и температуру, образуются полыньи, не замерзающие иногда всю зиму. Полыньи в области многолетней мерзлоты наблюдаются на многих реках и озерах.

Кроме рассмотренных классификационных схем, большое практическое значение имеет разделение источников на классы и группы по температуре и дебиту.

---

[1] В последнее время принадлежность этих наледей к подмерзлотным водам некоторыми гидрогеологами оспаривается.

По температуре источники делятся на семь классов (табл. VI-1).

Таблица VI-1

Классификация источников по температуре

Класс	Источники	Температура, °С
I	Исключительно холодные	Ниже 0
II	Весьма холодные	0—4
III	Холодные	4—20
IV	Теплые	20—37
V	Горячие	37—42
VI	Весьма горячие	42—100
VII	Исключительно горячие	Выше 100

По дебиту источники разделяют на пять категорий, характеристика которых дается в § 2 этой главы.

К особой группе источников, встречаемых в районах молодой вулканической деятельности, относятся гейзеры, получившие свое название от района Гейзер в Исландии, где они впервые были исследованы.

Специфической и отличительной чертой гейзеров является характер выхода воды на поверхность, вызванного давлением водяных паров, образовавшихся в глубоких частях каналов гейзеров. Механизм действия гейзеров сводится к следующему.

В канале гейзера инфильтрационная вода образует столб, который давит на более глубокие, ранее поступившие в канал части воды, благодаря чему эта вода на глубине, несмотря на высокую температуру недр, не вскипает при температуре 100° С. Когда же вода в нижних частях канала перегревается на несколько градусов, тогда происходит бурное выделение паров, и вода выбрасывается фонтаном на поверхность. Гейзеры действуют периодически. Извержение продолжается некоторое определенное для каждого гейзера время. Затем оно ослабевает и прекращается.

Ритм извержения гейзера изменяется в зависимости от геологического строения и метеорологических условий района источника, истории его развития и особенностей выводного канала. Горловины гейзеров имеют вид усеченных конусов, сложенных светлым кремнистым туфом (гейзеритом), который откладывается из горячей воды при участии некоторых форм водорослей.

Районами распространения гейзеров на земном шаре являются: Исландия, Италия, США (Иеллоустонский парк), Тибет, о-ва Новая Зеландия, Ява, СССР (восточная и южная части п-ова Камчатки).

Вода гейзеров в большинстве своем имеет атмосферное происхождение и, возможно, только незначительная часть ее связана с магматическими очагами. Температура и состав воды различных гейзеров земного шара близки между собой, что видно из табл. VI-2.

Горячая вода гейзеров содержит в себе большие запасы тепловой энергии, о примерах и возможностях использования которой указывается в специальной литературе.

Таблица VI-2

Химический состав воды гейзеров, *г/л*

(по А. М. Овчинникову)

Месторождение	Наименование	t° C	Na^{+}	Mg^{++}	Ca^{++}	Cl^{-}	SO_4^{--}	HCO_3^{-}	H_2SiO_3	pH	Формула Курлона
Камчатка	Малый	97,5	0,405	0,008	0,011	0,594	0,098	0,072	0,281	7,3	$M_{1,5}\frac{Cl_{84}SO_{10}^{4}}{Na_{89}}$
	Ванна	94,5	0,468	0,012	0,020	0,722	0,109	0,072	0,323	7,9	$M_{1,9}\frac{Cl_{85}SO_{10}^{4}}{Na_{86}}$
	Сахарный	94,0	0,456	0,015	0,015	0,699	0,150	0,089	0,383	8,4	$M_{1,9}\frac{Cl_{81}SO_{13}^{4}}{Na_{80}}$
Исландия	Большой	89,0	0,254	0,002	—	0,144	0,170	0,169	0,624	—	$M_{1,4}\frac{Cl_{36}HCO_{25}^{3}SO_{19}^{4}}{Na_{97}}$
США (Иеллоустонский парк)	Коралловый шпрудель	73,0	0,393	0,002	0,010	0,709	0,003	0,029	0,788	—	$M_{2,1}\frac{Cl_{98}}{Na_{84}}$

§ 2. РЕЖИМ ИСТОЧНИКОВ

Под режимом источника понимают изменение во времени его дебита, состава и температуры в зависимости от естественных и искусственных факторов.

К первым относятся гидролого-метеорологические и гидрогеологические условия, а для районов многолетней мерзлоты к ним дополняются наличие зоны мерзлых пород, сезонное промерзание и оттаивание; ко вторым — захват или откачка подземной воды, питающей источник.

Режим источников устанавливается по данным стационарных гидрогеологических наблюдений за дебитом, составом и температурой их. Эти наблюдения могут быть эпизодическими, сезонными и стационарными. Последние проводятся в течение минимум одного года.

Результаты гидрогеологических наблюдений за режимом источника или группы источников, питаемых одним или несколькими водоносными горизонтами, наносят на специальный график (рис. VI-6), совмещаемый с метеорологическими графиками, отражающими изменение давления, температуры дефицита влажности воздуха и атмосферных осадков (см. гл. I).

Для районов многолетней мерзлоты режимный график источника сопоставляется с наблюдениями по промерзанию и оттаиванию деятельного слоя, температурой пород деятельного слоя и зоны многолетней мерзлоты.

По изменению дебита источники разделяются на пять категорий, которые характеризуются следующими отношениями минимального дебита к максимальному (табл. VI-3 по А. М. Овчинникову).

Исследованиями установлено, что в районах с отсутствием многолетней мерзлоты в летний период, когда водоносный горизонт, питающий

источники, не пополняет свои запасы, дебит источника снижается, причем скорость снижения находится в зависимости от гидравлических и других свойств водоносного горизонта.

Совмещая кривые дебита, полученные за несколько лет, строят типовой график колебаний дебита для того или иного источника. По такому графику можно предсказать минимальный дебит источника в летний период.

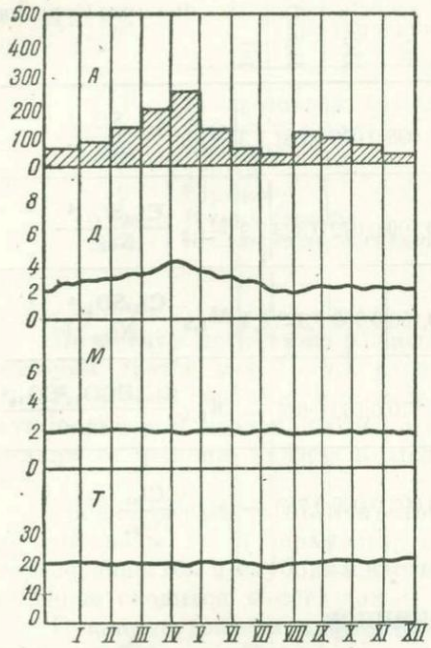


Рис. VI-6. График режима источника (по А. М. Овчинникову).

А — атмосферные осадки, *мм*; *Д* — дебит источника, *л/сек.*; *М* — минерализация воды, *г/л*; *Т* — температура воды, °С.

Для источников области многолетней мерзлоты подобный график не строится, так как на режим источников там оказывают большое влияние не только условия питания водоносных горизонтов, с которыми связаны эти источники, но и оттаивание и замерзание путей движения подземной воды. Особенно это относится к надмерзлотным—нисходящим источникам.

В районах отсутствия многолетней мерзлоты режим источника, когда питающий его водоносный горизонт не пополняет свои запасы, называется самостоятельным режимом, которому отвечают два уравнения

$$Q = Q_0 e^{-at}; \qquad \text{(VI-1)}$$

$$Q = \frac{Q_0}{1 - at}, \qquad \text{(VI-2)}$$

где

Q — минимальный дебит источника;

Q_0 — дебит в начальный момент его падения;

a — коэффициент истощения запасов воды в водоносном горизонте, питающем источник (коэффициент a зависит от фильтрационных свойств горных пород, слагающих водоносный горизонт, водоотдачи, мощности водоносного горизонта, расстояния от источника до водораздела подземных вод);

t — продолжительность периода падения дебита.

Таблица VI-3

Классификация источников по изменению их дебита

Категории	Характеристика источников	Отношение $\frac{Q_{min}}{Q_{max}}$
I	Весьма постоянные	~1 : 1
II	Постоянные	от 1 : 1 до 1 : 2
III	Переменные	» 1 : 2 » 1 : 10
IV	Весьма переменные	» 1 : 10 » 1 : 30
V	Исключительно непостоянные . . .	» 1 : 30 » 1 : ∞

В заключение отметим, что при рекомендации источника для постоянного водоснабжения того или иного объекта дебит источника обосновывается по данным колебаний его за несколько лет, а при отсутствии таких данных за расчетный принимается минимальный дебит, установленный за сезонный [1] или годовой период наблюдений или по опросным, тщательно проверенным сведениям.

Описание источников является важнейшей составной частью гидрогеологической съемки, проводимой в различных масштабах и целях. Источники в ходе съемки наносятся на гидрогеологическую карту, причем само картирование источников сопровождается подробной их характеристикой (см. гл. IX).

§ 3. ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВ ИСТОЧНИКОВ

Различают газы, свободно выделяющиеся из воды в виде пузырьков (спонтанные), и растворенные в воде. Полевые наблюдения должны наметить все выходы спонтанных газов в источнике и по близости от него. Выходы газов легко наблюдаются на относительно спокойной водной поверхности и в головках источников, озерах, реках, лужах воды и т. п. Иногда выделения газов бывают настолько обильны, что могут быть обнаружены по характерному звуку. Некоторые газы довольно легко могут быть обнаружены и по другим характерным признакам: углекислота в ямах, шурфах, колодцах гасит свечку; метан и водород горят; сероводород имеет характерный запах.

При изучении газов следует: описать условия выходов газов — линейные, рассеянные по площади; зарисовать выходы, закартировать, измерить дебит отдельных газовых струй, их пульсацию, температуру; взять пробы газа из больших и малых струй для анализа, по 2—3 *л* из каждой струи. Состав газа больших и малых струй может оказаться различным.

Для отбора спонтанных газов из источников наиболее простой способ — улавливать их в плоскую жестяную воронку большого (до 50 *см*) диаметра, из которой газ переводится в бутыль. Взятая в бутыль проба газа должна отделяться от пробки слоем воды в 2—3 *см*. Пробка заливается менделеевской замазкой или сургучом. Бутыли с пробами хранятся вверх дном. Анализы газов должны быть полными, с раздельным определением тяжелых и легких инертных газов, а также с определением тяжелых углеводородов, если газ метановый. Дебит газовых струй замеряется объемными и другими способами (см. гл. XXXI).

В целях получения данных для оценки перспектив территории в отношении нефте-газоносности необходимо изучать также и растворенные в воде газы (см. гл. IX и XXXI).

Наиболее часто в источниках встречаются следующие газы: азотные, метановые, углекислые и смешанные; радоновые, сероводородные.

Сероводород легко узнается по запаху; метан — по горению; углекислый газ, растворенный в воде источников, придает ей специфический вкус (нарзана); при взбалтывании с ним в склянке известковой воды образует помутнение ее, не горит; азот — не горит, не пахнет, не образует помутнения известковой воды. Наличие тяжелых углеводородов распознается при горении газа по характерному запаху. В том случае, если

[1] При сезонных наблюдениях за дебитом источников обязательно должен включаться зимний период. *Научн. ред.*

опробование на месте показало, что газ — горючий, нужно взять двойную пробу газа, чтобы сделать анализ тяжелых углеводородов.

§ 4. ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИСТОЧНИКОВ

Сюда относятся охры, натеки, налеты, туфы, соли, грязи, которые изучаются с количественной и качественной стороны и наносятся на том же плане, что и источник. Записываются условия их залегания, их форма, размеры, изменения в вертикальном разрезе и в плане. Ископаемые остатки фауны и флоры, встреченные в отложениях источников, должны быть тщательно собраны для последующего определения.

Изучение отложений источников может дать очень ценные указания для выяснения вопросов о происхождении источника, составе воды и ее изменениях; некоторые отложения источников имеют практическое значение (охры, туфы, грязи). По возвращении с полевых работ пробы отложений источников передаются на анализ в лабораторию; необходимо также изучение их радиоактивности.

Глава VII

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ

§ 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Минеральными водами называются лечебные воды. От пресных вод они отличаются главным образом своим благотворным физиологическим воздействием на организм человека, которое обусловлено минеральным составом, наличием газов, повышенной температурой (более 20°), либо всеми этими факторами одновременно.

Минеральные воды широко используются на многочисленных курортах для лечения и укрепления здоровья людей. Кроме того, на некоторых месторождениях минеральных вод производится добыча весьма ценных йодных, бромных и радиевых солей.

На территории Советского Союза выявлено более 3500 пунктов с выходами разнообразных минеральных вод. Многие месторождения минеральных вод СССР являются крупными и ценными базами минерального сырья.

Подземные воды с минерализацией более 1 *г/л*, но не обладающие лечебными свойствами, называются минерализованными водами. Воды с минерализацией более 50 *г/л* называются рассолами. Минерализованные воды и рассолы используются для добычи разнообразных солей и химических элементов.

Отнесение подземных вод к минеральным (лечебным) производится по приведенным в табл. VII-1 нормам, установленным для разного типа вод.

Таблица VII-1

Нормы содержания основных компонентов в минеральных водах

Компоненты	Нормы, *мг/л*	
	Международные	СССР
Свободная углекислота . . .	250	750
Сероводород	1	10
Литий	1	5
Барий	5	5
Стронций	10	10
Железо (закисное или окисное)	10	10
Бром	5	24
Фтор	2	2
Йод	1	10
Гидроарсенат	1	1
Метаборная кислота	5	50
Марганец	—	1
Фосфорная кислота	—	5
Кремневая кислота	5	50
Эманаций радия	10 эман 3,5МЕ	10МЕ

Приведенные нормы являются условными, так как резкой границы между пресными и минеральными водами по общей минерализации провести не представляется возможным. Некоторые микроэлементы в воде (бром, йод, мышьяк, литий, железо и т. д.) настолько биологически активны, что и при ничтожном содержании в воде они делают последнюю лечебной.

§ 2. ГЛАВНЫЕ ТИПЫ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

По температуре минеральные воды подразделяются на четыре типа: 1) холодные, до 20° С,2) теплые, от 20 до 37° С (за верхний предел принята температура человеческого тела), 3) термальные, или теплые, от 37 до 42° С и 4) горячие — выше 42°.

Наиболее ценными минеральными водами по температуре считаются те, которые не требуют искусственного нагревания или охлаждения при их использовании. Большинство минеральных вод приобретает свою температуру за счет теплового запаса недр Земли. В районах действующих вулканов температура минеральной воды достигает более 100° С.

К главным типам газовых минеральных вод относятся: 1) углекислые, 2) сероводородные или сульфидные и 3) радиоактивные.

Углекислые воды

Углекислые воды являются наиболее ярко выраженным типом газовых минеральных вод. Обычно холодные, освежающие и приятные на вкус, они всегда привлекали внимание человека. На крупных углекислых источниках в настоящее время сооружены богатые и широко известные курорты в Кисловодске, Боржоми, Арзни и многих других местах СССР. Для углекислых вод характерно, что в газовом составе подавляющий процент объема газа приходится на углекислоту.

При вскрытии углекислых вод происходит снижение давления, и вода у поверхности земли как бы вскипает. Зеркало углекислых вод в источниках постоянно пульсирует от ритмических толчков пузырьков газа, ударяющих 50—60 раз в минуту. При выходе газа на поверхность дебит выделяющейся углекислоты настолько значителен, что он нередко в 1,5—3 раза больше дебита воды в том же источнике. В углекислой воде при выходе ее на поверхность так много появляется пузырьков свободно выделяющегося газа, что удельный вес воды вверху заметно уменьшается. На глубине 10—20 *м* вся углекислота находится в растворенном виде, образуя с водой единую динамическую систему. Большинство углекислых вод имеет общую минерализацию от 1 до 10 *г/л*, и только в исключительных случаях она достигает 30 *г/л*.

Химический состав углекислых вод разнообразен, так как углекислотой могут быть насыщены разные по солевому составу типы подземных вод. Однако большинство их относится к гидрокарбонатным водам, ибо чаще всего углекислые минеральные воды формируются из слабоминерализованных вод гидрокарбонатного типа.

Происхождение углекислоты в горных породах и подземных водах связано с биохимическими, метаморфическими и вулканическими процессами.

Наиболее широко распространены углекислые газы метаморфического происхождения. При метаморфизме углекислота из горных пород выделяется при воздействии на них температуры около 400° С. Отсюда ясно, что углекислота и углекислые воды широко распространены в зонах

интенсивной тектоники, где встречаются молодые магматические очаги, вулканы и приподнятые геологические сооружения, где на значительных площадях идут процессы контактного, динамического и регионального метаморфизма с бурным выделением углекислоты, находящейся при этом всегда в избытке и в подвижном состоянии.

Наличие карбонатных толщ в зонах интенсивной тектоники не обязательно для образования углекислых вод, но оно, несомненно, является благоприятным фактором для их формирования. Поступившая в подземную воду углекислота минерализует последнюю и постепенно превращает ее в углекислую минеральную воду. Вода, содержащая углекислоту, обладает большой растворяющей способностью, она выщелачивает и растворяет не только карбонаты, но и силикаты.

По химическому составу углекислые воды подразделяются на 5 групп:

1) углекислые гидрокарбонатнокальциевые, типа нарзан;
2) термальные, или горячие, по составу углекислосоленоглауберовые;
3) углекислые гидрокарбонатнонатриевые (содовые), типа Боржоми;
4) углекислосоленощелочные, типа Ессентуки № 17;
5) углекислые хлориднонатриевые (соленые) воды.

1. Углекислые гидрокарбонатнокальциевые воды (типа нарзан) широко распространены во всех областях углекислых вод (на Кавказе, Восточном Саяне, в Забайкалье); они обычно холодные , с минерализацией около 2 *г/л*.

2. Углекислые термальные, или горячие, воды, по составу соленоглауберовые или хлоридносульфатно-гидрокарбонатнонатриевокальциевые, известны в Карловых Варах (Чехословакия) и на Кавказе — в Славянском источнике. Общая минерализация их — около 7 *г/л*. Воды часто содержат соли радия.

3. Углекислые гидрокарбонатнонатриевые (содовые) воды (типа Боржоми) имеют общую минерализацию около 5—10 *г/л*. По температуре они то холодные, то горячие.

4. Углекислосоленощелочные, или углекислые гидрокарбонатнохлориднонатриевые, воды (типа Ессентуки № 17) имеют повышенную минерализацию — около 20 *г/л*, а также повышенное содержание хлористого натрия, брома и йода.

5. Углекислые хлориднонатриевые (соленые) воды имеют общую минерализацию до 30 *г/л*. Воды термальные, или горячие, связаны либо с соленосными отложениями, либо с районами, где сохранились древние метаморфизованные морские воды.[1]

Потери углекислоты снижают растворяющую способность воды. Поэтому при выходе углекислых источников на поверхность земли нередко образуются мощные отложения карбоната кальция — известкового туфа (травертина). Так, например, в Пятигорске накоплениями травертина, выделившегося из углекислых вод, сформирована Горячая Гора — отрог горы Машук.

На территории СССР области углекислых вод расположены главным образом вдоль южной государственной границы. Они особенно широко распространены во всех частях Кавказа — Северном Кавказе, Большом Кавказе, Азербайджане, Армении. На западе Европейской части СССР они имеются в районе Карпат.

[1] Чаще всего хлориднонатриевые (соленые) воды не имеют прямой связи ни с соленосными отложениями, ни с морскими водами. Условия их формирования еще не достаточно изучены. *Научн. ред.*

К востоку от Кавказа углекислые воды распространены на Памире, Южном Тянь-Шане, в Киргизии, на Восточном Саяне, в Забайкалье, на Дальнем Востоке, Камчатке, в районе действующих вулканов.

Сероводородные, или сульфидные, воды

Сероводород широко распространен в природе. Насыщение им подземных вод связано с миграцией серы.

Сульфидные воды имеют большое значение в бальнеологии. Они используются для лечения болезней сердца, для заживления травм и для лечения ревматизма. Сероводородные воды действуют размягчающим образом на кожу и разрушают роговой ее покров. Они вызывают благотворное покраснение кожи на теле человека (мацестинская реакция).

По существующим нормам к сероводородным относятся воды с содержанием в них 1 *мг/л* сероводорода. Однако в последние годы, на практике, к сероводородным водам стали относить лишь минеральные воды с содержанием в них общего титруемого йодом сероводорода не менее 10 *мг/л*. Под общим сероводородом, или суммой серы, принимается сумма свободного сероводорода H_2S и ионов: HS, S_2O_3, SO_3, S.

По содержанию общего сероводорода сульфидные воды подразделяются: 1) на воды «крепкие» с содержанием сероводорода 150—700 *мг/л*, 2) воды средней концентрации, содержащие сероводорода 70—150 *мг/л*, 3) воды, бедные сульфидами, с содержанием общего сероводорода менее 70 *мг/л*.

Для определения типа сероводородных минеральных вод недостаточно знать сумму общего сероводорода. Для этой цели необходимо еще определить соотношение между отдельными компонентами, содержащими серу. Соотношение сульфидных компонентов воды зависит от степени диссоциации ионов, которая в свою очередь определяется концентрацией водородных ионов (pH). Содержание сероводорода в минеральной воде зависит от концентрации водородных ионов.

По соотношению сульфидных компонентов сероводородные воды подразделяются: 1) на сероводородные, для которых характерно $5 < pH < 6{,}5$; 2) сероводородногидросульфидные с $6{,}5 < pH < 7{,}5$ и 3) гидросульфидные с $7{,}5 < pH < 9{,}0$. Наибольшее количество сероводорода содержат сероводородные воды и наименьшее — гидросульфидные, в которых сероводород находится в явно подчиненном положении.

Количество сероводорода в минеральной воде определяется «сероводородным коэффициентом» K_S, который показывает, какой процент от общего количества серы в воде приходится на сероводород.

$$K_S = \frac{H_2S}{\sum S} 100\%.$$

Мацестинские воды, например, содержат 59% сероводорода, Сергиевские в Поволжье — 48% и т. д.

Сульфидные воды всегда, помимо сероводорода, имеют азот, метан и углекислоту. Содержание сероводорода в минеральной воде зависит от количества CO_2. Сульфидные воды по химическому составу, содержанию в них сероводорода и условиям залегания разделяются на четыре группы.

1. Воды хлоридонатриевые и хлоридно-кальциевые, типа мацестинских. Это так называемые «крепкие» сероводородные воды с содержанием общего сероводорода более 150 *мг/л* с сероводородным коэффициен-

том выше 50%. Они обычно имеют повышенное содержание брома, аммония и борной кислоты.

По происхождению крепкие сероводородные воды относятся к древним метаморфизованным водам морского генезиса и приурочены преимущественно к районам нефтяных месторождений.

2. Воды хлоридносульфатные или более сложные по составу, со средним содержанием общего сероводорода около 70—150 *мг/л*. Это так называемые сероводородногидросульфидные воды, с невысоким содержанием сероводорода. Они встречаются обычно по окраинам альпийской складчатой зоны (в Копет-Даге, Аахане в Германии и т. д.).

3. Воды сульфатнокальциевые холодные, слабоминерализованные, с содержанием общего сероводорода менее 70 *мг/л*. Это так называемые гидросульфидные воды.

Сульфатнокальциевые воды приурочены к платформенным областям, где развиты гипсоносные породы или отложения, богатые органическими веществами, — торфом, илом и т. п.

4. Воды «пиренейского» типа. По химическому составу они гидрокарбонатнонатриевые, реже хлоридносульфатнонатриевые. Воды низкой минерализации и содержащие только гидросульфидные ионы. Они напорные, трещинные, термальные или горячие, поднимаются со значительных глубин и приурочены к контакту гранитных массивов и сланцев и к туфогенным породам. Широко развиты на Тянь-Шане, Алтае, в Забайкалье и на Кавказе (Псекупские воды Горячего Ключа).

Радиоактивные воды

Радиоактивные воды являются своеобразным и очень сложным типом минеральных вод. Частицы радиоактивных минеральных вод осаждаются на поверхности внутренних органов при внутреннем их употреблении и на коже человека при их использовании в ванне и сообщают им активность и благотворное больнеологическое воздействие, излечивая самые разнообразные болезни.

Радиоактивными называют воды, содержащие радиоактивные элементы в измеримом количестве. По принятым нормам, нижним пределом содержания эманации радия в минеральных радиоактивных водах считается 3,5 [М. Е.] (Единица Махе) и нижним пределом содержания солей радия -10^{-11} *г/л*.

Единица Махе [М. Е.] представляет собой меру радиоактивности, равную 0,364 *миллимикрокюри*. В 1921 г. за единицу концентрации эманации радия принята еще одна величина — *эман*, которая в 3,64 раза меньше единицы Махе, т. е. 1 [М.Е.] равна 3,64 *эман*.

Радиоактивные воды подразделяются на две основные разновидности:

1) воды радоновые, содержащие только одни газообразные эманации радия;

2) воды радиевые, содержащие в растворе и соли радия, и эманации радия.

Эманации радия (радон) имеются почти во всех природных водах, но содержание их в большей части вод ничтожное, и потому последние не являются минеральными. Солей радия в природных водах еще меньше, чем эманаций радия.

Большинство радиоактивных минеральных вод относится к радоновым водам. Радоновые воды подразделяются:

а) на воды сильнорадиоактивные, имеющие более 100 ед. Махе и используемые главным образом для внутреннего употребления;

б) воды средней радиоактивности, содержащие 50—100 ед. Махе;
в) воды слаборадиоактивные, содержащие 10—50 ед. Махе.

Содержание в радиевых водах прочих радиоэлементов (урана, тория и их изотопов) весьма незначительное. На некоторых курортах используются и очень слаборадиоактивные воды, с содержанием радона 10—35 *эманов*.

Радиоактивные воды приурочены к складчатым зонам, имеющим кислые интрузии (гранитные массивы), содержащие рассеянные радиоактивные элементы. Кроме того, радиоактивные воды распространены в районах органогенных отложений, где широко развиты биогенные процессы, например, в районах нефтяных месторождений. И. Е. Старик [1943] радоновые минеральные воды подразделяет по происхождению на три группы.

1. Воды, обогащенные радоном, поступившим из радиоактивных пород, имеющих высокую концентрацию радия. Эти воды встречаются только в районах радиоактивных месторождений.

2. Воды, обогащенные радоном, поступившим из радиоактивных пород, имеющих невысокую концентрацию, но имеющих высокий коэффициент эманирующей способности. Указанные воды обычно распространены в тектонически нарушенных зонах.

3. Воды, обогащенные радоном, поступившим из пород, имеющих повышенное содержание радия, хорошую эманирующую способность и благоприятные гидрогеологические условия.

В частности, радиоактивные минеральные воды с высокой концентрацией радона обычно приурочены к водоносным горизонтам с небольшим коэффициентом фильтрации и малым дебитом. Сильнорадиоактивные источники обычно выходят их гранитов, сиенитов и порфиров, разбитых сбросами. Из поверхностных пород значительной радиоактивностью отличаются выветрелые, разрушенные породы и четвертичные отложения, залегающие над массивами и жилами кислых магматических пород, из которых и мигрируют эманации радия.

В Советском Союзе наиболее популярными курортами, построенными на радиоактивных минеральных водах, являются Цхалтубо в Грузии, вблизи Кутаиси, и Белокуриха в Алтайском крае.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

В СССР наиболее распространена классификация минеральных вод В. А. Александрова, в которой по химическому составу выделяется шесть классов: гидрокарбонатные воды с преобладанием иона HCO_3' более 25% экв.; хлоридные воды с содержанием иона Cl' более 25% экв.; сульфатные воды с содержанием иона SO_4'' более 25% экв; воды сложного состава, представляющие собой сочетание первых трех классов; воды с наличием биологически активных ионов и газовые воды (см. гл. IV).

Достоинством классификации минеральных вод В. А. Александрова является ее простота и наличие общих черт с классификацией всех вод в природе. Кроме того, наименования минеральных вод в данной классификации чисто гидрогеологические, укоренившиеся в курортной и исследовательской практике.

Недостатком этой классификации является то, что только воды первого, второго, третьего и четвертого классов четко разделяются друг от друга; воды же пятого и шестого класса как бы накладываются на воды первых четырех классов, и потому одна и та же вода может быть отне-

сена к трем классам. По содержанию анионов и катионов она может быть отнесена к одному из первых четырех классов минеральной воды, по наличию биологических активных элементов — к пятому классу, и по наличию газов — к шестому классу.

А. М. Овчинников [1955] предложил новую схему гидрохимической классификации минеральных вод, основанную на комплексе газовых и химических показателей (табл. VII-2).

Таблица VII-2

Схема гидрохимической классификации минеральных (лечебных) вод
(по А. М. Овчинникову)

Основные группы воды	Особенности газового состава	Типы минеральных вод
Воды с газами окислительной обстановки (N_2. O_2, CO_2 и др.)	Обычно негазирующие (содержащие газ только в растворе)	С повышенным содержанием специфических компонентов: железистые, мышьяковистые (купоросные). Без повышенного содержания специфических компонентов: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные
Воды с газами восстановительной обстановки CH_4, H_2S, N_2 CO_2 и др.	Слабогазирующие: а) азотные	Кремнистые щелочные термальные, местами радоновые Слабогидросульфидные термальные Воды сложного состава, часто хлоридные, кальциевонатриевые
	б) сероводородные	Мацестинские высокой концентрации (с метаном) Воды сложного состава средней концентрации Сульфатнокальциевые низкой концентрации Гидросульфидные термальные
Воды с газами метаморфической обстановки CO_2 и др.	Сильногазирующие углекислые	Холодные (нарзаны). Горячие типа железноводских и Карловы Вары
	Радонорадиевые	Радонорадиевые Боржоми — Виши, Ессентуки, местами мышьяковистые Соленые воды Арзни — Наугейм

Так как большинство минеральных вод оказывает лечебное действие не одним каким-либо ионным или газовым компонентом и не каким-либо одним своим физическим свойством, а всем комплексом физико-химических особенностей минеральных вод, то Иванов В. В. [1955] предложил все минеральные воды оценивать и подразделять по следующим семи основным показателям, или критериям: 1) газовому составу воды; 2) ионному составу; 3) общей минерализации; 4) содержанию биологически активных микрокомпонентов; 5) температуре; 6) радиоактивности; 7) кислотности (щелочности) воды.

Отнесение подземных вод к минеральным (лечебным) В. В. Ивановым производится по нижеприведенным критериям (табл. VII-3).

§ 4. РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Закономерности распространения минеральных вод

Источники минеральных вод редко распространены на Земле отдельными изолированными струями, поднимающимися с больших глубин. Минеральные источники, как правило, обычно на поверхность выходят целыми семействами, или группами.

Таблица VII-3

Классификация минеральных вод (по В. В. Иванову)

По газовому составу	По ионному составу		По общей минерализации	По содержанию биологически активных микрокомпонентов	По температуре, °С	По радиоактивности	По кислотности
1. Углекислые	1. Хлоридные	1. Натриевые	1. Слабоминерализованные (до 1 *г/л*)	1. Сероводородные ($H_2S > 10$ *мг/л*)	1. Исключительно холодные < 0	1. Радоновые 1) слабоактивные (от 10 до 50 ед. Махе)	1. Сильнокислые (pH < 5)
2. Азотные	2. Сульфатные	2. Кальциевые	2. Среднеминерализованные (от 1 до 10 *г/л*)	2. Железистые ($Fe > 10$ *мг/л*)	2. Очень холодные (от 0 до 4)	2) среднеактивные (от 50 до 100 ед. Махе)	2. Слабокислые (pH от 5,5 до 7)
3. Метановые	3. Гидрокарбонатные	3. Магниевые	3. Высокоминерализованные (от 10 до 50 *г/л*)	3. Мышьяковистые ($As > 1$ *мг/л*)	3. Холодные (от 4 до 20)	3) сильноактивные (более 100 ед. Махе)	3. Нейтральные (pH = 7,0)
4. Сероводородные	4. Сложного состава	4. Сложного состава	4. Рассольные (свыше 50 *г/л*)	4. Бромистые ($Br > 25$ *мг/л*)	4. Теплые (от 20 до 37)		4. Слабощелочные (pH от 7,0 до 8,5)
5. Сложного состава				5. Йодистые ($J > 10$ *мг/л*)	5. Горячие (от 37 до 42)		5. Сильнощелочные (pH > 8,5)
				6. Кремнистые ($H_2SiO_3 > 50$ *мг/л*)	6. Очень горячие (более 42)		
				7. Борные ($HBO_2 > 50$ *мг/л*)	7. Исключительно горячие — выше точки кипения на данной высоте (обычно 97—100)		

Источники минеральной воды, расположенные вблизи друг от друга и генетически связанные между собой, образуют месторождение минеральных вод. Каждое такое месторождение обычно приурочено к определенному коллектору, который представляет собой водоносный пористый пласт или водоносную трещинную зону.

Контуры месторождений минеральных вод определяются геологическими структурами, динамикой подземных вод, историей их развития и разработки. Так, например, контуры минеральных вод обычно бывают сдвинуты в сторону движения — к очагу разгрузки. Контуры многих разрабатываемых месторождений минеральных вод резко изменяются и постепенно сокращаются.

Месторождения минеральных вод объединяются в зоны и гидрогеологические области. Наиболее известной и ярко выраженной зоной месторождений минеральных вод является зона тектонического разрыва в Копет-Даге, где на значительном расстоянии по линии разрыва широкой полосой один за другим выходят минеральные источники.

Минеральные воды платформ и минеральные воды складчатых областей отличаются друг от друга; причем воды разных тектонических районов или зон на платформах и складчатых областях тоже различны. Так, например, на платформах в их глубоких впадинах обычно формируются соленые хлорнатриевые или хлоркальциевонатриевые воды.

В докембрийских выступах на платформах распространены главным образом пресные гидрокарбонатные воды. В складчатых областях выходы минеральных вод встречаются значительно чаще, чем на платформах, и химический состав их более разнообразен. Особенно много источников минеральных вод в зоне альпийской складчатости. В ней распространены углекислые, сероводородные, радиоактивные, азотные и другие воды.

Углекислые воды приурочены к районам молодой вулканической деятельности и к пограничной с платформами полосе в зоне альпийской складчатости, где широко развиты процессы метаморфизма.

Крепкие сероводородные минеральные воды распространены в периферийной зоне складчатой области, где имеются нефтяные месторождения[1]. Сильные радиоактивные минеральные воды связаны с теми областями, где имеются интрузии кислых магматических пород, разбитых разломами и трещинами.

Минеральные воды в складчатых областях нередко обогащаются специфическими биологически активными элементами: бромом, йодом, мышьяком, литием, железом и т. п. Состав газов показывает на процессы, которые протекают в минеральной воде.

На Кавказе ясно прослеживается семь гидрогеологических зон: 1) зона углекислых вод Большого Кавказа; 2) зона азотных гидрокарбонатных вод меловых флишевых отложений северо-западного Кавказа; 3) зона азотных гидрокарбонатных вод юрских сланцев на юго-восточном Кавказе; 4) зона сероводородных сульфатных вод известняковых массивов Северного Кавказа; 5) зона сероводородных хлоридных вод (типа Мацесты); 6) зона углекислых и азотных вод Малого Кавказа; 7) периферийный пояс метановых вод третичных битуминозных отложений.

Выход минеральных вод в складчатых областях происходит главным образом в местах перегибов складок, в зоне развития разломов и трещин и по стратиграфическим контактам. Выходы наибол (минерали-

[1] Сероводородные воды имеют распространение также в платформенных областях, а равно и в районах, где нефтяные месторождения отсутствуют. *Научн. ред.*

зованных вод обычно бывают приурочены к второстепенным, а не к главным каналам и сбросам, по которым, вследствие более свободного движения воды, обычно поднимаются более обильные опресненные воды.

Области распространения минеральных вод

Области распространения минеральных вод тесно связаны с геоструктурными особенностями земной коры.

На рис. VII-1 приведена схема районирования минеральных вод, составленная А. М. Овчинниковым. На карте вся территория СССР подразделяется им на 5 гидрогеологических областей.

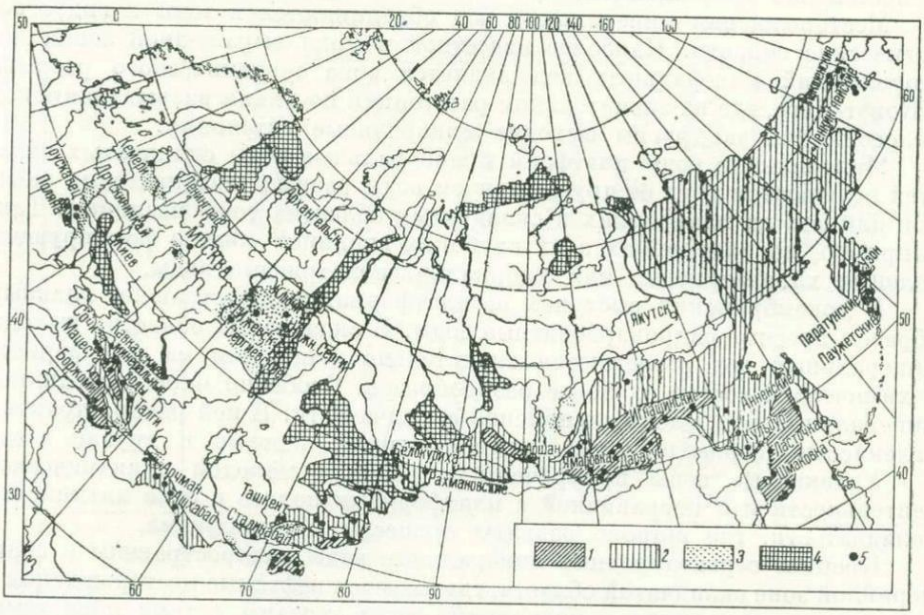


Рис. VII-1. Схематическая карта природных минеральных вод СССР.

1 — области углекислых вод; *2* — области азотных термальных вод; *3* — платформенные области с негазирующими хлоридно-натриевыми и хлоридными кальциево-натриевыми водами (мелкими точками показаны районы сероводородных и метановых вод); *4* — области слабоминерализованных вод коры выветривания кристаллических и метаморфических пород, местами обогащенные металлами и радоном; *5* — минеральные источники.

В табл. VII-4 приводятся температура и состав широко известных минеральных вод СССР.

Способы каптажа минеральных вод могут быть самыми разнообразными (см. гл. XXIV). Углекислые и сероводородные воды обычно каптируются буровыми скважинами или скважинами в комбинации с колодцами и штольнями.

Радиоактивные воды чаще всего каптируются колодцами, штольнями, барражами, неглубокими скважинами. Радиевые воды каптируются глубокими скважинами.

Для оценки состояния каптажных сооружений имеется специальный паспорт, утвержденный Главным курортно-санаторным управлением Министерства здравоохранения СССР.

Для предотвращения потери воды и газа минеральные воды от источников к месту потребления должны поступать по полно-заполненным тру-

Таблица VII-4

Состав некоторых минеральных вод СССР

Название источников	Температура, °С	Химический состав источников (формула Курлова)
1. Углекислые источники		
Нарзан в Кисловодске	13,8	$CO^2_{2,0}M_{2,5}\frac{HCO^3_{58}SO^4_{30}}{Ca_{58}Mg_{22}}$
Ессентуки, источник № 17	13,0	$CO^2_{2,6}M_{11,3}\frac{HCO^3_{60}Cl_{39}}{Na_{91}}$
Славянский в Железноводске	54,9	$CO^2_{0,8}M_{3,4}\frac{HCO^3_{45}SO^4_{38}}{Ca_{29}Na_{61}}$
Екатерининский в Боржоми	29,0	$CO^2_{1,2}M_{6,0}\frac{HCO^3_{85}}{Na_{88}}$
Джермук (Армения)	64,0	$M_{4,2}\frac{HCO^3_{57}SO^4_{25}}{Na_{72}}$
Аршан (Бурят-Монголия)	8,0	$CO^2_{2,16}Fe_{0,013}M_{3,6}\frac{HCO^3_{78}}{Ca_{64}Mg_{21}}$
Теплый нарзан Пятигорска	32,8	$CO^2_{1,2}M_{5,1}\frac{HCO^3_{37}Cl_{34}SO^4_{24}}{Na_{58}Ca_{32}}$
Смирновский № 1 в Железноводске	39,4	$CO^2_{1,2}M_{2,9}\frac{HCO^3_{48}SO^4_{36}}{Na_{59}Ca_{31}}$
Дарасун (Читинская обл.)	2,4	$CO^2_{3,5}M_{1,2}\frac{HCO^3_{93}}{Ca_{50}Mg_{32}}$
Арзни в Армении	20,5	$CO^2_{2,0}M_{8,3}\frac{Cl_{65}HCO^3_{27}}{Na_{75}}$
2. Соленые источники		
Старая Русса (Новгородская обл.)	6—11	$M_{22,0}\frac{Cl_{92}}{Na_{72}}$
Славянск (Украина)	—	$M_{31,2}\frac{Cl_{98}}{Na_{98}}$
Ижевск	7,1	$M_{4,9}\frac{SO^4_{60}Cl_{40}}{Na_{46}Ca_{34}Mg_{20}}$
Миргород	—	$M_{3,0}\frac{Cl_{79}}{Na_{93}}$
Чимион (Узбекская ССР)	27,0	$H_2S_{0,240}M_{7,5}\frac{Cl_{97}}{Na_{74}}$

Продолжение табл. VII-4

Название источников	Температура, °С	Химический состав источников (формула Курлова)
3. Сероводородные источники		
Мацестинский № 4	27,0	$H_2S_{0,178}Br_{0,30}M_{12,6}\ \frac{Cl_{95}}{Na_{79}}$
Талги (Дагестанская АССР), скв. 1	38,0	$H_2S_{0,430}M_{5,0}\ \frac{Cl_{67}}{Na_{59}Ca_{28}}$
Горячий Ключ (Псекупские воды)	55,5	$M_{2,0}\ \frac{Cl_{47}HCO^3_{46}}{Na_{95}}$
Сергиевский источник № 1 (Куйбышевская обл.)	8,0	$H_2S_{0,053}M_{3,0}\ \frac{SO^4_{76}HCO^3_{21}}{Ca_{77}Mg_{20}}$
Усть-Качка (Приуралье)	6,2	$H_2S_{0,350}M_{77,0}\ \frac{Cl_{90}}{Na_{88}}$
Ключи (Урал)	6,4	$H_2S_{0,144}M_{3,1}\ \frac{SO^4_{55}Cl_{27}}{Na_{39}Ca_{32}Mg_{28}}$
Кемери (Латвия)	—	$H_2S_{0,025}M_{3,5}\ \frac{Cl_{57}HCO^3_{23}}{Na_{59}Ca_{33}}$
Серноводск	67,0	$H_2S_{0,030}M_{3,0}\ \frac{Cl_{67}HCO^3_{25}}{Na_{94}}$
Хилово (Псковская обл.)	6,8	$H_2S_{0,48}M_{1,9}\ \frac{SO^4_{64}HCO^3_{33}}{Ca_{87}}$
Любен-Великий (Львовская обл.)	11.0	$H_2S_{0,087}M_{2,1}\ \frac{SO^4_{72}}{Ca_{89}}$
4. Радиоактивные источники		
Цхалтубо (Грузия)	32,8	$Rn_{6,85}M_{0,8}\ \frac{SO^4_{40}HCO^3_{37}Cl_{22}}{Ca_{58}Mg_{24}}$
Белокуриха (Алтай)	35,2	$Rn_{30,0}M_{0,3}\ \frac{HCO^3_{61}}{Na_{91}}$

Примечание. Минерализация вод (М) выражена в *г/л*.

бам. По районам минеральных вод устанавливаются округа санаторной охраны, а внутри округа — три зоны охраны с различной степенью ограничений.

Первая зона, прилегающая непосредственно к источникам, является зоной наиболее жесткого режима. В ней запрещается постоянное и временное проживание лиц, не связанных непосредственно с работой на курорте, а также какое бы то ни было строительство или земляные работы, не связанные с работой курортов.

Вторая зона охватывает территорию, с которой происходит сток поверхностных и грунтовых вод в место выхода на поверхность минеральных источников, места неглубокой от поверхности земли циркуляции минеральных и пресных вод, связанных с минеральными источниками, естественные и искусственные хранилища лечебных вод и лечебных грязей, лечебные сооружения, прибрежные полосы морей и озер вблизи курортов.

В этой зоне запрещается использование территории, ухудшающее минеральные воды в количественном и качественном отношении. В связи с этим в пределах данной зоны всякого рода строительства, использование земельных, лесных участков и водоемов для каких-либо целей допускается только с особого разрешения местного Совета депутатов трудящихся.

Третья зона охватывает всю площадь питания и формирования минеральных вод.

Глава VIII

ВОДЫ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Подземные воды нефтяных месторождений и районов, перспективных в отношении нефте-газоносности, описываются в работах многих исследователей и особенно в трудах Н. И. Андрусова, К. В. Харичкова, Д. В. Голубятникова, М. В. Абрамовича, К. Крейчи-Графа, Н. Т. Линдтропа, В. М. Николаева, В. А. Сулина, Г. М. Сухарева, Н. К. Игнатовича, Г. А. Максимовича, В. П. Савченко, А. И. Силина-Бекчурина, М. А. Гатальского, Н. Н. Ростовцева, М. С. Гуревича, В. А. Кротовой и др.

Большую роль в изучении подземных вод нефтяных месторождений сыграли работы по общей гидрогеологии, подземной гидравлике и динамике подземных вод, гидрохимии и другим наукам. Здесь имеются в виду работы Ф. П. Саваренского, А. Ф. Лебедева, А. М. Овчинникова, О. К. Ланге, Б. Л. Личкова, П. П. Климентова, А. Н. Семихатова, Л. С. Лейбензона, В. Н. Щелкачева, И. А. Чарного, М. Е. Альтовского, Г. Н. Каменского, А. И. Силина-Бекчурина, М. Маскета, Б. Б. Лапука, Г. Б. Пыхачева, П. Я. Полубариновой-Кочиной, С. А. Христиановича, В. И. Вернадского, Ч. Пальмера, А. П. Виноградова, Н. Н. Славянова, О. А. Алекина, А. Н. Бунеева, В. А. Соколова и др. В настоящее время имеется сравнительно обширная литература, освещающая нефтяные воды, их происхождение, формы залегания и движение в породах нефтяных месторождений, значение их при разработке нефтяных и газовых залежей, роль в формировании, сохранении и разрушении последних и т. д.

По водам нефтяных месторождений имеются и справочные пособия, составленные в последнее время (Спутник полевого геолога-нефтяника, т. II, 1954).

Это последнее обстоятельство и явилось причиной того, что в данном руководстве воды нефтяных месторождений характеризуются в небольшом объеме, при этом материал излагается главным образом по работам Н. К. Игнатовича (1940—1950), В. А. Сулина (1935, 1946, 1948) и Г. М. Сухарева (1947—1956).

На сегодня эти работы можно считать основными в области нефтяной гидрогеологии, хотя в них некоторые положения и не являются бесспорными.[1]

---

[1] Наиболее важными в области нефтяной гидрогеологии, дающими новое направление этой отрасли науки, являются последние работы ВНИГРИ (М. А. Гатальского, В. А. Кротовой), ВСЕГЕИ (М. С. Гуревича и др.). *Научн. ред.*

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Встречаемые в районах нефтяных и газовых месторождений подземные воды можно разделить на три вида (рис. VIII-1): 1) грунтовые; 2) пластовые напорные; 3) трещинные напорные воды.

Грунтовые воды. Эти воды связаны с первым от поверхности водопроницаемым слоем, залегающим выше первого водоупора. Обычно эти воды бывают приурочены к различным генетическим разностям четвертичных отложений, покрывающим коренные породы.

Химический состав этих вод определяется характером горных пород, в которых залегают и движутся эти воды, наличием в районе месторождений крупных тектонических трещин и зон тектонических нарушений, по которым циркулируют напорные терщинные воды, иногда осложняющие солевой и газовый состав грунтовых вод, и гидролого-метеорологической обстановкой, в которой находится район месторождения. Поэтому в районах нефтяных месторождений имеют распространение пресные и минерализованные грунтовые воды гидрокарбонатного, сульфатного, хлоридного и смешанного состава.

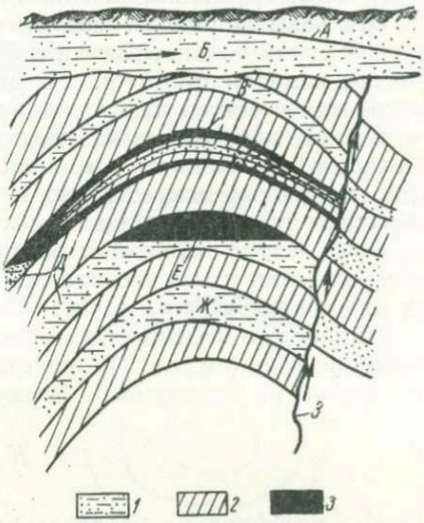


Рис. VIII-1. Схема залегания подземных вод нефтяного месторождения.

1 — проницаемые породы; *2* — непроницаемые породы; *3* — нефть; *А* — поверхность грунтовых вод; *Б* — грунтовые воды; *В* — верхние пластовые воды; *Г* — промежуточные воды; *Д* — контурные воды; *Е* — подошвенные воды; *Ж* — нижние пластовые воды; *З* — трещинные воды.

Пластовые напорные воды. Эти воды залегают в проницаемых пластах горных пород, участвующих в разрезе нефтяного месторождения и прилегающего к нему района.

Относительно нефтяного пласта пластовые воды разделяются:

1) на пластовые воды, залегающие в нефтяном пласте;

2) пластовые воды посторонние (чуждые), не связанные с нефтяной залежью.

В свою очередь пластовые воды, залегающие в нефтяном пласте, подразделяются: на контурные (краевые) воды; верхние контурные (верхние краевые) воды; подошвенные и промежуточные.

К о н т у р н ы м и (к р а е в ы м и) называют воды, которые залегают в нижних частях нефтяных пластов и подпирают нефтяную залежь со стороны контура нефтеносности.

В е р х н и м и к о н т у р н ы м и (верхними краевыми) являются воды, залегающие в верхней части нефтяного пласта, выходящей на дневную поверхность (в моноклиналях, разрушенных сводах антиклиналей).

П о д о ш в е н н ы м и называются воды, распространенные в пределах нефтеносной структуры и залегающие в нижней части нефтяного пласта.

К п р о м е ж у т о ч н ы м относятся воды, приуроченные к проницаемым пропласткам, залегающим в нефтяном пласте и насыщенным только водой.

Пластовые воды (посторонние) подразделяются на верхние и нижние воды.

В е р х н и м и называют воды, залегающие выше данного нефтяного пласта.

Н и ж н и м и называют воды, встречаемые ниже этого же пласта.

В разрезе месторождения могут иметь место несколько верхних и нижних водоносных горизонтов с пластовыми (посторонними) водами.

Трещинные (тектонические) напорные воды. Эти воды залегают и циркулируют или в отдельных тектонических трещинах, или в зонах тектонических нарушений, имеющих место в районе нефтяного месторождения.

Эти воды напорные, часто поступают с больших глубин, пересекают на своем пути водоносные горизонты с пластовыми водами, смешиваются с ними, изменяя при этом как свой первоначальный солевой и газовый состав, так и состав пластовых вод и их гидравлический режим.

Кроме перечисленных подземных вод нефтяных месторождений, в разрезах последних на эксплуатационных площадях встречаются воды, введенные искусственно в нефтяной пласт при бурении скважин, ремонтных работах, площадном и законтурном заводнении.

Они часто осложняют естественные гидрогеологические условия месторождения и при исследованиях солевого и газового состава нефтяных вод это обстоятельство всегда необходимо учитывать.

Наконец, в нефтяных пластах содержится так называемая физически связанная вода (см. гл. I), оказывающая влияние на нефтеотдачу пластов, что видно из следующей формулы

$$K = \frac{S_в' - S_в}{100 - S_в}, \qquad \text{(VIII-1)}$$

где K — коэффициент нефтеотдачи пласта в долях единицы;

$S_в'$ — общая водонасыщенность пласта, %;

$S_в$ — содержание физически связанной воды, % (в среднем содержание этой воды в нефтяном пласте составляет 15—25%).

§ 2. ДВИЖЕНИЕ КОНТУРНЫХ ВОД В НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

При одновременном присутствии в пласте (коллекторе) жидкости (воды, нефти) и газа они распределяются соответственно их удельным весам.

При антиклинальном строении нефтяного или газового месторождения газ скапливается в сводовой части структуры, нефть — ниже, а в пониженных частях крыльев — вода.

Граница, разделяющая в пласте газ и воду, называется газо-водяным контактом, или контуром газоносности, а граница, которая разделяет нефть и воду, — водо-нефтяным контактом, или контуром нефтеносности (рис. VIII-2).

В пологих нефтеносных и газоносных структурах при большой мощности продуктивных пластов различают внешний контур нефтеносности (газоносности), проводимый по кровле пласта, и внутренний контур нефтеносности (газоносности), который проводится по подошве пласта (рис. VIII-3).

В случае, отвечающем рис. VIII-3, скважины, пройденные в пределах внутреннего контура нефтеносности, вскроют безводную нефть,

а скважины, пробуренные между внутренним и внешним контурами, — нефть вместе с водой, за пределами внешнего контура — воду.

При извлечении скважинами нефти или газа контурная вода поднимается вверх по восстанию пласта, что соответствует стягиванию контура нефтеносности (газоносности) в горизонтальной плоскости.

Стягивание контура нефтеносности (газоносности), в зависимости от физических свойств горных пород, слагающих продуктивный пласт, и условий эксплуатации, может быть равномерным или неравномерным во времени.

Равномерное стягивание контура нефтеносности обычно имеет место в условиях однородной проницаемости пласта и при правильной его эксплуатации (оптимальный отбор нефти при допустимых депрессиях пластового давления и др.); неравномерное — при различной проницаемости пласта на отдельных его участках и неправильном способе эксплуатации (интенсивный отбор нефти за счет недопусти-

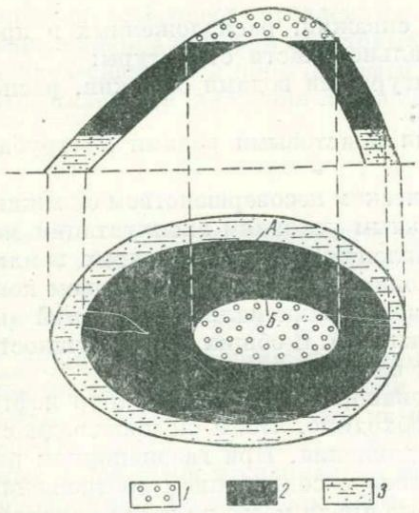


Рис. VIII-2. Схема сводовой пластовой залежи нефти с газовой шапкой.

1 — газ; *2* — нефть; *3* — вода; *А* — контур нефтеносности; *Б* — контур газоносности.

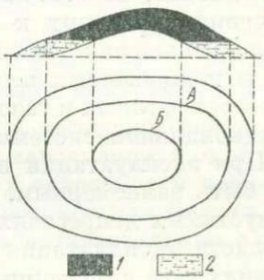


Рис. VIII-3. Схема залежи нефти в пологозалегающем пласте большой мощности.

1 — нефть; *2* — вода; *А* — внешний контур нефтеносности; *Б* — внутренний контур нефтеносности.

мой депрессии пластового давления и др.). При эксплуатации нефтяных месторождений контурные воды продвигаются от начального контура нефтеносности к последнему ряду эксплуатационных скважин (или одной эксплуатационной скважине, заложенной в центре залежи), при этом Г. Н. Каменский и др. [1953] различают три рода движения контурных вод:

1) вода движется с повышенной скоростью и обгоняет нефть;
2) вода движется с той же скоростью, что и нефть;
3) вода поднимается вверх, образуя конусы обводнения.

С движением контурных и подошвенных вод связано обводнение нефтяных и газовых месторождений, для борьбы с которым приходится предусматривать специальные мероприятия.

А. И. Силин-Бекчурин [1948] предлагает различать два случая обводнения:

1) обводнение всего месторождения;
2) обводнение отдельных нефтяных скважин.

Обводнение всего месторождения при равномерном стягивании контура нефтеносности соответствует нормальным условиям эксплуатации

месторождения, оно способствует полному или почти полному извлечению нефти из пласта.

Обводнение при неравномерном стягивании контура нефтеносности часто приводит к образованию так называемых «языков» обводнения, которые расчленяют нефтяную залежь на отдельные участки (блоки).

То же самое происходит и при образовании конусов обводнения за счет подошвенных вод.

Обводнение отдельных нефтяных скважин может быть вызвано различными причинами, например, захватом этих скважин языками и конусами обводнения, техническим состоянием скважин и т. п.

При этом различают следующие случаи обводнения [Г. Н. Каменский и др., 1953]:

1) обводнение контурными водами скважин, расположенных в пределах контура нефтеносности, в центральной части структуры;

2) обводнение подошвенными и контурными водами скважин, расположенных близ контура нефтеносности;

3) обводнение нижними и верхними пластовыми водами по трубам и затрубному пространству;

4) обводнение, обусловленное техническим несовершенством скважин.

Обводнение, не отвечающее нормальным условиям эксплуатации месторождения, приводит к потере (оставлению) нефти в недрах земли.

Для уменьшения этих потерь необходимо управлять движением контурных и подошвенных вод, что достигается рациональной системой эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. В общих чертах сущность этой рациональной системы сводится к следующему.

1. При эксплуатации пласта с водонапорным режимом отбор нефти должен быть равномерным, при этом необходимо, чтобы он производился при допустимых депрессиях пластового давления. При газонапорном режиме пласта эксплуатация должна вестись с сохранением соотношений в давлениях газа и подземных вод, которые имели место до начала эксплуатации. При резкой дегазации нефтяной залежи, в газовую шапку должна производиться закачка газа.

2. Во избежание образования языков контурных и конусов подошвенных вод, в начальной стадии эксплуатации (фонтанный период) должен производиться ограниченный и равномерный отбор жидкости.

3. В конечной стадии разработки месторождения (насосный период), когда последнее в значительной части уже обводнено, должен производиться усиленный отбор нефти (при глубоком спуске эксплуатационной колонны), что способствует захвату пластовыми водами нефти, оставшейся в отдельных участках пласта, возникших при расчленении его языками и конусами обводнения.

4. Для борьбы с языками обводнения, образующимися за счет контурных вод, можно производить откачку воды из специальных регулировочных скважин, проходимых в задних частях языков, что приводит к отрыванию последних от обводняемых нефтяных скважин.

Борьба с обводнением нефтяных скважин, обусловленным конусами подошвенных вод, производится путем:

1) бесконусной эксплуатации, при которой из нефтяных скважин одновременно откачиваются нефть и вода специальными двухступенчатыми насосами;

2) цементаж скважин от забоя до водоупорных пластов;

3) прекращения эксплуатации обводненной скважины на время, необходимое для естественного спада конуса.

Управление движением контурных вод осуществляется не только перечисленными, но и другими мероприятиями, в частности, путем нагнетания воды в водяную часть нефтяного пласта через специальные нагнетательные скважины, т. е. посредством так называемого законтурного заводнения.

Последнее в настоящее время применяется на многих нефтяных месторождениях СССР и особенно на месторождениях Второго Баку, где оно было внедрено в широких масштабах и научно обосновано нашими учеными.

Известно, что при водонапорном режиме нефтяного пласта напор воды в последнем является главным источником энергии для продвижения нефти к скважинам. Но при длительной эксплуатации глубокозалегающих пластов, имеющих отдаленные области питания, пластовое давление, определяемое напором пластовых вод, снижается, что приводит к падению дебита скважин и добычи нефти по всему месторождению. В общем виде это пластовое давление выражается формулой

$$P = \frac{H\gamma}{10}, \qquad \text{(VIII-1)}$$

где P — величина пластового давления, *атм*;
H — высота столба воды в скважине, *м*;
γ — удельный вес воды;
10 — высота водяного столба, *м*, отвечающая давлению в 1 *атм*.

Для поддержания пластового давления, а часто для искусственного повышения его и производится законтурное заводнение, т. е. нагнетание воды, забираемой насосами из поверхностных водотоков и водоемов или водозаборными скважинами из подрусловых потоков или других водоносных горизонтов, в специально оборудованные нагнетательные скважины, проходимые за контуром нефтеносности.

Расчет приемной способности (величины поглощения) нагнетательных скважин производится по формулам подземной гидравлики и динамики подземных вод, из них часто пользуются следующей формулой

$$Q = \frac{Kh\Delta P}{0{,}0425b\mu \lg \frac{R}{r}}, \qquad \text{(VIII-2)}$$

где Q — поглотительная способность скважины, *м³/сутки*;
K — эффективная проницаемость, *дарси*;
b — объемный коэффициент (для воды $b = 1$);
μ — динамическая вязкость жидкости, сантипуазы (для воды $\mu = 1$);
h — эффективная мощность пласта, *м*;
ΔP — перепад между давлением на забое в нагнетательной и нефтяной (эксплуатационной) скважинах, *атм*;
r — радиус скважины, *м*;
R — расстояние между нагнетательной и эксплуатационной скважинами, *м*.

Для проектирования законтурного заводнения необходимы гидрогеологические данные (положение области питания пласта, связь контурных вод с этой областью, физические свойства и химический состав вод и пр.), физические свойства нефтяного пласта (проницаемость, пористость, трещиноватость и др.), схема расположения нагнетательных и нефтяных

(эксплуатационных) скважин, зависящая в свою очередь от формы залежи, системы разработки и т. п.

Важнейшее значение при заводнении имеют физические свойства и химический состав воды, закачиваемой в пласт.

Для закачки могут применяться поверхностные и подземные воды, отвечающие следующим требованиям (Временные правила технической эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, 1955):

1) содержание механических примесей не должно быть более 1 *мг/л*;

2) вода не должна вызывать коррозию трубопроводов;

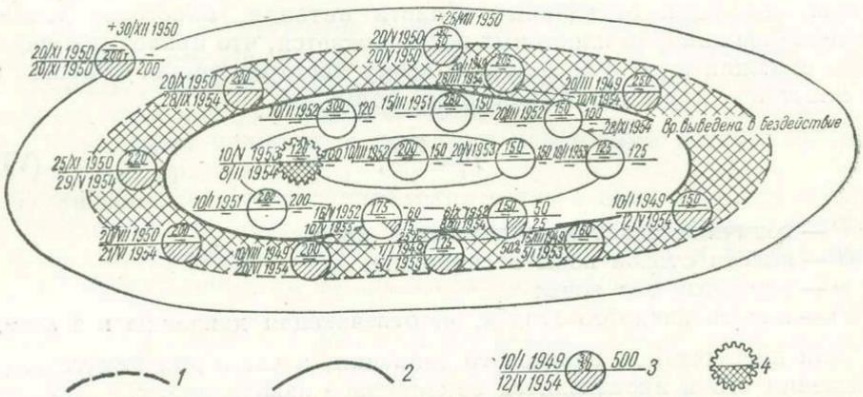


Рис. VIII-4. Схема карты, характеризующая состояние обводненности нефтяного месторождения (по Г. М. Сухареву).

1 — первоначальный контур нефтеносности; *2* — контур нефтеносности на дату составления карты; *3* — скважина (слева: в числителе — дата вступления скважины в эксплуатацию, в знаменателе — дата появления воды; справа: в числителе — суточная добыча нефти в тоннах, в знаменателе — суточный дебит воды в тоннах; верхняя полуокружность: в числителе — среднесуточный дебит нефти за первый месяц эксплуатации в тоннах, в знаменателе — среднесуточный дебит воды за первый месяц эксплуатации в тоннах; нижняя полуокружность: цифры 25, 50, 75 — % обводненности скважины на дату составления карты, полностью заштрихована — 100% обводнение скважины; *4* — скважина, полностью обводнившаяся посторонней водой.

3) содержание железа в окисной форме не должно превышать 0,5 *мг/л*;

4) вода должна сохранять стабильность в пластовых условиях;

5) вода не должна содержать примесей нефти более 0,5 *мг/л*;

6) вода не должна содержать водорослей и микроорганизмов;

7) вода не должна снижать проницаемости пород продуктивного горизонта;

8) при содержании в воде растворенных H_2S, CO_2 она должна подвергаться аэризации.

В заключение следует отметить, что большую роль для управления движением контурных вод играют систематические наблюдения за появлением воды в нефтяных (эксплуатационных) скважинах.

Результаты этих наблюдений используются для построения карты обводнения месторождения.

Методика построения таких карт, а равно порядок пользования ими, ясны из схемы, показанной на рис. VIII-4.

§ 3. ГЕОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОД НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гидрогеологические условия нефтяных и газовых месторождений, нефте-газоносных районов и областей определяются:

1) структурными особенностями месторождений и более крупных районов и областей, в которые входят месторождения;

2) литологией и составом горных пород, участвующих в строении месторождений, нефтеносных районов и областей;

3) коллекторскими и главным образом фильтрационными свойствами горных пород;

4) геологической историей формирования месторождения в тесной связи с историей развития района или области, в которых находится месторождение;

5) характером взаимосвязи водоносных горизонтов между собой;

6) условиями питания водоносных горизонтов, движения воды в них и водообмена;

7) гидролого-метеорологической обстановкой нефтеносных районов и областей и другими факторами.

Из всех перечисленных факторов здесь мы осветим только предпоследний, имеющий большое значение в нефтепоисковой гидрогеологии для выяснения степени закрытости структур.

В настоящее время можно считать доказанным, что в пределах крупных гидрогеологических регионов — артезианских бассейнов и пр., — а также нефтеносных областей обычно прослеживаются три геогидродинамические зоны:

1) свободного, или активного, водообмена;

2) затрудненного водообмена;

3) весьма затрудненного водообмена, или застойного водного режима.

Подробная характеристика этих зон дана Н. К. Игнатовичем (табл. VIII-1).

Следует заметить, что эта схема зональности подземных вод по мере более детального изучения крупных гидрогеологических областей, в том числе и нефтеносных, расположенных в различных физико-географических и геологоструктурных условиях, находит все большее свое подтверждение.

При отсутствии аномальностей в нормальном разрезе осадочных отложений, часто обусловленных наличием в различных частях разреза гологенных и сульфатных фаций и изменением фильтрационных свойств горных пород, первая геогидродинамическая зона содержит водоносные горизонты с пресными и слабоминерализованными водами; вторая — с более минерализованными; третья — с высокоминерализованными, иногда рассольного типа.

Характерно, что в связи с геогидродинамической зональностью не только изменяется минерализация, но и солевой состав вод нефтяных месторождений.

Воды нефтяных месторождений, по В. А. Сулину, разделяют (см. гл. IV) на четыре типа: 1) сульфатнонатриевые; 2) гидрокарбонатнонатриевые; 3) хлормагниевые; 4) хлоркальциевые.

Воды первого типа преимущественно характерны для водоносных горизонтов, залегающих в первой геогидродинамической зоне, в гидрогеологически раскрытых структурах.

Схема зональности и условий
(по Н. К. Игна

Геохимические зоны	Геогидродинамические зоны		Генетические типы вод и характер ресурсов подземных вод	Гидрогеохими
	Формирование водного режима и подземного стока	Геолого-гипсометрическое положение		Характер процесса
Зона гипергенеза	Зона активного водообмена (подземный сток участвует в активном водообмене с поверхностью)	Активно промываемые части структуры. Зона влияния дренажа речной сети (иногда до глубины 300 *м* и более)	Воды современные, метеорного происхождения, находятся в движении. Динамические ресурсы их преобладают над статическими	Активное выщелачивание хлоридов и сульфатов, убывающее от поднятий к депрессии, а также в направлении роста засушливости климата
	Зона затрудненной циркуляции подземных вод (подземный сток затруднен; водообмен замедленный)	Глубокие части проточных артезианских бассейнов; на платформах — до глубины 500—600 *м*; в складчатых областях при наличии тектонических нарушений — до 1000—2000 *м* (термальные воды)	Воды медленно обновляемые, замещающие более древние. Преобладают статические запасы над динамическими	Медленное вымывание из пород солевого комплекса (морских, лагунных и других фаций), меняющее профиль воды в разрезе длительного времени
Зона катагенеза	Зона застойного водного режима (подземный сток проявляется лишь в масштабе геологического времени)	Обычно в зоне глубокого залегания осадочного комплекса, но в гидрогеологически изолированных (закрытых) структурах; положение зоны может быть близким к поверхности	Воды древние, погребенные, часто реликтовые, обычно огромных статических запасов	Аккумуляция солей, метаморфизм вод, геохимические и физико-химические процессы (диффузия, осмос и пр.)

Воды второго типа являются довольно распространенными в разрезах нефтяных месторождений (Грозного, Дагестана, Апшеронского полуострова, о-ва Сахалина, Грузии, Кубано-Черноморской обл. и др.).

Эти воды приурочены в основном к гидрогеологически закрытым структурам, в составе их преобладают хлориды и карбонаты щелочей.

Минерализация этих вод изменяется в широких пределах, встречаются воды пресные и с повышенной минерализацией, содержащие H_2S, а также J, Br, нафтеновые кислоты в различных концентрациях, вплоть до полного их отсутствия.

Таблица VIII-1

формирования подземных вод
товичу)

ческие зоны		Народнохозяйственное значение	Примеры	
	Формирование химического типа вод		Подмосковный артезианский бассейн	Северный Кавказ
	Формирование преимущественно пресных гидрокарбонатных вод, в засушливых районах и в областях депрессий — также сульфатных и сульфатнохлоридных	Воды преимущественно пресные, сфера проблем питьевого, хозяйственного и технического водоснабжения	Грунтовые воды четвертичных и мезозойских отложений, а также карбона, в сфере активного водообмена (дренаж в бассейнах рр. Верхней Волги, Оки, Москвы, Клязьмы). Воды пресные, гидрокарбонатные	Воды мезозойских пород в области высокого гипсометрического их положения. По преимуществу воды пресные и невысокой минерализации
	Формирование гидрокарбонатных, сульфатнохлоридных вод; в складчатых молодых областях также щелочных и термальных, иногда сероводородных вод	Воды преимущественно сульфатнохлоридные, щелочные, термальные; указания на разрушающиеся нефтяные месторождения. Главным образом сфера проблем бальнеологии и реже минерализованных вод промышленного значения	Воды верхнего девона, находящиеся в условиях слабой циркуляции. Воды, переходные от гидрокарбонатных к сульфатнохлоридным	Воды мезозойских и нижнетретичных отложений в зоне предгорий. Циркуляция подземных вод затрудненная, но глубокая в связи с тектоническими нарушениями. По составу воды переходные от сульфатнощелочных к хлоридношелочным
	Формирование высокоминерализованных хлорнатриевокальциевых вод и рассолов	Промышленные рассолы Br, I, Ra и другие редкие элементы, нефтяные месторождения	Рассолы среднего девона высокой минерализации и большой степени метаморфизации хлорнатриевокальциевого типа	Воды третичных и меловых отложений при переходе от складчатой области к платформе. Воды хлорнатриевокальциевого типа

Воды третьего типа имеют распространение в районе Грозненских месторождений, Ставропольской области и встречаются во второй и третьей геогидродинамических зонах.

Воды четвертого типа являются характерными для третьей геогидродинамической зоны, где развиты гидрогеологические закрытые структуры. Они встречаются в разрезах месторождений Второго Баку, Туркмении, Ферганы и др. По солевому составу эти воды характеризуются высоким содержанием хлоридов калия, натрия, кальция и магния, из них преобладающим является хлористый натрий.

В своем большинстве это высокоминерализованные жесткие воды с содержанием J, Br, B, Ba, Sr, Ra и др. в повышенных и высоких концентрациях. Таким образом, солевой состав вод нефтяных месторождений отражает геогидродинамическую зональность, наблюдаемую в нефте-газоносных районах и областях.

Содержание в подземных водах нефтяных месторождений микроэлементов J, Br, Ba, Sr и др., а также нафтеновых кислот, H_2S и углеводородных газов, бессульфатность этих вод, принадлежность их к гидрокарбонатнонатриевому и хлоркальциевому типам определяют особенности состава этих вод, используемые в нефтепоисковых целях.

§ 4. ГАЗОВЫЙ СОСТАВ ВОД НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучение состава и упругости растворенных в подземных водах газов в комплексе с исследованиями солевого и бактериального состава этих вод имеет большое нефтепоисковое значение.

По изменению состава и упругости газа можно судить о близости или удаленности нефтяной или газовой залежи, контактирующей с подземными водами. Газы, встречаемые в природных условиях, как показали исследования В. И. Вернадского, В. В. Белоусова, А. А. Черепенникова, А. Л. Козлова, В. А. Соколова и др., довольно разнообразны как по условиям нахождения их в природе, так по составу и происхождению.

В настоящее время имеется целый ряд классификаций природных газов. Из них приведем классификацию В. А. Соколова [1956], построенную по условиям нахождения газов в природе, их составу и происхождению и к тому же опубликованную в самое последнее время.

Из табл. VIII-2 видно, что в районах нефтяных месторождений в составе газов преимущественно содержатся метан и тяжелые углеводороды, а в газах газовых месторождений главным компонентом является метан. Эту закономерность необходимо учитывать при изучении свободно выделяющихся (спонтанных) и растворенных в воде газов в нефтепоисковых целях.

В подземных водах встречаются различные по составу и происхождению газы: CH_4, N_2, CO_2, H_2S, O_2, H_2, NH_3; тяжелые углеводороды: этан C_2H_6, пропан C_3H_8, бутан C_4H_{10}, пентан C_5H_{12}; редкие: Ar, Kr, Xe, He, Ne.

По количеству He и Ar в подземной воде определяется время нахождения ее в земной коре (абсолютный возраст) по формулам А. Л. Козлова [1950]

$$t_1 = \frac{\text{He}}{\text{Ar}}\ 25 \cdot 10^6 \text{ лет;} \qquad \text{(VIII-3)}$$

$$t_2 = \frac{\text{He}}{\text{Ar}}\ 115 \cdot 10^6 \text{ лет;} \qquad \text{(VIII-4)}$$

где t_1 и t_2 — время нахождения воды в земной коре (абсолютный возраст);

He и Ar — содержание гелия и аргона в исследуемой воде в объемных процентах.

Формула (VIII-3) применяется для газов, свободно выделяющихся из воды; формулой (VIII-4) пользуются для газов, растворенных в воде.

Следует заметить, что эти формулы дают только порядок цифр, в грубом приближении отражающих время нахождения воды в недрах земной коры, так как они не учитывают условий водообмена, смешения вод в про-

Таблица VIII 2

Классификация природных газов
(по В. А. Соколову)

Тип в отношении условий нахождения	Химический состав			Происхождение газа с точки зрения факторов газообразования
	Главные компоненты, постоянно встречающиеся в газе	Компоненты, встречающиеся в значительных концентрациях не всегда	Микрокомпоненты	
I. Атмосферный газ	N_2, O_2 Ar, CO_2	—	O_3, NO_2 (N_2O, H_2), редкие газы	Смесь газов химического, биохимического и радиоактивного происхождения
II. Газы земной поверхности: газы почвы	CO_2 (N_2, O_2, Ar)*	—	CH_4, N_2O, CO, H_2, H_2S, NH_3, летучие органические вещества (эфиры и др.), редкие газы (из воздуха)	Газы преимущественно биохимического происхождения с примесью газов химического происхождения (присутствует также воздух)
болотные, торфяные газы	CH_4, N_2, CO_2	O_2	CO, H_2, N_2O, NH_3, H_2, редкие газы (из воздуха)	Газы преимущественно биохимического происхождения с примесью газов химического происхождения (воздух присутствует иногда)
III. Газы осадочной толщи: газы нефтяных месторождений	CH_4 т. у.	N_2, CO_2, H_2S, He	(H_2), редкие газы	Газы химического и биохимического происхождения с примесью газов радиоактивного и воздушного происхождения
газы газовых месторождений	CH_4	N_2, т. у., CO_2, H_2S, He	(H_2), редкие газы	
газы угольных месторождений	CH_4	CO_2, N_2, H_2, H_2S, NH_3	т. у., редкие газы	

* N_2, O_2, Ar и другие редкие газы, имеющиеся в почве и подпочве, попадают сюда из атмосферы.

Продолжение

Тип в отношении условий нахождения	Химический состав			Происхождение газа с точки зрения факторов газообразования
	Главные компоненты, постоянно встречающиеся в газе	Компоненты, встречающиеся в значительных концентрациях не всегда	Микрокомпоненты	
газы соленосных отложений	N_2, H_2, CO_2, CH_4	H_2S, т. у.	Редкие газы	Газы химического и биохимического происхождения с примесью газов радиоактивного и воздушного происхождения
газы рассеянные	N_2, CH_4, CO_2	H_2, т. у., H_2S	» »	
IV. Газы метаморфических пород	N_2, CO_2	CH_4, т. у., H_2S, H_2	» »	Газы химического, воздушного и радиоактивного происхождения
V. Газы изверженных пород: вулканические газы	CO_2, N_2	CO, H_2, CH_4, H_2S, C_nH_{2n}, SO_2, SO_3, HCl, HF, $B(OH)_3$, NH_3 и др.	т. у., редкие газы	Газы химического происхождения с примесью газов радиоактивного происхождения
газы остывших изверженных пород	N_2, CO_2, CH_4	H_2, He, H_2S, CO	т. у., редкие газы	

цессе их миграции в земной коре и др. [1] Поэтому указанными формулами следует пользоваться с учетом всех геологоструктурных и гидрогеологических особенностей районов распространения подземных вод, при тщательном анализе истории геологического развития этих районов.

Рядом исследователей [Сухарев, 1948; 1956 и др.] установлено, что газовый состав подземных вод, окаймляющих нефтяную залежь, приуроченную к пласту, имеющему области питания и дренирования, изменяется при удалении от залежи в радиальных направлениях. В структурах с такими пластами, близ залежи, сразу за контуром нефтеносности наблюдается узкий пояс метановых вод с тяжелыми углеводородами. Далее от этого пояса содержание тяжелых углеводородов в метановых водах постепенно убывает вплоть до полного их исчезновения и смены метановых вод водами, содержащими другие газы, — N_2, CO_2 и др.

Структуры с пластами, не имеющими области питания и дренирования, залегающими в третьей геогидродинамической зоне, обычно содержат воды с большим количеством метана и тяжелых углеводородов. Характерно, что при удалении от контура нефтеносности постепенно уменьшается и упругость растворенного газа (давление насыщения).

Изучение спонтанных и растворенных газов производится при гидрогеологических исследованиях, выполняемых в период гидрогеологических съемок различного масштаба, опробования источников воды и газа, а также неглубоких и глубоких разведочных, разведочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин (см. гл. IX, XXXI).

§ 5. ГЕОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И РЕЖИМЫ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ

Пласты-коллекторы нефтяных месторождений, содержащие нефть, газ и воду, в большинстве случаев распространяются далеко за пределы месторождений, образуя в районе последних значительные по протяженности водонапорные системы. Если эти системы имеют области питания и дренирования и занимают большой регион, тогда они, по Г. М. Сухареву, называются открытыми водонапорными системами, а при отсутствии областей питания и дренирования — закрытыми системами.

Выше указывалось, что в разрезе нефте-газоносных областей и районов прослеживаются три геогидродинамические зоны. Г. М. Сухарев [1956] и другие исследователи установили, что между геогидродинамическими зонами и режимами нефтяных пластов существует определенная зависимость. Она выражается в том, что в первой геогидродинамической зоне отсутствуют большие нефтяные залежи, и встречаемые месторождения содержат пласты с водонапорным режимом.

Для второй зоны характерны нефтяные месторождения с пластами, сложенными мелко,- средне- и крупнозернистыми песками и песчаниками, обладающими постоянной мощностью от областей питания до нефтяных залежей и далее до областей дренирования, имеющими высокую и среднюю проницаемость и водонапорный режим.

В третьей геогидродинамической зоне, в зависимости от геологоструктурных и гидрогеологических особенностей месторождения и проницаемости пластов, режим последних может быть:

---

[1] В последнее время М. Н. Митиным [1956] предложены формулы, более точно отражающие время нахождения воды в горных породах, но они весьма сложны для вычисления.

1) водонапорным при средней и высокой проницаемости пластов, прослеживаемых на большие расстояния и имеющих области питания и дренирования;

2) газонапорным без напора и с напором краевых вод при отсутствии областей питания и разгрузки или наличием только областей питания; газовый фактор [1] в период эксплуатации изменяется;

3) гравитационным при отсутствии областей питания и разгрузки; газ, как правило, отсутствует;

4) Растворенного газа [2] при отсутствии областей питания и разгрузки; газовый фактор в период эксплуатации изменяется.

По геогидродинамической зональности, устанавливаемой гидрогеологическими исследованиями, можно говорить о режимах еще не вскрытых скважинами нефтяных пластов. При этом в разрезе одного и того же месторождения различные залежи и даже отдельные части их, в зависимости от геологоструктурного строения месторождения, проницаемости и других физических свойств коллекторов, могут находиться под воздействием различных режимов.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что в процессе эксплуатации месторождения один режим пласта может сменяться другим. Например, водонапорный режим пласта может перейти в режим растворенного газа, когда при разработке нефтяного пласта, содержащего контурную воду, не имеющего области питания или имеющего отдаленную область питания и обладающего слабой проницаемостью, снижается пластовое давление ниже давления насыщения,[3] при котором начинается интенсивное выделение газа из нефти. При этом из одной жидкой фазы образуется две фазы: жидкая и газообразная.

§ 6. РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ФОРМИРОВАНИИ, СОХРАНЕНИИ И РАЗРУШЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

В формировании, сохранении и разрушении нефтяных и газовых залежей подземные воды играют большую роль. Они оказывают влияние на нефть и нефтяные залежи с момента образования углеводородов до сформирования залежей, а также и в последующее время.

Нужно заметить, что вопрос о значении подземных вод в формировании и разрушении нефтяных залежей в гидрогеологии является наиболее слабо разработанным и по отдельным положениям дискуссионным. Этому вопросу посвящены работы К. В. Харичкова, В. А. Сулина, Н. К. Игнатовича, Г. А. Максимовича, А. Л. Козлова, Н. Т. Линдтропа, Г. М. Сухарева, М. А. Гатальского, В. А. Кротовой, М. Е. Альтовского и других исследователей. Большинство ученых в настоящее время, как известно, придерживаются органической теории происхождения нефти.

Признание вертикальной миграции углеводородов из глинистых отложений (материнских пород) в пористые слои является важнейшим положением этой теории. Миграция этого вида в начальный период формирования залежей происходила, по взглядам одних исследователей, при отсутствии водообмена в залегающих выше отложениях; по мнению же других — при наличии последнего.

---

[1] Газовый фактор представляет собой отношение величин: притока газа к притоку жидкости, $м^3$. *Научн. ред.*

[2] Указанные режимы пластов являются недостаточно обоснованными. *Научн. ред.*

[3] Под давлением насыщения понимают то минимальное давление, при котором смесь нефти и газа или воды и газа в пласте находится только в жидкой фазе.

Не разбирая здесь положительных и отрицательных сторон той и другой точки зрения, отрицающей или признающей водообмен, заметим, что в настоящее время первая точка зрения разделяется многими геологами.

Оставляя в стороне вопрос происхождения нефти и газа в материнских породах, отметим, что вертикальная миграция их в горизонтально или слабо наклонно залегающие пористые слои происходила, по Г. М. Сухареву, при наличии в последних седиментационных вод.

В таких условиях газ и нефть перемещались в пористые пласты, где они рассеивались или скапливались у кровли пластов небольшими очагами, которые были окружены седиментационной водой. Наступившие затем орогенические движения привели к образованию складчатых структур и в связи с этим к миграции нефти и газа вверх по восстанию пластов (боковая миграция).

С этого времени образуются различные по форме и условиям залегания нефтяные и газовые залежи. Формирование залежей Г. М. Сухарев 1956 , в целях уяснения сущности этого процесса и роли подземных вод в нем, разделяет на три этапа.

Первый этап формирования начинается с момента образования углеводородов до сформирования залежи. Седиментационные воды в это время находились в непрерывном движении, причем перемещения их были ничтожно малыми, заметными только в геологическом разрезе времени. Поэтому движение вод в этот период не могло оказать разрушающего влияния на нефть.

Второй этап охватывает время после сформирования залежи, в течение которого происходят дальнейшие орогенические движения, осложнившие структуры, возникшие в первом этапе, вплоть до образования разрывов-надвигов, вывода многих структур на поверхность, где они подвергаются размыву и т. п. В связи с этим в нефте-газоносных областях происходило перераспределение нефти и газа и образование новых залежей.

Для этого этапа характерно формирование подземного стока с движением подземных вод в пластах от областей питания к областям их дренирования, замещание седиментационных вод пресными инфильтрационными, захват движущимися водами капель нефти и вынос их к областям разгрузки пластов. В этот период благоприятные гидрогеологические условия для формирования нефтяных залежей имели место только там, где сток подземных вод был затруднен или отсутствовал совсем.

Третий этап в формировании залежей отвечает таким природным условиям, когда нефть и газ из сформировавшихся залежей мигрируют по разрывным дислокациям вверх в другие проницаемые пласты, образуя в них новые нефтяные или газовые залежи, при условии наличия над этими пластами непроницаемых покрышек. При отсутствии последних радиальные дислокации, как известно, способствуют деградации нефтяных и газовых месторождений.

Следует отметить, что по разрывным нарушениям происходит не только миграция нефти и газа, но и движение подземных вод. [1]

Формирование нефтяных залежей не является процессом, идущим в одном направлении, и всегда в той или иной степени сопровождается явлениями их разрушения, в которых огромная роль принадлежит подземным водам.

---

[1] В миграции нефти и газа и формировании нефтяных и газовых залежей подземные воды играют значительно большую роль, чем указывает автор. *Научн. ред.*

Главными факторами разрушения являются:
1) движение пластовых напорных вод;
2) дегазация нефти;
3) биохимическое воздействие сульфатных вод;
4) окисление нефти.

Подземные воды в продуктивных пластах пологих структур, не нарушенных дизъюнктивными дислокациями, соприкасаются с нефтяными или газовыми залежами, растворяют нефть и газ или просто увлекают частицы последних и выносят их при своем движении к областям разгрузки пластов.

Таким образом, движение пластовых вод приводит к разрушению залежей, причем интенсивность разрушения в этом случае зависит:

1) от проницаемости пласта (чем выше проницаемость, тем интенсивнее будет разрушение);

2) от гидравлического уклона пьезометрической поверхности, определяемого высотным положением областей питания и разгрузки данного пласта (чем больше уклон, тем больше скорость движения пластовых вод, а следовательно, и интенсивнее разрушение);

3) от расстояния между областями питания и разгрузки данного пласта (при малом расстоянии разрушение происходит быстрее, при большом — значительно медленнее).

Как известно, при больших расстояниях между областями питания и разгрузки пласта даже при хорошей его проницаемости сохраняются нефтяные и газовые залежи. Наоборот, при небольших расстояниях областей питания и разгрузки газовая залежь может быть полностью разрушена за счет растворения газа в воде, непрерывно поступающей из области питания пласта и уносящей газ в растворенном состоянии в область его разгрузки.

В структурах с крутыми крыльями, осложненных тектоническими трещинами, продуктивные пласты в сводовых частях обычно не промываются движущимися водами; в подобных структурах разрушение залежей, при наличии непроницаемых покрышек большой мощности, значительно замедляется или не происходит совсем.

Следовательно, дизъюнктивные дислокации могут или способствовать деградации залежей (при нарушениях сводов, крыльев, периклиналей открытых структур или перекрытых маломощными непроницаемыми покрышками), или препятствовать ей (при нарушениях крутых структур с наличием мощных непроницаемых покрышек над ними).

Необходимо отметить, что движущиеся воды не только разрушают нефтяные и газовые залежи, но и смещают их по направлению движения воды. Кроме движения напорных вод в разрушении залежей большую роль играют другие перечисленные ранее факторы.[1] Известно, например, что дегазация нефти вследствие диффузии газа в контурные воды, находящиеся в движении, приводит к деградированию нефтяных залежей. Наконец, нефть разрушается десульфирующими бактериями, которые для поддержания своей жизнедеятельности используют кислород сульфатов, содержащихся в пластовых водах, и углерод нефтей, что в итоге также ведет к разрушению залежей.

Наиболее интенсивно процесс десульфирования происходит при температуре, не превышающей 65—70° С. Неслучайно в нефтяных месторо-

[1] Основную роль в сохранении или разрушении нефтяных и газовых залежей играет степень закрытости структур, в которых эти залежи находятся. *Научн. ред.*

ждениях, где температура в пластах не выходит за пределы 60° С, в большинстве случаев встречаются бессульфатные воды.

Окисление углеводородов при участии бактерий также бывает связано с изменением и даже полным распадом углеводородов.

Итак, в природных условиях нефтяные и газовые залежи постоянно разрушаются под влиянием гидрогеологических (водообмен, движение пластовых вод) и биохимических (деятельность десульфирующих бактерий и пр.) факторов.

§ 7. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПОИСКАХ НЕФТИ И ГАЗА

Гидрогеологические показатели, в которых солевому и газовому составу подземных вод отводится основная роль, имеют большое практическое значение для поисков нефти и газа. Вследствие доминирующей роли в этих показателях химического состава подземных вод, многими исследователями они называются гидрохимическими.[1]

Нужно сказать, что понятие «гидрогеологические показатели» является более широким; оно полнее и правильнее отражает действительность, ибо изучение гидрохимии подземных вод в нефтепоисковых целях немыслимо без тщательного анализа гидрогеологических условий отдельных структур и районов.

В настоящее время в больших масштабах проводятся гидрогеологические исследования для выявления новых нефте-газоносных площадей и районов. При этих исследованиях, составляющих основу гидрогеологического прогноза нефте-газоносности, определяется солевой, газовый и бактериальный состав подземных вод, их температура, при одновременном изучении гидрогеологических условий, геологоструктурного строения изучаемой территории и истории ее геологического развития. Таким образом, гидрогеологический прогноз нефте-газоносности базируется на многих дополняющих друг друга показателях, из которых основными являются: 1) химический состав подземных вод; 2) газовый состав подземных вод; 3) упругость (давление) растворенного газа и 4) бактериальный (микробиологический) состав подземных вод.

Химический состав подземных вод

Химический состав подземных вод, как известно, не имеет генетической связи с нефтью, и хлоркальциевый и гидрокарбонатнонатриевый типы вод, имеющие преимущественное распространение в нефте-газоносных областях и районах отдельных месторождений, отражают лишь геогидродинамическую зональность; они характерны для зон затрудненного и весьма затрудненного водообмена.

Поэтому хлоркальциевые воды встречаются и вне нефтеносных районов. В качестве примера можно назвать воды девонских отложений центральной части Московского артезианского бассейна, залегающие в зоне весьма затрудненного водообмена, и многие другие воды хлоркальциевого типа, не связанные с нефте-газоносными породами.

---

[1] Некоторыми исследователями (Гинзбург, 1957) показатели, базирующиеся на особенностях солевого состава подземных вод и используемые для поисков полезных ископаемых, в частности рудных, называются гидрогеохимическими.

По этой причине тип подземной воды, установленный по химическому составу, нельзя рассматривать как нефтепоисковый признак вне связи с другими показателями. Известно, что кроме доминирующих в подземных водах катионов и анионов — $K^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, Cl', SO''_4 и HCO'_3, — определяющих тип воды по химическому составу, в них содержатся микрокомпоненты: J, NH_4, Br, B, F, Sr, Ba и другие элементы, а также нафтеновые кислоты. Из этих микрокомпонентов генетическую связь с нефтью имеют только нафтеновые кислоты, которые поступают в воду непосредственно из нефти. Нафтеновые кислоты являются прямым признаком нефтеносности. Встречаются они в водах в виде нафтенатов щелочных и щелочно-земельных металлов, причем [Е. П. Муликовская, 1956] максимальные количества нафтеновых кислот (до граммов в литре) содержатся в гидрокарбонатнонатриевых водах, меньшие (порядка 200—300 *мг/л*) — в гидрокарбонатнокальциевых и ничтожно малые количества (< 0,1 *мг/л*) — в сильно метаморфизованных, хлоркальциевых водах, имеющих минерализацию 250—300 *г/л*, при незначительной щелочности, а иногда и кислотности этих вод.

В водах с минерализацией меньше 200 *г/л*, имеющих повышенную щелочность, нафтеновые кислоты содержатся в заметных количествах (0,1—8,0 *мг/л*). Установлено, что количество нафтеновых кислот зависит не только от состава воды, но и от содержания этих кислот в нефтях.

Из нафтеновых нефтей, содержащих 1,5% нафтеновых кислот, последних переходит в воды в 20—30 раз больше, чем из метановых нефтей, в которых нафтеновые кислоты составляют 0,1%.

Йод (J) является важным положительным признаком нефте-газоносности, при условии, если он в подземных водах содержится в повышенных и высоких концентрациях (> 1 *мг/л*), так как в поверхностных и пресных грунтовых водах йод присутствует в небольших количествах (от 10^{-5} до 10^{-3} *мг/л*).[1]

Аммоний (NH_4) содержится в подземных водах в самых различных концентрациях, причем почти весь имеет органическое происхождение. В пластовые воды нефтяных месторождений он поступает при разложении и последующем растворении азотистых веществ нефтей.

Аммоний, содержащийся в подземных водах в повышенных концентрациях, характеризует восстановительную и застойную обстановку, характерную для гидрогеологически закрытых структур. Он является не менее важным, чем йод, показателем нефте-газоносности [2] при аномальном содержании его в водах (порядка 100 *мг/л* и более).

Бром (Br) в подземных водах, особенно хлоркальциевого типа, часто содержится в больших концентрациях (иногда >1000 *мг/л*). Большие концентрации брома указывают на высокую метаморфизацию подземных вод, характерную для нефтяных месторождений.

В связи с этим значительный интерес имеет хлорбромный коэффициент А. П. Виноградова, представляющий отношение хлора к брому (см. гл. IV). По этому коэффициенту можно судить, при массовом определении в водах хлора и брома и полном учете конкретной геологической обстановки, о наличии в разрезе изучаемой территории соленосных фаций, которые часто сопровождают нефтеносные породы.

---

[1] В минерализованных водах и рассолах, не связанных с нефтяными районами, содержание йода достигает иногда 3—6 *мг/л*. *Научн. ред.*

[2] Некоторые исследователи [Карцев и др., 1954] высокое содержание в подземных водах аммония относят к прямым признакам нефте-газоносности.

Присутствие в подземных водах фтора, бора, бария и стронция является в совокупности с другими прямыми и косвенными признаками дополнительным показателем нефте-газоносности, так как эти элементы характерны и специфичны для нефтяных вод.

Газовый состав подземных вод

Газовый состав подземных вод, как отмечалось выше, довольно разнообразен, причем из растворенных в воде газов нефтепоисковое значение имеют углеводороды, сероводород и азот биохимического происхождения.

Углеводородные газы — метан, этан, пропан, бутан, (из них доминирующий в составе газов метан) — в подземных водах содержатся в растворенном состоянии, поступая в воды из нефтяных и газовых залежей путем диффузии. Присутствие в подземных водах тяжелых углеводородов является прямым показателем нефте-газоносности.

Азот, растворенный и свободно выделяющийся из воды, как известно, может быть атмосферным и биохимическим.

Для установления содержания биохимического азота в газе, отобранном или из спонтанных струй или извлеченном из воды, пользуются отношением

$$\frac{Ar100}{N_2}\ (\text{газ}) : \frac{Ar100}{N_2}\ (\text{воздух}), \qquad \text{(VIII-5)}$$

где аргон и азот выражены в объемных процентах. При определении процентного содержания биохимического азота предполагают, что аргон в недра земли поступает только из атмосферы, т. е. пренебрегают аргоном, который образуется в земле при радиоактивном распаде калия.[1]

По приведенному в формуле (VIII-5) отношению в составе газа определяется процентное содержание атмосферного и биохимического азота. Из них последний характерен для подземных вод гидрогеологически закрытых структур, с которыми бывают связаны нефтяные и газовые месторождения.

Поэтому преобладание в составе газа азота атмосферного происхождения является отрицательным показателем нефте-газоносности, так как атмосферный азот присутствует в подземных водах, приуроченных к зоне интенсивного водообмена, в которой нефтяные и газовые залежи, имеющие промышленное значение, обычно не встречаются.[2]

Сероводород, содержащийся в подземных водах в высоких концентрациях, при отсутствии в них сульфатного иона является благоприятным косвенным признаком, так как высокое содержание сероводорода указывает на процесс десульфирования (его раннюю стадию), который наиболее интенсивно протекает в условиях восстановительной обстановки, благоприятной для сохранения нефтяных залежей. При этом нужно заметить, что не всегда присутствие в подземных водах сульфатного иона и отсутствие сероводорода является отрицательным показателем нефте-газоносности (при наличии других положительных показателей нефте-газоносности).

---

[1] Поправка на аргон радиоактивного происхождения еще не установлена. Она в ряде случаев, в зависимости от геологической обстановки, несомненно будет играть известную роль в формуле VIII-5.

[2] В зоне интенсивного водообмена промышленные нефтяные и газовые залежи встречаются, но они находятся в стадии разрушения. *Научн. ред.*

Наконец, нефтепоисковое значение имеет отношение $\frac{He + Ne}{Ar^*}$, характеризующее условия водообмена (где Ar означает сумму редких газов Ar + Kr + Xe).

Величина этого отношения возрастает с глубиной; в зоне интенсивного водообмена она не превышает десятой доли единицы, а для зон затрудненного и весьма затрудненного водообмена — выражается десятыми долями и единицами.

Высокое значение отношения $\frac{He + Ne}{Ar}$, если оно не осложняется какими-либо геологическими причинами или не снижается за счет аргона радиоактивного происхождения (при повышенном содержании калия в породах), указывает на высокую закрытость недр, характерную для сохранения нефтяных и газовых залежей.

Числовые значения отношения $\frac{He + Ne}{Ar}$ для одних и тех же геогидродинамических зон, вследствие неоднородности геологического строения и различия в гелиоиосности, в разных районах будут различными.

Интересно, что в соответствии с увеличением значения отношения $\frac{He + Ne}{Ar}$ возрастает и минерализация подземных вод, что подтверждает зависимость этого отношения от степени закрытости недр, так как минерализованные воды характерны для зон затрудненного водообмена, где гелий радиоактивного происхождения может накапливаться в повышенных концентрациях, увеличивающих тем самым отношение $\frac{He + Ne}{Ar}$.

В зоне активного водообмена гелий в результате радиоактивного распада не может образовать больших концентраций, поэтому отношение $\frac{He + Ne}{Ar}$ здесь имеет свои минимальные значения.

Упругость (давление) растворенного газа

Упругость (давление) растворенного в воде газа используется для нефте-газопоисковых целей вместе с другими показателями. О методах определения упругости газа см. гл. IX.

Использование упругости растворенного газа основывается на том, что давление растворенного в воде газа (давление насыщения $P_н$) находится в определенном отношении с пластовым давлением ($P_п$), при этом по мере удаления от газовых или нефтяных залежей коэффициент $\frac{P_н}{P_п}$ уменьшается, так как в этом же направлении растворимость газа в воде падает, а тем самым в соответствии с законом Генри-Дальтона уменьшается и давление растворимого газа (давление насыщения $P_н$).

Для установления коэффициента $\frac{P_н}{P_п}$ определяются объемное отношение газа к воде, химический состав газа, минерализация воды, ее температура и пластовое давление. В табл. VIII-3 приводятся значения коэффициента $\frac{P_н}{P_п}$ для оценки перспектив нефте-газоносности крупных регионов.

Нужно отметить, что для обнаружения нефте-газоносных структур использование упругости растворенного газа встречает ряд трудностей, обусловленных отсутствием данных по изменению давления насыщения от контуров нефте- и газоносности газовых и нефтяных месторождений

Таблица VIII-3

Значения коэффициента $\frac{P_н}{P_п}$
(по М. С. Гуревичу)

Категория газоносности подземных вод	$\frac{P_н}{P_п}$ (*ат*)	Поисковая характеристика
Перенасыщенные газом	$>1{,}0$	Наличие скопления газа в свободной фазе на глубине залегания пласта
Газонасыщенные и близкие к насыщению газом	0,7—1,0	Положительный признак газо-нефтеносности; при соответствующих геологических условиях возможно обнаружение скоплений свободного газа
Повышенное давление насыщения газом	0,5—0,7	
Невысокое давление насыщения	0,1—0,3	Характерно как региональный фон для глубоких артезианских подземных вод
Слабое давление насыщения	$<0{,}1$	Отрицательный показатель газоносности

к областям питания и дренирования продуктивных пластов или отдаленным участкам их (при отсутствии областей питания и дренирования).

Особенно большой интерес представляет выяснение закономерностей изменения давления насыщения близ контуров нефте- и газоносности, где интенсивно развиваются биохимические процессы (восстановление сульфатов, окисление нафтеновых кислот, углеводородов с одновременным образованием сероводорода, углекислоты и др.).

Результаты изучения упругости растворенного газа по скважинам можно использовать для построения карт, отражающих в изолиниях изменение давления насыщения на исследуемой территории и указывающих районы высокого значения коэффициента $\frac{P_н}{P_п}$.

Бактериальный состав подземных вод

Бактериальный состав подземных вод в сочетании с другими является весьма важным нефтепоисковым показателем. Благодаря исследованиям Г. Л. Гинзбург-Карагичевой, Л. Д. Штурм, С. И. Кузнецова, З. И. Кузнецовой, Г. А. Могилевского и многих других изучение бактериального состава подземных вод и нефтяных пластов, а равно вмещающих воду горных пород и подпочвенных грунтов может быть использовано для поисков нефти и газа.

В настоящее время микробиологический метод поисков нефти и газа применяется в широких масштабах и основывается на исследованиях бактериального состава подземных вод и горных пород, залегающих на различных глубинах от поверхности земли. При этом осуществляются различные виды исследований [Карцев и др., 1954]:

а) микробиологические грунтовые съемки пород подпочвенных отложений;

б) грунтовые съемки по образцам пород из скважин, проходимых переносным ручным комплектом;

в) биокаротаж по керну колонковых, роторных и других скважин;

г) гидрогеологические исследования (съемки, сопровождаемые изучением бактериологического состава воды, источников, колодцев, скважин; изучение бактериального мира в подземных водах, отбираемых из скважин различного назначения и в том числе из разведочных и эксплуатационных на нефть и газ).

Из перечисленных видов исследований наиболее широко применяется изучение бактериального состава подземных вод. В подземных водах, нефтяных пластах и горных породах встречаются различные группы бактерий:

а) восстанавливающие сульфаты;

б) восстанавливающие нитраты с выделением газообразного азота;

в) разлагающие клетчатку в анаэробных условиях;

г) маслянокислого брожения;

д) окисляющие газообразные, жидкие и твердые углеводороды;

е) разлагающие белковые вещества с выделением горючих газообразных продуктов;

ж) аммонифицирующие;

з) нитрифицирующие и др.

При участии бактерий в недрах земли происходят процессы, связанные с образованием, превращением и разрушением органического вещества.[1]

Из перечня групп бактерий видно, что они при своей деятельности могут восстанавливать сульфаты и нитраты, окислять углеводороды с образованием сероводорода, углекислоты и биогенной воды. Особенно активно деятельность десульфирующих бактерий и бактерий, разрушающих нафтеновые кислоты, проявляется близ контуров нефте-газоносности при температуре в пластовых условиях, не превышающей 25—30° С.

Следствием деятельности десульфирующих бактерий является уничтожение в солевом составе воды сульфатов, накопление в ней бикарбонатов и концентрирование ионов водорода. Поэтому сульфатнонатриевые воды с растворенным в них азотнометановым газом преобразовываются в гидрокарбонатнонатриевые с содержанием в растворенном состоянии сероводорода, углекислоты и азота.

Нефтепоисковое значение бактерий, восстанавливающих сульфаты, недостаточно изучено, известно только то, что они имеют сравнительно широкое распространение в сероводородных водах нефтяных месторождений. Большое нефтепоисковое значение имеют группы бактерий, окисляющих углеводороды, и бактерий, разрушающих нафтеновые кислоты (см. гл. IV).

Установлено, что в бактериальном составе нефтяных, а также подземных вод, залегающих над нефтяными и газовыми залежами, при солености вод не больше 7° Ве и наличии в них J до 12 *мг/л*, Br до 170 *мг/л*, pH 6—10 и температуре не выше 40° С содержатся группы углеводородных бактерий (углеводородная микрофлора). В подземных водах, залегающих под залежами и в отдалении от контуров нефтеносности, эти группы бактерий обычно не встречаются.

Эта закономерность в распределении углеводородных бактерий в подземных водах и используется при интерпретации их состава по углеводородным бактериям. Аномалии по углеводородной микрофлоре, выявленные при исследованиях подземных вод и перенесенные на карту, могут

[1] Бактериологические процессы, происходящие в недрах, еще слабо изучены. *Научн. ред.*

Таблица VIII-4

Гидрогеологические показатели нефте-газоносности
(по М. С. Гуревичу)

Состав подземных вод			Динамика растворенного газа
солевой	газовый	микробиологический	
	Признаки нефте-газоносности:		
	А. Прямые		
Наличие нафтеновых кислот в подземных водах	Повышенное содержание высших углеводородов в природном газе: пропана (C_3H_6), бутана (C_4H_{10}) и др.		Пластовое давление газа, превышающее пластовое давление воды, свидетельствует о наличии залежи свободного газа
	Б. Косвенные		
Хлоридный кальциевонатриевый и щелочной состав подземных вод. Высокое содержание бора, бария, аммония, брома и в большинстве случаев йода. Полная или почти полная бессульфатность подземных вод (при установлении этого показателя нужно учитывать степень загипсованности пород)	Преобладание метана в составе растворенного газа Наличие залежей свободного азотного газа биохимического происхождения. Присутствие сероводорода, углекислоты Повышение значения отношения $\frac{He+Ne}{Ar}$	Биоценоз микрофлоры, характерный для подземных вод нефтеносных районов	Повышенная газонасыщенность и упругость углеводородных газов Наличие гидродинамических зон замедленного и наиболее затрудненного водообмена
	Пространственные закономерности изменения поисковых показателей:		
	А. Прямые признаки		
Содержание нафтеновых кислот, йода, брома и других микрокомпонентов увеличивается в составе воды по мера приближения к газо-нефтеносным зонам, площадям	Увеличение объемного содержания высших углеводородов в составе растворенного газа происходит в направлении залежи нефти		
	Б. Косвенные признаки		
Содержание иона SO_4'' и отношение $\frac{SO_4''}{CH_4}$ в составе воды уменьшается в направлении зон газонефтенакопления	Объемное содержание углеводородной части растворенных газов возрастает в направлении площадей, перспективных в отношении газо-нефтеносности	Наиболее активная жизнедеятельность микрофлоры наблюдается в краевых водах месторождений нефти и газа	Абсолютная величина упругости растворенного газа увеличивается, а ее дефицит по отношению к пластовому давлению воды уменьшается в направлении источника диффузии газа. В том же направлении увеличивается и отношение $\frac{He+Ne}{Ar}$

указать на наличие в районе газового или нефтяного месторождения и даже наметить контуры последних.

В заключение отметим, что оценка перспектив нефте-газоносности изучаемой территории должна производиться по сумме всех гидрогеологических показателей, при обстоятельном анализе стратиграфии и литологии пород изучаемого района, его геологической истории, структурного строения и гидрогеологических условий. В табл. VIII-4 приводятся гидрогеологические показатели нефте-газоносности.

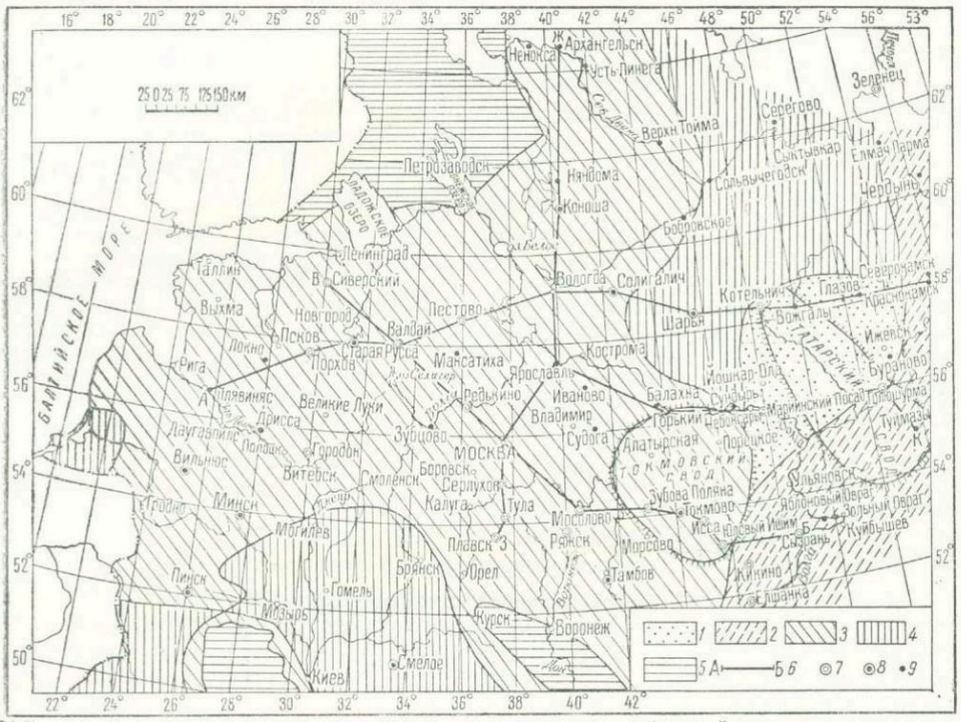


Рис. VIII-5. Карта перспектив нефте-газоносности Русской платформы по гидрогеологическим показателям (по М. А. Гатальскому).

1 — отложения девона перспективны, карбона бесперспективны; *2* — отложения девона и карбона перспективны; *3* — бесперспективные территории; *4* — территории, степень перспективности которых еще не установлена; *5* — контур кристаллического фундамента по нулевой отметке; *6* — гидрогеологические профили; *7* — опорные опробованные скважины; *8* — опорные неопробованные скважины; *9* — другие опробованные глубокие скважины.

Результаты гидрогеологического прогноза нефте-газоносности отражают на специальных картах перспектив нефте-газоносности, построенных по гидрогеологическим показателям.

В настоящее время таких карт составлено очень много в самых различных масштабах. Мелкомасштабные карты захватывают большие по площади территории, крупномасштабные — районы отдельных структур. Методика их составления и условные обозначения к ним неодинаковые, что объясняется разнообразием геологических и гидрогеологических условий районов, количеством и видами нефтепоисковых признаков, показываемых на картах, различием масштабов последних и пр.

Но общим для всех карт является выделение на них площадей, участков и структур, различаемых по степени перспективности.

В качестве примера приводится одна из карт, которая построена по гидрогеологическим показателям нефте-газоносности (рис. VIII-5).

Глава IX

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

§ 1. ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА

Подземные воды играют весьма важную роль в жизни и деятельности человека, а также в развитии различных отраслей народного хозяйства. В одних случаях они являются полезным ископаемым, а в других — вредным, мешающим проведению различных мероприятий. Подземные воды широко используются для водоснабжения, водопоя и орошения, в бальнеологических целях и для получения некоторых веществ, например таких, как поваренная соль, йод, бром, бор, радиоактивные элементы и др. В ряде случаев по составу подземных вод с учетом гидрогеологической обстановки можно судить о наличии в недрах земли как рудных, так и нерудных полезных ископаемых.

Однако этим значение подземных вод не исчерпывается. Нередко они являются помехой при проведении подземных выработок и строительстве различных наземных и подземных сооружений, при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых и т. п. Большое значение они имеют для осушения и орошения территории, а так же как один из факторов, играющих важную роль в развитии различных физико-геологических процессов (оползни, карст, суффозия, формирование и разрушение месторождений полезных ископаемых, заболачивание и засоление земель), и т. д.

Во многих случаях изучение подземных вод помогает расшифровывать геологическое строение района, например, уточнить наличие и расположение тектонических разломов или контактов (по выходу и расположению источников), получить указание на присутствие на глубине соленосных или гипсоносных отложений (по химическому составу подземных вод), уточнить стратиграфию осадочных пород и т. п. В последнее время все больше выявляется колоссальная роль подземных вод в миграции рудных элементов в литосфере, особенно в зоне гипергенеза. Таким образом, изучение подземных вод важно для решения многих и разнообразных задач. Для решения всех перечисленных вопросов необходимо проведение разнообразных гидрогеологических исследований как по детальности, так и по характеру выполняемых работ.

По детальности (по масштабу) гидрогеологические исследования, независимо от целевого назначения, подразделяются на рекогносцировочные, общие и детальные, а по характеру работ — на съемочные, разведочные, опытные и лабораторные. Причем все эти виды работ обычно проводятся при любых гидрогеологических исследованиях, но удельный

вес различных видов работ существенно изменяется в зависимости от детальности исследований.

Рекогносцировочные гидрогеологические исследования представляют собой первую стадию работ и проводятся с целью первичного ознакомления с районом. Они заключаются в маршрутных пересечениях района исследований и ограничиваются наблюдениями за различными гидрогеологическими факторами и явлениями. При этом производятся в небольном объеме лабораторные исследования, а иногда также и мелкие разведочные выработки. Задача рекогносцировочных исследований заключается в получении исходных данных для определения целесообразности, характера, объема и последовательности проведения более детальных работ.

Общие гидрогеологические исследования проводятся с целью общего изучения гидрогеологических условий района и заключаются в площадной гидрогеологической съемке, в результате которой составляются гидрогеологические карты различного масштаба (1 : 100 000—1 : 500 000). В комплексе работ, проводимых в процессе общих гидрогеологических исследований, главная роль также принадлежит съемочным работам, которые проводятся по ходу маршрутов. Густота маршрутов и количество точек наблюдения зависят от сложности района в гидрогеологическом отношении и от масштаба съемки. Они регламентируются соответствующими нормировочниками. Однако при общих гидрогеологических исследованиях, наряду с визуальными наблюдениями, значительная роль принадлежит разведочным (шурфы и скважины), опытным (замеры дебитов главнейших водопунктов) и лабораторным (анализы воды и т. п.) работам. Задача этих исследований заключается в выяснении общих гидрогеологических условий района и получении исходных данных для выделения участков и установления характера и объема детальных работ для полного решения вопросов, поставленных перед гидрогеологическими исследованиями.

Завершающей стадией гидрогеологических исследований являются детальные работы, в которых главную роль играют уже разведочные, опытные и лабораторные исследования, тогда как визуальные наблюдения занимают подчиненное значение. Задачей детальных гидрогеологических исследований является всестороннее изучение поставленного вопроса в объеме, необходимом для технического и рабочего проектирования. Эта стадия работ сопровождается составлением детальных гидрогеологических карт в масштабе 1 : 50 000 и крупнее.

Таким образом при любых стадиях гидрогеологических исследований проводятся визуальные наблюдения, разведочные, опытные и лабораторные исследования, причем, в зависимости от стадии исследования, меняются объем и соотношение между отдельными видами работ, тогда как характер наблюдений и методика их проведения остаются в общем одинаковыми. В настоящей главе приводятся методические указания по проведению разных наблюдений независимо от детальности гидрогеологических исследований.

§ 2. ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Жизнь и деятельность подземных вод зависит от рельефа, гидрографии, растительного покрова, климата и геологического строения района. Поэтому гидрогеолог в процессе съемочных работ должен составить себе отчетливое представление о характере названных факторов в изучаемом районе и о влиянии их на подземные воды. Причем сведения о климате района, а иногда и гидрометрические данные по рекам можно получить

в соответствующих организациях гидрометеослужбы СССР, тогда как сведения о рельефе и растительном покрове гидрогеолог должен добыть в процессе своих личных наблюдений. В связи с этим в процессе проведения маршрутов необходимо составить достаточно отчетливое представление о густоте и глубине изрезанности района оврагами, балками и реками, о характере распределения растительности на различных формах рельефа. При посещении речных долин необходимо изучить их форму и размеры, уклон дна, характер поверхности дна и склонов, установить наличие террас и охарактеризовать их формы, высоту над уровнем реки (или в абсолютных отметках), ширину, литологический состав слагающих их пород, наличие водопроявлений (мочажины, заболоченность, источники и т. п.). При обследовании водоразделов выясняется характер их рельефа, отмечается заболоченность, наличие озер, выявляются следы древней гидрографической сети, карстовых, просадочных и других процессов.

При проведении съемки в горных и предгорных районах особое внимание уделяется изучению пролювиальных шлейфов и конусов выноса. При этом выясняется характер поверхности конусов выноса, уклоны ее, степень изрезанности современными руслами, характер водопроявлений.

Для правильного понимания гидрогеологических условий района особо важное значение имеет выяснение геологического строения.

При существующей геологической изученности территории СССР гидрогеологическая съемка в большинстве районов проводится на имеющейся геологической основе соответствующего масштаба. Но если такая основа отсутствует, то она должна быть составлена в процессе проведения гидрогеологической съемки. Методические указания по производству геологических съемок разного масштаба изложены в соответствующих руководствах и инструкциях. Однако даже при наличии готовой геологической основы у гидрогеолога-съемщика должно сложиться отчетливое представление о геологическом разрезе района, о возрасте и площадях распространения различных пород, литологическом составе, об условиях их залегания и взаимоотношении друг с другом, о тектонической структуре и палеогеографических условиях формирования пород в минувшие геологические эпохи.

Собственно гидрогеологические наблюдения при гидрогеологических съемках заключаются в следующем:

1) оценке условий залегания и строения отдельных пластов и толщ пород в отношении влияния их на распространение воды в породах;

2) выяснении и оценке литологического характера рыхлых пород; состава, а также трещиноватости метаморфических, извеженных и сцементированных осадочных пород; в отношении их влияния на степень и характер водопроницаемости;

3) выяснении водообильности развитых в районе пород и приуроченности водоносных и водоупорных горизонтов к различным литологическим и стратиграфическим толщам;

4) установлении площади распространения водоносных горизонтов и покрывающих и подстилающих их водоупорных горизонтов;

5) изучении взаимоотношения водоносных и водоупорных горизонтов с различными формами рельефа как фактора, влияющего на условия питания и степень дренированности водоносных горизонтов;

6) изучении естественных и искусственных выходов подземных вод на дневную поверхность (родников, мочажин, заболоченности, колодцев, скважин, каризов и др.), с определением их дебита и установлением

приуроченности их к тем или иным породам, формам рельефа, элементам тектонических структур и т. п.;

7) определении газовых, химических и физических свойств подземной воды в естественных и искусственных ее выходах;

8) установлении закономерностей изменения глубин залегания подземной воды, ее количества, физических свойств и минерализации в зависимости от состава и возраста пород, рельефа и других факторов;

9) выяснении связи поверхностных водотоков и водоемов с подземными водами, а также в установлении областей и очагов питания и разгрузки подземных вод;

10) установлении положения водоразделов и бассейнов стока подземных вод.

Перечисленные данные необходимо собирать с таким расчетом, чтобы в результате съемочных работ были охарактеризованы по возможности все толщи пород, выделенные на геологической карте, составленной в масштабе проводимой гидрогеологической съемки.

Ниже приводятся методические указания и программа наблюдений применительно к изучению трех основных групп подземных вод, а именно: пластовых, трещинных и карстовых

Изучение пластовых подземных вод

Пластовые подземные воды приурочены к нормальнослоистым или сравнительно слабометаморфизованным породам, водопроницаемость которых обусловлена наличием пористости (порово пластовые воды), трещиноватости (трещинно-пластовые воды) или трещин, в разной степени расширенных карстовыми процессами (карстово-пластовые воды).

Характерной гидрогеологической особенностью рассматриваемых пород является то, что накопление и распространение подземных вод в них в значительной мере определяется характером слоистости и залегания (тектоникой) пород.

В большинстве случаев к толщам слоистых осадочных пород вследствие чередования водопроницаемых пород с водоупорными бывает приурочено несколько водоносных горизонтов, в разной степени изолированных друг от друга водоупорными породами, причем самый верхний водоносный горизонт, залегающий в основании зоны аэрации на первом от поверхности выдержанном водоупорном слое и не имеющий в кровле водоупорных пород, как уже отмечалось в главе V, называется горизонтом грунтовых вод, а все нижележащие, залегающие между пластами водоупорных пород, называются горизонтами межпластовых подземных вод.

Учитывая вышеуказанные основные гидрогеологические особенности слоистых пород, гидрогеологу в процессе съемки надлежит обратить внимание на следующие основные положения, имеющие первостепенное значение для понимания условий распространения и характера залегания подземных вод:

1) при изучении геологического разреза осадочной толщи необходимо оценить различные слои в отношении их возможной водопроницаемости или водоупорности, основываясь на гранулометрическом составе пород, пористости, трещиноватости, закарстованности. Как известно, водопроницаемость пород тем хуже, чем мелкозернистее порода и чем меньше она трещиновата. Глина и сильно глинистые породы обычно играют роль водоупоров;

2) выяснить степень выдержанности отдельных слоев, их мощности, характер выклинивания или перехода в другие фации как по простиранию, так и в вертикальном разрезе, что необходимо для правильного суждения о постоянстве и взаимоотношении водопроницаемых и водоупорных пород;

3) установить гидрогеологическое значение тектонических условий залегания пород и положение изучаемого обнажения (разреза) в гидрогеологической структуре (закрытая структура, раскрытая структура и т. д.), так как это имеет существенное гидрогеологическое значение;

4) собрать материал, необходимый для общего суждения об условиях питания поверхностными водами водопроницаемых пород, для чего необходимо выяснить: а) имеет ли водопроницаемая порода связь с дневной поверхностью или она полностью (или в какой-то степени) изолирована водоупорными породами; б) имеет ли водопроницаемая порода связь с речными водами или водами других водоемов (озер, прудов и т. п.), на каких участках имеется эта связь и размеры этих участков;

5) для общего суждения о возможности и степени дренированности водопроницаемой породы гидрогеологу необходимо составить достаточно полное представление о гипсометрическом положении водоносной породы и о степени прорезанности ее гидрографической сетью на участках, приподнятых выше местного базиса эрозии;

6) для получения данных о водообильности пород и о химическом составе подземных вод необходимо зарегистрировать, описать и опробовать источники, колодцы, скважины и другие пункты вскрытия подземных вод, с обязательным указанием тех пород, из которых поступает вода, причем в засушливых районах, в которых водопунктов мало, изучаются все встреченные водопункты (родники, колодцы, скважины); в случае получения сведений о наличии интересных водопунктов в стороне от трассы гидрогеологических маршрутов необходимо совершить специальных заходы на указанные водопункты.

В многоводных районах водопункты изучаются выборочно с таким расчетом, чтобы получить общее представление о характере водоносности всех геологических подразделений (толщ, свит, ярусов и т. п.), выделенных на геологической карте в масштабе съемки. При этом необходимо учитывать, что характер водоносности пород, количество, минерализация и химический состав подземных вод, приуроченных к той или иной толще, изменяются в зависимости от положения толщи или отдельного горизонта в тектонических структурах, от условий дренирования и других факторов. Поэтому при изучении водоносности хорошо слоистых пород необходимо выбирать для наблюдений водопункты с таким расчетом, чтобы ими были охарактеризованы разные структурные элементы (мульды, антиклинали, крылья складок) и разные по гранулометрическому составу участки пород.

При изучении водоносности рыхлых пород, залегающих горизонтально, необходимо выбирать для опробования водопункты с таким расчетом, чтобы ими были охарактеризованы разные элементы рельефа, в пределах которых распространена порода, а именно: водораздельные пространства, склоны, подножия склонов, долины и т. п.

При изучении водоносности аллювиальных отложений необходимо охарактеризовать по возможности разные части долин.

Изучение трещинных подземных вод

Трещинные подземные воды приурочены к породам, характер водоносности которых определяется трещиноватостью различного типа и генезиса. По характеру водоносности трещины подразделяются на два основных типа, а именно:

1) трещины зоны выветривания, куда входят трещины выветривания, отдельностей и другие, более или менее равномерно секущие породу в разных направлениях и имеющие региональный характер распространения;

2) трещины тектонических разломов, имеющие локальный характер распространения.

Подземные воды, приуроченные к первому типу трещиноватости, называются, как указывалось ранее (глава V), подземными водами зоны выветривания (трещинные воды), а подземные воды тектонических разломов называются локально-трещинными водами или подземными водами тектонических разломов (трещинно-жильные воды).

Указанные воды существенно отличаются друг от друга по характеру и глубине распространения, по количеству, режиму, и, часто, по минерализации, солевому и газовому составу.

Подземные воды зоны выветривания обводняют породу более или менее равномерно в пределах всей ее трещиноватой части, но сравнительно на небольшую глубину — до нескольких десятков метров. На количество и режим этих вод существенное влияние оказывают поверхностные факторы, такие, как разнообразные климатические изменения, характер рельефа и др.

Подземные воды современной зоны выветривания нередко бывают безнапорными со свободной поверхностью, тогда как воды, проникающие на значительную глубину по тектоническим разломам, обладают напором, и при вскрытии их, особенно на дне долин, часто дают самоизлив.

Подземные воды тектонических разломов встречаются спорадически, только в местах наличия водопроницаемых тектонических трещин, часто имеют большую глубину распространения, нередко устойчивый режим, иногда высокую температуру и специфический солевой и газовый состав.

Точно так же нередко обладают напором подземные воды древней, погребенной зоны выветривания и прикрывающих ее пород, когда они являются водопроницаемыми. Безнапорные воды зоны выветривания, будучи первым от поверхности водоносным горизонтом, называются трещинными грунтовыми водами.

Дебит источников и скважин, питаемых подземными водами тектонических разломов, обычно превышает дебит источников подземных вод зоны выветривания. Учитывая изложенное, гидрогеологу в процессе съемочных работ необходимо составить отчетливое представление о том, с какими трещинами связаны встреченные им подземные воды.

При изучении региональной трещиноватости и характера ее водоносности, необходимо выяснить следующее:

1) господствующее падение и простирание наиболее зияющих трещин отдельностей и связь этих направлений с тектоническими движениями, происходившими в районе в разные геологические эпохи;

2) степень пересеченности пород эффективными трещинами выветривания, трещинами отдельностей и другими, в зависимости:

а) от петрографического или литологического состава пород;

б) от местоположения пород в тектонических структурах (в осевых частях антиклиналей или синклиналей, на крыльях складок и т. п.);

в) от характера рельефа (водоразделы, склоны, бортовые части долин и т. п.);

г) от экспозиции склонов (южные, северные и др.);

д) от интенсивности эрозионных и других процессов (размываемые и неразмываемые участки оврагов, речные долины и т. п.);

е) от мощности и состава четвертичных и других отложений, покрывающих трещиноватые породы;

ж) от возраста пород.

При изучении естественных обнажений и различного рода выработок, вскрывающих трещиноватые породы на ту или иную глубину, необходимо выяснить:

1) степень уменьшения или увеличения трещиноватости с глубиной;

2) мощность зоны, в пределах которой породы в результате процессов выветривания превращены в рыхлые продукты выветривания (кора выветривания), и чем эти продукты представлены (щебень, глина, гравий и т. п.);

3) мощность зоны наибольшей трещиноватости пород;

4) на какой глубине прекращается эффективная (в смысле водопроницаемости) трещиноватость (можно выяснить по глубоким горным выработкам и по керну скважин).

При изучении трещиноватости во всех случаях необходимо отмечать характер минеральных образований, выполняющих трещины, степень кольматажа трещин глинистыми продуктами разрушения пород, характер разного рода гидрохимических образований по стенкам трещин.

При изучении зон тектонической трещиноватости и характера их водоносности гидрогеологу необходимо стремиться к тому, чтобы достаточно полно представлять следующее:

1) возраст и размеры зон тектонической трещиноватости;

2) к каким породам по возрасту и составу они приурочены;

3) амплитуду перемещения пород по трещинам, ориентировку и расположение их по отношению различных элементов: антиклинальных и синклинальных складок и т. п.;

4) простпрание и падение трещин;

5) взаимоотношение трещин с различными формами рельефа (речными долинами, оврагами, склонами возвышенностей и т. п.);

6) характер и мощность (ширину) зоны повышенного тектонического дробления пород, приуроченной к тектоническому нарушению;

7) если породы в зоне дробления брекчированы и раздавлены, то необходимо установить степень и характер цементации обломков, кольматажа трещин разными продуктами разрушения пород, их водопроницаемость;

8) связь тектонических нарушений с речными долинами, руслами рек, водоносными породами, водоемами, т. е. со всем тем, что может способствовать обводнению трещин;

9) признаки повышенной водообильности тектонического нарушения по сравнению с вмещающими трещиноватыми породами.

При изучении разного рода даек изверженных пород и жильных образований у гидрогеолога должно сложиться отчетливое представление о том, больше или меньше они трещиноваты по сравнению с вмещающими породами. Если больше, то можно предполагать, что такие дайки и жилы выполняют роль своеобразных дренажных систем и могут служить участками получения значительного количества воды.

Если дайки и жилы трещиноваты менее, чем вмещающие породы, то они могут играть роль подземных барражей, подпруживающих, при

благоприятных условиях расположения, потоки трещинных подземных вод. Необходимо также внимательно изучить характер трещиноватости зоны контакта.

Тщательное изучение всех вышеперечисленных вопросов, связанных с изучением различных типов трещиноватости, позволит гидрогеологу составить правильное представление о водоносности различных пород и оценить различные участки закартированной территории в отношении наличия или отсутствия благоприятных условий для накопления подземных вод.

Изучение карстовых подземных вод

Количество карстовых вод, их характер и глубина распространения, условия питания, накопления и режим зависят, в первую очередь, от степени и характера закарстованности пород. Закарстованность же в значительной степени определяется степенью и характером трещиноватости и составом карстующихся пород. Поэтому все, что было сказано о методике изучения трещиноватых пород, должно учитываться и при изучении закарстованных пород. Однако наряду с этим для правильного понимания характера водоносности закарстованных пород должны быть проведены исследования их химического состава и другие наблюдения, которыми будут выявлены следующие факты.

1. Положение карстующихся пород по отношению к тем или иным частям тектонических структур.

2. Гипсометрическое положение карстующихся пород и расположение их по отношению к дренажной системе района в целях выявления карстовых базисов эрозии, возможных направлений стока, определения поверхностных областей поглощения и разгрузки карстовых вод.

3. Зависимость карстового процесса от различных элементов тектонической структуры района (синклиналей, антиклиналей, крыльев складок, дизъюнктивных нарушений и т. п.).

4. Морфология поверхностных форм карста и их зависимость от литологического и химического состава карстующихся пород, от рельефа, тектонической структуры и других факторов. При этом должны быть освещены следующие вопросы:

а) форма карр, понор, воронок, котловин, польев, карстовых долин и т. п.;

б) размеры всех перечисленных карстовых форм (глубина, ширина, длина);

в) направление длинных и коротких осей перечисленных форм карста (увязать с ориентировкой);

г) элементы залегания карстующихся пород и влияние их на морфологию карстовых форм;

д) характер и мощность продуктов, выполняющих различные карстовые формы.

5. При изучении поверхностного стока на площади карстующихся пород особое внимание необходимо обратить на места усиленного поглощения воды в карстовых эрозионных долинах, или, наоборот, на приток в эти долины подземных карстовых вод. Определение количества поглощаемой воды в долинах или притока в них трещинно-карстовых подземных вод может быть произведено путем одновременного замера расхода поверхностного потока перед поступлением его на площадь развития закарстованных пород и при выходе его за пределы закарстованного участка.

Разница в величине расхода потока по двум этим створам даст представление о величине потери или прибыли воды.

При изучении форм карста необходимо описать пещеры, каналы, их размеры, форму, связь с трещиноватостью, гипсометрическое положение, приуроченность пещер к уровням террас. Изучаются отложения в пещерах, натечные образования и т. д. Производится съемка подземных карстовых форм, описание подземных карстовых рек, озер и т. п.

§ 3. ИЗУЧЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОБЛАСТЯХ СОВРЕМЕННОГО ВУЛКАНИЗМА

Подземные воды областей современного вулканизма характеризуются рядом специфических особенностей, требующих иногда особого подхода при их изучении. Основные водоносные горизонты заключаются в сильно трещиноватых эффузивных и туфогенных породах. Изучение их трещиноватости следует производить так же, как в любых трещиноватых породах, но с учетом того, что мощность трещиноватой зоны в эффузивах соответствует практически всей мощности толщи пород. Значение местных водоупоров могут иметь отдельные горизонты относительно плотных (массивных) лав или туфов. Обычно эти горизонты фиксируются по пластовым выходам подземных вод, приуроченным, как правило, к склонам лавовых плато. В таких случаях необходимо проследить и определить протяженность выхода и, если возможно, определить дебит на единицу протяженности пласта.

Для источников вулканических областей характерны большие дебиты, измеряющиеся часто величинами порядка нескольких десятков и даже сотен литров в секунду. Замер дебитов таких источников производится по расходу ручья, образованного ими. В каждом отдельном случае необходимо точно определить, не связаны ли выходы вод с тектоническими зонами. Другие водоносные горизонты, залегающие в основании эффузивного комплекса пород, изучаются в соответствии с их составом по изложенной выше методике.

Большим разнообразием пользуются в вулканических областях термоминеральные источники, имеющие часто температуру порядка 80—100° С. Обследование минеральных источников ведется в основном по схеме, изложенной выше, с учетом следующих практических рекомендаций.

Для отбора свободно выделяющихся газов в горячих источниках бутыль следует наполнить холодной водой, а при отсутствии ее предварительно охладить. Горячей водой заполняется лишь горлышко бутыли, чтобы оно не лопнуло. В таком виде бутыль погружается на 2—4 *см* в воду над газовым грифоном или воронкой. После наполнения бутыли газом горлышко ее следует отвести в сосуд с холодной водой, извлечь из грифона и после этого закупорить пробкой.

При изучении источников, расположенных непосредственно на вулканах, поблизости от выходов фумарол или сольфатар, следует подробно изучить характер изменения пород, расположение газовых струй по отношению к выходам воды, наличие и характер «грязевых» котлов — небольших впадин, заполненных жидкой грязью, обычно слабо пульсирующей. Помимо проб воды и газа, следует отобрать образцы свежих и измененных пород и произвести их химический анализ, чтобы определить направленность процесса изменения пород. Существенный интерес представляет также химический и минералогический состав возгонов, образующихся

вокруг выходов газовых струй. Образцы этих возгонов должны быть отобраны в стеклянные пробирки и герметически закупорены.

Подобный же комплекс исследований должен производиться при изучении кратерных озер. Пробы воды из них следует отбирать там, где имеет место наибольшая температура, для чего необходимо измерить ее в нескольких местах. При работе в районах современного вулканизма следует иметь термометры со шкалой не менее чем до 150—200° С, так как температура отдельных газовых струй часто превышает 100° С.

В результате обследования того или иного источника должно сложиться определенное представление о следующем:

1) связан ли этот источник непосредственно с породами современного вулканизма или выходит из более глубоких горизонтов, подстилающих вулканические породы;

2) оказывают ли влияние процессы современного вулканизма на состав воды.

§ 4. ПРОВЕДЕНИЕ СЪЕМОК В ПУСТЫННЫХ РАЙОНАХ

При проведении гидрогеологической съемки в пустынных и полупустынных районах особенно тщательно изучается влияние геоморфологических условий и микрорельефа на распределение гидрографической сети, поверхностных водоемов и водотоков. Выясняется наличие лиманов, запалин, дефляционных понижений, солончаков, такыров, соров, участков развеваемых и закрепленных песков, дюн, барханов и бугристых песков. При этом выясняется роль перечисленных геоморфологических форм в распределении поверхностного и подземного стока, глубины залегания и степени засолонения подземных вод.

Особое внимание необходимо уделить выявлению наличия пресных линз грунтовых вод, «плавающих» на поверхности сильно засоленных грунтовых вод, и уточнению поисковых признаков на пресные воды (влаголюбивая растительность, определение формы рельефа, литологический состав пород и т. п.). При установлении наличия линз пресной воды необходимо выяснить их размеры (площади распространения, мощность), степень минерализации, химический состав воды, условия водозабора и т. п.

Для выявления таких линз, помимо проходки поисковых скважин и шурфов, могут применяться геофизические и геоботанические исследования. На наличие пресных напорных подземных вод в пустынных районах могут указывать такие поисковые признаки, как например, обширные понижения, покрытые солончаками, и так называемые чеколаки (бугры, образовавшиеся на участках выхода восходящих родников). При этом в понижениях под солончаками пресные подземные воды могут залегать на глубине нескольких десятков метров.

В процессе съемки в песчаных пустынях и проведения поискового бурения следует обращать внимание на возможность нахождения погребенных под эоловыми песками древних русел, к которым часто бывают приурочены сравнительно пресные грунтовые воды. Для выявления таких русел следует применять геофизические и геоботанические исследования.

При изучении поверхностных водотоков необходимо тщательно фиксировать все участки, на которых наблюдается потеря поверхностного стока. В районах, примыкающих к горным хребтам, особенно тщательно осматриваются границы перехода пролювия в эоловые отложения как

возможные зоны выклинивания подземных потоков, стекающих с гор в толще пролювиальных отложений. Необходимо учитывать также наличие водосточных дождевых ям, которые не следует путать с колодцами, питающимися подземными водами.

§ 5. ИЗУЧЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

В области развития многолетней мерзлоты условия распространения подземных вод, их режим, температурные условия, глубина залегания и т. п. в значительной мере определяются характером многолетней мерзлоты. Поэтому при геологических съемках в области распространения многолетней мерзлоты, кроме получения данных, перечисленных выше, необходимо произвести наблюдения по изучению многолетней мерзлоты и взаимосвязи ее с вмещающими породами и подземными водами.

1. Прежде всего необходимо как можно полнее составить представление о мощности, температуре мерзлой зоны и условиях ее залегания.

Различаются следующие типы мерзлой зоны:

а) Мерзлая зона большой мощности и низких отрицательных температур (от 0 до минус 3—4° С и ниже) с наличием подрусловых, подозерных и других таликов большей частью замкнутого типа, реже сквозных. Талики приурочены к путям движения поверхностных и подземных вод или к озерам. Все эти талики обусловливают в общем малую прерывистость мерзлой зоны.

б) Таликовая мерзлая зона средней мощности со значительным развитием островов таликов с температурой от 0 до минус 2—3°. Наряду с таликами, обычными для первого типа мерзлой зоны, здесь развиты острова сквозных таликов, различных, иногда весьма больших размеров, которые обусловливают значительную прерывистость мерзлой толщи пород и располагаются независимо от подрусловых и подозерных таликов.

в) Островная мерзлая зона среди таликов. Мощность ее небольшая. Температура от 0 до минус 1—2° С. По периферии островной мерзлой зоны и в пределах островов таликов различают пояс перелетков, т. е. островков зимнего промерзания, появляющихся то в одном, то в другом месте, остающихся один-два-три года не оттаявшими, и затем исчезающих.

2. Необходимо изучить состав и строение мерзлых толщ, обратив особое внимание на заключенные в них подземные льды и льдистые горные породы. При изучении подземных льдов нужно выяснить их происхождение, условия залегания и формы, размер и объем ледяных тел, структуру, текстуру льда, характер и состав примесей и включений. Очень важно подробно исследовать характер контактов льдов с вмещающими породами.

Среди примесей и включений следует различать газы, воду, соли, нерастворимые твердые включения; особое внимание нужно обратить на включения растительных и животных остатков и присутствие микроорганизмов, изучение которых, наряду с прочими данными, поможет разобраться в вопросах о генезисе и возрасте подземных льдов.

Среди подземных льдов следует различать:

а) погребенные льды снежных надувов, снежников, ледников, (глетчерные, айсбергов) — продукты выделения из тропосферы;

б) льды пещер, образовавшиеся в результате сублимации — продукты выделения из тропосферы;

в) погребенные льды болот, озер, рек, наледей, морские льды — продукты выделения из гидросферы.

Продукты выделения в литосфере: 1) обособленные ледяные тела в виде линз, жил, клиньев, труб и другие, возникшие за счет замерзания над- меж- и подмерзлотных вод; 2) льдистые породы, для которых обычно типичен лед-цемент, лед-заполнитель.

Среди льдистых пород выделяются:

а) «сухомерзлые» породы, по Г. В. Лазаренкову, для которых характерно наличие значительно числа пустот, заполненных газом; лед цементирует лишь стыки между частицами и представляет замерзшую «уголковую воду». Эти породы образуются обычно при замерзании зоны аэрации;

б) льдистые породы водоносных горизонтов, где лед выполняет пустоты и поры, как цемент. Эти породы возникают в зоне насыщения при ее замерзании;

в) льдистые водоупорные породы, в которых лед нередко образует выделения в виде микролинз и микрожилок.

Необходимые данные о типе мерзлой зоны, ее мощности, температуре и условиях залегания в зависимости от растительности, рельефа, состава пород и гидрогеологических условий могут быть получены лишь при постановке разведочных работ и на основании сбора сведений, имеющихся в геолого-разведочных партиях, на рудниках и т. д.

3. При проходке разведочных выработок, в том числе буровых скважин, нижняя граница мерзлой зоны может быть установлена: по потере промывочных вод, по появлению подмерзлотных вод, по изменению буримости пород, по исчезновению льда, по данным каротажа и температурных замеров, по непосредственным визуальным наблюдениям в глубоких шурфах, шхатах и других горных выработках. Наилучшие результаты получаются, когда один способ определения нижней границы мерзлой зоны контролируется другими.

4. Необходимо собрать также сведения о глубине залегания верхней границы мерзлой зоны. Кроме непосредственных наблюдений в горных выработках, заложенных осенью (ибо летом часть деятельного слоя находится в мерзлом состоянии), некоторое представление о глубине сезонного протаивания можно получить на основании изучения характера растительности.

Так, например, наличие лиственного леса почти всегда указывает на наличие мерзлоты, причем мощность деятельного слоя под лиственными лесами в некоторых районах Якутии достигает 0,5—2 *м*. Для благоприятного произрастания кустарников и трав мощность деятельного слоя может быть меньшей, чем для древесных растений, еще меньшей для безкорневых — лишайников и мхов. Лиственница, ель и пихта могут хорошо произрастать и там, где мощность деятельного слоя не превышает 0,5—1,2 *м*.

Сосна обладает мощной и глубокой корневой системой и является показателем песчаного состава деятельного слоя и сравнительного глубокого залегания мерзлой зоны. Особенно избегает сосна холодных глинистых почв с малой мощностью деятельного слоя. В бассейне р. Амура, а также и у. Комсомольска, по имеющимся данным, хорошим индикатором неглубокого залегания зоны мерзлоты является кедровый стланик. Для тех же районов на более глубокое залегание мерзлой зоны указывает Миддендорфова береза.

Заросли ивы, ольхи, облепихи встречаются в поймах и по берегам рек и озер, преимущественно там, где существуют надмерзлотные воды,

т. е. где поверхность мерзлой зоны опустилась на некоторую глубину, больше обычной для этого района, или там, где мерзлота совершенно отсутствует. Торфяной и болотно-луговой растительный покров, мари, почти всегда указывают на малую мощность деятельного слоя и на обязательное присутствие мерзлоты (для районов островного ее распространения).

Таким образом, внимательное изучение растительного покрова в области многолетней мерзлоты (сопровождаемое заложением контрольных выработок) может дать гидрогеологу некоторые ориентировочные указания как о мощности деятельного слоя, так и о границах мерзлых участков в районах распространения островов мерзлой зоны.

5. При встрече выходов подземных вод необходимо выяснить их положение по отношению к мерзлой зоне, т. е. являются ли эти воды над-, меж- или подмерзлотными. Решение этого вопроса весьма важно, так как над-, меж- и подмерзлотные воды обладают существенно различным характером распространения, режима, бактериального загрязнения, питания, количества и т. п. (гл. V).

Однако на основании только тех наблюдений, которые гидрогеолог может получить в результате изучения явлений, происходящих на поверхности земли, решить вопрос о том, к какому типу принадлежат воды, не всегда возможно. Поэтому необходимо собрать соответствующие опросные данные по скважинам и горным выработкам, имеющимся в районе, а также учесть и те сведения, которые имеются в фондовых и литературных материалах.

6. В районах развития многолетней мерзлоты важное значение для оценки гидрогеологических и инженерно-геологических условий имеют наблюдения над гидромерзлотными проявлениями. К таким проявлениям относятся наледи, гидролакколиты, полыньи, термокарст, солифлюкция, термокарстовые озера, возникающие в результате протаивания мерзлых пород и подземных льдов, и другие.

При наблюдении за наледями и гидролакколитами следует отметить абсолютную и относительную высоту расположения наледей, местоположение их по отношению к элементам рельефа; факторы, содействующие образованию наледей: геологические, гидрогеологические, орографические, деятельность человека (постройки, канавы, дороги, мосты и т. п.), с какими водами связана наледь (речными, надмерзлотными, подмерзлотными и т. п.); температура наледной воды и воздуха, дебит воды, вытекающей из наледи, или дебит источника, питающего наледь; физические и химические свойства воды и льда (вкус, цвет, запах, прозрачность, минерализация воды); химический состав; налеты солей на поверхности наледи; форма и размеры наледи; объем льда наледей; начало появления, характер роста, время наибольшего развития и окончательного исчезновения наледи (по опросным данным).

При изучении различного рода термокарстовых явлений, связанных с многолетней мерзлотой, необходимо отметить: географическое положение, абсолютную и относительную высоту, положение по отношению к различным элементам рельефа; геологическое строение участка; мощность деятельного слоя; глубину залегания многолетней мерзлоты на участках провалов; размер провалов и их форму; морфологические особенности стенок и глубину провала; наличие или отсутствие воды в провале; имеется ли видимый сток или приток воды, количество вытекающей или притекающей воды и ее физические и химические свойства; мощность

и характер провалившихся пород; влияние провального явления на расположенные вблизи сооружения. Следует также учесть сказанное в разделе о карстовых водах.

§ 6. ИЗУЧЕНИЕ ВОДОПУНКТОВ

Необходимые данные для правильного представления о гидрогеологических условиях района могут быть получены в результате тщательного изучения источников, колодцев, скважин, горных выработок (водопунктов).

При изучении тех или иных водопунктов должны быть освещены следующие основные вопросы.

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

2. Орографические условия в месте расположения водопункта, относительная высота над меженным уровнем ближайшего водоема, (реки, озера, пруда и др.), дном балки, оврага, болота.

3. Абсолютная высота водопункта. Если есть возможность, она определяется нивелировкой при помощи анероида-высотомера, или приблизительно по горизонталям крупномасштабной карты.

4. Если водопункт расположен на склоне или у его подошвы, то необходимо отметить 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, трещиноватость и характер залегания породы, из которой поступает вода, питающая водопункт.

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

7. По возможности необходимо замерить дебит водопункта. Дебит источника можно замерить или объемным способом, или при помощи поплавка, а колодца и скважины — при помощи простейшей откачки (см. гл. XXXI). Если откачку произвести не представляется возможным, то необходимо о дебите колодца или скважины составить хотя бы ориентировочное представление на основании опроса местных жителей, пользующихся водою из колодца или скважины.

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

9. Из наиболее типичных водопунктов или чем-либо особенных необходимо отобрать пробу для химического анализа. Если у места выхода источника имеется твердый осадок, выпавший из воды источника, необходимо взять пробу этого осадка для химического анализа.

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

11. Характер каптажного устройства водопункта и для каких целей используется вода из него.

12. Удобство подъездных путей к водопункту.

13. В области распространения многолетней мерзлоты необходимо определить, с какими водами связан водопункт (надмерзлотными, межмерзлотными, подмерзлотными).

14. При описании источников и других неглубоких водопунктов необходимо по возможности выяснить (хотя бы по опросным данным),

пересыхает ли водопункт в летнее время, перемерзает ли зимой. Если перемерзает или пересыхает, то в какое именно время.

15. При изучении участков, покрытых торфяниками, а также пойменных частей сухих долин необходимо обратить внимание на наличие так называемых «окон» воды. Такие окна в большинстве случаев являются пьезометрами подземной воды, указывающими на уровень ее залегания. Поэтому, если представляется возможность, необходимо определить абсолютную высоту уровня воды в окнах, замерить температуру и описать другие физико-химические свойства воды, так же как и при обследовании других водопунктов.

16. При описании колодцев и скважин необходимо, кроме вышеуказанного, указать глубину (до дна, до воды, столб воды), охарактеризовать геологический разрез, вскрытый колодцем или скважиной, описать характер водоподъемных средств и выяснить возможную максимальную производительность, характер крепления колодца и скважины.

17. По возможности выяснить глубину появления воды при проходке колодца или скважины.

18. При описании источников необходимо, кроме вышеперечисленного отметить характер выхода воды (спокойное истечение, грифоны, одна головка источника или несколько, рассеянный пластовый выход и т. п.), а также описать форму, размеры, устройство родниковой воронки.

19. При изучении каризов следует провести, кроме вышеотмеченного, следующие наблюдения:

а) замерить сечение дренажной галереи и ее длину с указанием длины водозаборной части и водоотводной. Отметить доступность галереи для осмотра;

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

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

г) определить и нанести на карту место выхода галереи на дневную поверхность или место водозаборного колодца у тех каризов, галереи которых не выходят на дневную поверхность;

д) зариссвать ориентировку линии смотровых колодцев и описать каждый из них;

е) составить разрез пород, вскрытых колодцами и галереей с выяснением мощности водоносного горизонта и глубины заложения галереи в нем.

20. При гидрогеологическом обследовании шахт и рудников, имеющихся в районе работ, 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 выработке, 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 радиус и величину депрессионной воронки, созданной шахтными выработками;

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, поверхностный дренаж, штек-фильтры и т. п.);

м) предполагаемая область питания для вод, поступающих в выработки;

н) используются ли и 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 в процессе съемочных работ желательно собрать сведения для освещения хотя бы в самых общих чертах следующих вопросов:

а) за счет каких водоисточников происходит водоснабжение местного населения и промышленности, 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. Для общей характеристики рек, озер и других поверхностных водоемов необходимо отметить:

а) характер водоема и водотока (река, ручей, озеро, болото, водохранилище и др.);

б) режим водоема и водотока (постоянно действующий, пересыхающий и т. п.);

в) при плесовом характере рек засушливых областей необходимо отметить размеры плесов, их связь друг с другом, на площади распространения каких пород они располагаются;

г) при описании болот и заболоченностей необходимо составить представление о характере их питания (подземные воды, атмосферные осадки, поверхностные водоемы);

д) выяснить минерализацию, химический состав и физические свойства воды в различных частях водоема;

е) для рек и ручьев желательно определить их расход в различных частях и режим (см. гл. XXXI).

§ 7. ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД И ГРЯЗЕЙ (ПЕЛОИДОВ)

Виды изучения минеральных вод

Минеральные воды изучаются как полезные ископаемые, и потому только планомерное исследование может обеспечить их рациональную эксплуатацию. Систематические гидрогеологические исследования слагаются из пяти последовательных этапов, отражающих различные стадии изучения минеральных вод.

1. Геолого-гидрогеологическая съемка.
2. Гидрогеологическое изучение структуры района выходов минеральных вод.
3. Разведочные работы с применением мелкого бурения и геофизических методов.
4. Детальные разведочные работы путем глубокого бурения, сопровождаемого проведением длительных откачек.
5. Каптажные работы.

Все виды изучения минеральных вод А. М. Овчинников систематизировал в виде схемы, представленной им в виде таблицы (табл. IX-1).

Как видно из табл. IX-1, на каждом этапе гидрогеологического изучения преследуются свои задачи и проводятся различные виды работ. На первом этапе на территории месторождения минеральных вод проводится геолого-гидрогеологическая съемка, которая сопровождается изучением гидрохимии района. Геолого-гидрогеологической съемкой устанавливаются геологическое строение и гидрогеологические условия района, выясняются условия залегания минеральных вод. На первом этапе изучения минеральных вод гидрогеологической съемкой обычно охватывают такую территорию, чтобы в нее входила и предполагаемая площадь питания минеральных вод.

Для изучения гидрохимии района проводятся: 1) анализы поверхностных и подземных вод (пресных и минеральных); 2) анализы водных вытяжек из горных пород для определения их солевого состава; 3) режимные наблюдения над водами пресных и минеральных источников и рек. Анализы минеральных вод проводятся с определением всех компонентов сухого остатка и газов. Наблюдения над режимом источников состоят из измерения их дебита, температуры и химического состава, причем в режиме источников с пресной водой наблюдается простая закономерность. Под влиянием выпавших атмосферных осадков в источниках повышается дебит и понижается температура воды, а также происходит ее опреснение. В режиме источников с минеральной водой обычно наблюдаются сложные явления:

1) когда к минеральным источникам подтекают холодные воды, то при увеличении дебита температура минеральной воды понижается, и наоборот;

2) когда к минеральным источникам нет подтока холодной воды, то дебит источников и температура их воды остаются в течение года почти постоянными;

3) при смешении минеральных и пресных вод одной и той же температуры дебит минеральных источников изменяется, температура же их остается постоянной;

4) при подтекании пресной воды к источникам минеральной воды дебит источников повышается, а минерализация воды понижается;

5) когда не происходит подмешивания пресных вод к минеральным, то дебит источника и минерализация воды остаются постоянными.

Таблица IX-1

Стадии изучения минеральных вод

Наименование этапа	Задачи работ	Виды и объем работ
1. Общие геолого-гидрогеологические исследования района	1. Выяснение геологического строения, гидрогеологическая оценка структур 2. Гидрогеологическая характеристика стратиграфических и литологических комплексов 3. Гидрохимическая характеристика подземных вод района	Комплексная геолого-гидрогеологическая съемка в масштабе 1 : 50 000 и 1 : 100 000 Обследование наиболее крупных пресных и всех минеральных источников с определением их дебита, температуры и химического состава. Составление комплексных карт и разрезов для района питания и формирования минеральных вод
2. Гидрогеологическое изучение структуры, с которой связаны минеральные воды	1. Детальный геолого-структурный анализ геологической структуры 2. Выяснение условий движения и выхода минеральных вод 3. Изучение режима главных выходов минеральных вод	Детальная геологическая съемка в масштабе 1 : 10 000 с изучением трещиноватости и литологии свит, в которых заключена минеральная вода. Производство расчисток, отдельных зондировок и оборудования выходов минеральной воды Организация химической лаборатории
3. Разведочные работы	1. Установление характера и направления водоносных зон 2. Выяснение соотношения напорных и грунтовых вод 3. Предварительное оконтуривание месторождения минеральной воды 4. Ориентировочная оценка ресурсов минеральной воды	Заложение сети неглубоких разведочных скважин с производством гидрогеологических наблюдений и опытных работ (топографическая основа в масштабе 1 : 1000) Геофизические исследования (газовая съемка, термометрия, электрометрия в местах имеющихся и возможных разгрузок воды) Изучение режима минеральных вод и связанных с ними пресных вод, а также рек, озер и т. п. (с учетом метеорологических данных) Стационарные гидрохимические исследования
4. Детальные разведочные работы	1. Точная фиксация гидрогеологических условий 2. Оконтуривание месторождения минеральной воды с выяснением динамики вод, на основе специальных опытных работ, и подсчет ресурсов минеральной воды 3. Детальное химическое изучение воды, газа и солевого комплекса пород, полученных при бурении	Колонковое (главным образом крелиусное) или роторное бурение местами глубоких скважин (до 500—600 *м*) с тщательным гидрогеологическим контролем, производством каротажа Проведение длительных откачек с анализом интерференций скважин Подробное физико-химическое изучение воды, газа с определением микроэлементов Подсчет ресурсов по категориям *A*, *B*, *C* производится на основе опытных работ и детального анализа режима

Продолжение табл. IX-1

Наименование этапа	Задачи работ	Виды и объем работ
5. Каптажные работы	1. Проведение эксплуатационных скважин специальной конструкции (большой диаметр, закрепление антикоррозийными трубами, для углекислых вод устройство сифоидов), обеспечивающих бесперебойную подачу воды и возможность прочистки 2. Устройство оголовка у скважин, эксплуатационного и бюветного резервуара, трубопроводов, системы подачи и, если необходимо, перекачки 3. Архитектурное оформление участка Установление зон санитарной охраны (предварительно зоны могут быть установлены после 3 этапа) 4. Организация нормальной эксплуатации воды и службы контроля за режимом воды	Составление на основе всех ранее проведенных работ проекта каптажного сооружения, предусматривающего подземную и наземную части каптажа Выбор материалов для обсадки труб и трубопроводов, не поддающихся разъедающему действию воды Проект устройства контрольных приспособлений, позволяющих вести непрерывную регистрацию жизни источника (естественных и искусственных факторов) с тем, чтобы своевременно сигнализировать о дефектах эксплуатации и качестве воды (санитарный и химический контроль) Оборудование самопишущими приборами Буровые, гидротехнические и архитектурно-строительные работы Составление паспорта каптажного сооружения, таблиц и графиков режима

На втором этапе изучения минеральных вод устанавливается геологическое строение района выхода минеральных вод. Для этой цели обычно на площади примерно 5—20 $км^2$ у выходов источников проводят детальную съемку на карте в масштабе 1 : 1000 до 1 : 5000.

На третьем этапе изучения минеральных вод проводится мелкое бурение с применением термометрии. Минеральные воды, поднимающиеся с глубины, обладают более высокой температурой, чем пресные воды. Поэтому вода в скважинах, расположенных ближе к трещине с минеральной водой, будет иметь более высокую температуру, чем вода в скважинах, удаленных от трещины.

Гидрогеологическими исследованиями установлено, что минеральные воды в большинстве случаев приурочены к термальным куполам. Нанеся гидроизотермы на план расположения разведочных скважин, можно установить ось гидроизотерм изучаемой минеральной воды, а по ней место и направление трещины, по которой поднимается минеральная вода к участку возможного ее нахождения в исследуемом районе.

Ось разлома, по которому поднимается минеральная вода, устанавливается также путем химических анализов воды. Для этой цели составляется карта в изолиниях (карта изохим) по содержанию какого-либо характерного компонента минеральной воды. Изохимы химического компонента — например, хлора — образуют замкнутые кривые, ось которых приурочена к зоне разлома, т. е. к выходу минеральной воды.

На основе результатов мелкого разведочного бурения и геофизических методов, с помощью которых устанавливается приблизительное место-

нахождение зоны разлома и места выхода минеральной воды, проводится уже глубокое бурение с целью захвата исследуемой воды из трещины, пока она еще не смешалась с пресными водами и не загрязнилась. Бурение скважины, проектируемой на перехват трещинных вод на глубине, и составляет основное содержание четвертого этапа изучения минеральных вод.

Проходка глубокой буровой скважины на минеральную воду производится по техническому проекту, в котором обосновываются глубина скважины, ее диаметр, размер обсадных труб и их тип, характер тампонажа, глубина отбора проб воды, глубина проведения опытных откачек для определения водообильности отдельных горизонтов, объем химических и других исследований воды, термометрические наблюдения, техника проходки скважины и т. п.

Нарастание температуры воды в скважине, а также и увеличение концентрации отдельных компонентов, характеризующих минеральную воду, обычно свидетельствуют о приближении забоя скважины к минеральной воде. Если разведочная скважина встретит минеральную воду высокого качества и в количествах, достаточных для эксплуатации, то скважина каптируется и переводится в разряд эксплуатационных.

Особенности изучения радиоактивных вод

Для оценки ресурсов радиоактивных радоновых источников полезно определить их общую радиоактивность (M_{rn}) и радиоактивную мощь (rh).

Общая радиоактивность (M_{rn}) источника может быть охарактеризована количеством эманации радия (радона), выносимым источником в секунду

$$M_{rn} = q \cdot r_e, \qquad \text{(IX-1)}$$

где q — дебит источника, *л/сек*;
r_e — радиоактивность воды источника, *эманы*;

Радиоактивная часовая мощь (rh) источника может быть выражена в миллиграммах радия:

$$rh = \frac{Qr_c}{7500}, \qquad \text{(IX-2)}$$

где Q — дебит источника, *л/час*;
r_c — радиоактивность воды, миллимикрокюри на литр (*мμс/л*).

Содержание радия в подземных водах может изменяться в широких пределах от $n \cdot 10^{-13}$ до $n \cdot 10^{-8}$ *г/л*.

При содержании в воде радия в количестве $n \cdot 10^{-9}$ *г/л* она может иметь практическое значение для извлечения его солей.

Для более объективной оценки и сопоставления различных радиевых источников полезно знать количество радия, выносимого источником в единицу времени (или общую радионосность M_{ra})

$$M_{ra} = Q \cdot r, \qquad \text{(IX-3)}$$

где Q — дебит источника, *л/сек*;
r — содержание радия в 1 *л* воды источника, *г*.

В подземных водах можно различать следующие типы воды с содержанием урана, *г/л*:

исключительно слабо урановые	$n \cdot 10^{-8}$
весьма слабо урановые	$n \cdot 10^{-7}$
слабо урановые	$n \cdot 10^{-6}$
урановые	$n \cdot 10^{-4}$
сильно урановые	$n \cdot 10^{-4}$
весьма сильно урановые	$n \cdot 10^{-3}$
исключительно сильно урановые	$n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-2}$

При содержании в воде урана $n \cdot 10^{-6}$—$n \cdot 10^{-5}$ *г/л* и более вода является показателем возможной урановосности омываемых ею пород. Воды с содержанием урана $n \cdot 10^{-6}$ *г/л* и выше, по-видимому, имеют целебное значение и могут быть названы урановыми. Во всяком случае в настоящее время известны источники, отличающиеся от обычных пресных вод лишь повышенным содержанием урана, которые используются в качестве целебных. Общая урановосность источника (M_u) выражается количеством урана, выносимого в единицу времени

$$M_u = q \cdot U, \qquad \text{(IX-4)}$$

где q — дебит источника, *л/сутки*;
U — содержание урана, *г/л*.

При изучении радиоактивных вод необходимо отбирать пробы воды, определять в них содержание радиоактивных элементов, интерпретировать полученные результаты, с учетом всех геологических, гидрохимических и гидрогеологических данных.

Для изучения радиоактивности источников необходимо иметь соответствующую аппаратуру и инструкции. Определение радиоактивности производится на месте выхода подземной воды сразу же после отбора пробы. При хранении пробы, вследствие радиоактивного распада эманации, а также при взбалтывании воды во время перевозки, вследствие плохой закупорки, происходит потеря эманации. Поэтому цифры, полученные спустя несколько дней после взятия пробы, не будут выражать истинной радиоактивности источника.

Изучение промышленных минеральных вод

Промышленными минеральными водами называются воды, содержащие в растворе полезные ископаемые (поваренную соль, бром, йод, радиоактивные элементы) в таком количестве, что последние могут служить предметом добычи. К промышленным минеральным водам относятся воды с содержанием

хлористого натрия больше	50 *г/л*
брома не менее	250 *мг/л*
йода больше	20 *мг/л*
эманации радия не менее	$n \cdot 10^{-9}$ *г/л*

При изучении промышленных минеральных вод определяется не только степень их насыщения полезными компонентами, но также устанавливаются геологическая и гидрогеологическая структуры месторождения, определяются запасы и условия использования промышленной воды, производится экономическая оценка промышленных минеральных вод.

Изучение грязей (пелоидов)

К лечебным грязям (пелоидам) относятся природные образования, которые используются для целей грязелечения. По генезису различают следующие лечебные грязи:

1) лиманного и лагунного происхождения;
2) озерного и болотного происхождения;
3) продукты извержения грязевых вулканов и сопок.

Краткая характеристика грязей (пелоидов), по А. Н. Бунееву, приводится в табл. IX-2.

Таблица IX-2

Сравнительная характеристика основных типов грязей (пелоидов)

(по А. Н. Бунееву, 1955)

Основные свойства	Илы соленых водоемов (сероводородные лечебные грязи)	Илы пресных водоемов (сапропели)	Глины	Торф
Цвет	Черный, реже более светлый до серого, вид маслянистый	Зеленоватый, бурый, иногда почти черный	Желто-бурый серый, черный, голубой и др.	Бурый, коричневый, черный
Консистенция, пластичность	Очень пластичная, мягкая на ощупь, легко мажущаяся, хорошо пристает к телу	Несколько жидкая; менее густая, чем в иловых грязях; слабее пристает к телу	Пластичная, густая, хорошо пристает к телу	Густая, но пристает к телу слабо
Условия образования и основные свойства	Озера различной степени солености и состава воды	Отложения пресноводных озер	Уплотнившиеся пресноводные или морские отложения	Образуется в условиях заболачивания местности
Основные генетические типы	Грязи морских заливов, приморских, материковых и ключевых минеральных озер	Отложения пресноводных озер	Озерные, морские, ледниковые	Верховые, низинные, переходные
Процент естественной влажности	40—60	80—95	20—30	75—85
Процент влажности грязи, подготовленной для аппликации	40—60	80—85	30—50	80—88

Несмотря на разнообразие состава и условий образования, все пелоиды характеризуются рядом общих физико-химических признаков и свойств, которые определяют их бальнеологическую ценность. К таким признакам относятся высокая влагоемкость, высокая теплоемкость (за исключением глин) и сравнительно малая теплопроводность; высокая адсорбционная способность; способность с водою образовывать более или менее однородную пластичную массу; наличие биологически активных органических веществ биогенного происхождения, витаминов, энзимов и др. Эти свойства пелоидов определяются наличием в них гидрофильных коллоидов различного состава и происхождения.

Коллоиды лечебных грязей состоят из гидратов окиси алюминия и железа, из сернистого железа и глинистых частиц, пропитанных обычно минерализованной или рассольной водой.

Во всякой лечебной грязи можно различать три главные составные части: минеральный или органический (торф) скелет, коллоидную фракцию, грязевой раствор. Минеральный скелет «хорошей» лечебной грязи не должен содержать заметного количества частиц с диаметром, превышающим 1 *мм*; еще лучше, если грязь будет лишена и частиц, имеющих размеры от 0,25 до 1 *мм* [С. А. Щукарев, 1932].

Образование лечебных грязей и их накопление происходит в результате сложного взаимодействия геологических, биологических и физико-химических процессов, характер и направленность которых изменяются в зависимости от режима водоема и изменения условий его питания. Вследствие этого состав и свойства, мощность и характер залегания пелоидов весьма разнообразны даже в пределах одного и того же месторождения. Поэтому основной задачей съемочных работ в районах наличия лечебных грязей является изучение:

1) площади распространения пелоидов;
2) мощности отложения пелоидов;
3) условий их залегания;
4) состояния и свойства пелоидов и их изменения в пределах месторождения.

Для предварительной оценки качества пелоидов их пробы необходимо отбирать в стеклянные банки с притертой пробкой в количестве 1—2 *кг*. В тех случаях, когда грязь находится на дне водоема, отбирается также проба воды (рапа) в количестве 1—2 *л*.

§ 8. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ И ШУРФАХ

Гидрогеологические наблюдения и исследования, проводимые в буровых скважинах, дают возможность детально изучить условия залегания, мощность, режим и взаимосвязь водоносных горизонтов, произвести количественную оценку водопроницаемости пород и дать качественную характеристику приуроченных к ним подземных вод.

Основные виды работ, проводимые в скважинах, включают: гидрогеологические наблюдения и исследования в неглубоких скважинах; гидрогеологические наблюдения и исследования в глубоких скважинах; геофизические исследования, применяемые при изучении гидрогеологических разрезов скважин.

Гидрогеологические наблюдения и исследования в неглубоких скважинах

Эти работы в неглубоких скважинах предусматривают следующее.

1. Наблюдения за литологическим составом и трещиноватостью буримых пород с точки зрения их возможной водоносности.
2. Наблюдения за положением уровня воды вскрываемых скважиной водоносных горизонтов.
3. Наблюдения за поглощением промывочной жидкости.
4. Наблюдения за температурой подземных вод.
5. Отбор проб воды и газа для определения их физических свойств и химического состава.
6. Проведение пробных и опытных откачек.

7. Проведение опытных нагнетаний и наливов.

Перечисленные наблюдения и исследования проводятся не только в специальных гидрогеологических скважинах (опытных, наблюдательных, режимных), но и во всех скважинах иного назначения (например, зондированных и геологоразведочных), там, где эти исследования представляют определенный интерес.

В целях экономии времени и средств необходимо предусматривать всестороннее исследование каждой пробуренной скважины для выяснения гидрогеологических условий района.

Геологоразведочные скважины бурятся обычно с применением глинистого раствора, в отличие от гидрогеологических, которые проходятся «всухую» или с промывкой чистой водой. Применение глинистого раствора при бурении снижает водопроводимость пород вокруг скважины, что должно обязательно учитываться при проведении гидрогеологических наблюдений и исследований.

Методика, объем и точность гидрогеологических наблюдений и исследований определяются требованиями, предъявляемыми к изучению подземных вод на данном этапе их исследования.

1. 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. Наблюдения связаны с изучением механического состава, пористости и трещиноватости пород, извлекаемых из скважины в процессе бурения. При бурении сплошным забоем большое значение приобретают наблюдения за скоростью и режимом бурения; литологический состав пород изучается по шламу.

2. Наблюдения за понижением уровня воды в скважинах производятся в перерывах между бурением, по мере вскрытия водоносных горизонтов или после окончания проходки скважин. Глубина залегания уровня воды в скважине определяется с помощью специальных гидрогеологических приборов (см. гл. XXXI), причем замеры производятся от строго определенной неподвижной точки (например, от края направляющей обсадной трубы).

Для определения истинного положения статического уровня водоносного горизонта скважина должна быть очищена от шлама и бурового раствора. Последнее достигается путем желонирования скважины или промывки ее чистой водой до полного осветления закачиваемой в скважину воды.

После очистки скважины ведутся наблюдения за восстановлением статического уровня до его полной стабилизации. Следует учитывать, что в некоторых водоносных горизонтах уровень может восстанавливаться в течение суток и более. Уровень считается установившимся, когда разница между замерами, взятыми через два-три часа, не превышает 1—2 *см*.

Наблюдения за восстановлением уровня следует проводить в процессе бурения всегда, когда есть основания предполагать о вскрытии нового водоносного горизонта, а также при каждом резком подъеме и понижении уровня.

Для более точного фиксирования положения статического уровня в скважинах часто применяют кратковременные откачки и наливы с последующим наблюдением за восстановлением уровня.

При вскрытии напорных самоизливающихся вод проходка скважин временно приостанавливается для определения статического уровня во-

доносного горизонта, что достигается путем наращивания обсадных труб выше поверхности земли до прекращения самоизлива или же подключением манометра к герметично закрытому оголовку скважины. Начало и прекращение фонтанирования скважины фиксируются в буровом журнале.

3. Наблюдения за поглощением промывочной жидкости в скважинах дают возможность судить об относительной водопроницаемости пересекаемых скважиной пород и о вскрытии новых водоносных горизонтов.

Поглощение промывочной жидкости в одних случаях может быть обусловлено вскрытием водопроницаемых «сухих» пород, а в других — водоносных.

При вскрытии «сухих» пород скважина довольно быстро осушается до забоя после прекращения подачи промывочной жидкости, и уровень в ней восстанавливается.

Наоборот, вскрытие водоносных пород характеризуется установлением уровня на определенной глубине, которая контролируется путем оттартывания промывочной жидкости и последующим наблюдением за восстановлением уровня воды в скважине.

По интенсивности поглощения промывочной жидкости в процессе бурения можно судить о величине относительной водопроницаемости пород.

4. Наблюдения за температурой в скважинах проводятся в процессе бурения, но главным образом — после окончания бурения скважины, когда через некоторое время (один-два месяца) восстановится нарушенный бурением тепловой режим пород и подземных вод. На это обстоятельство особенно следует обращать внимание при геотермических наблюдениях в скважинах, расположенных в районе развития многолетней мерзлоты. Температура подземных вод и пород измеряется с помощью ленивых термометров и других приборов, подробное описание которых приводится в гл. XXXI.

Температурные наблюдения, проводимые в ходе бурения скважины, дают возможность косвенным путем, — по измерению температуры выходящей промывочной жидкости, судить о глубине залегания вскрываемого водоносного горизонта. Момент вскрытия водоносного горизонта отмечается тем отчетливее, чем больше разности 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.

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

При вскрытии водоносного горизонта одновременно с изменением температуры выходящего глинистого раствора изменяется и его состав, что́ 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 бурового раствора.

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

Если необходимо отобрать пробу воды для характеристики истинного химического состава подземных вод, следует прекратить бурение и произвести откачку воды из скважины до ее осветления. Обычно это делается тогда, когда производится оттартывание воды из скважины для выяснения положения статического уровня водоносного горизонта.

В режимных гидрогеологических скважинах, оборудованных фильтрами и обсаженных трубами, отбор проб воды на химический анализ должен производиться после обязательной прокачки скважины или оттартывания из нее воды в объеме, в полтора-два раза и более превышающем количество воды, заключенное в скважине.

Объем пробы определяется характером и назначением анализа (см. гл. IV).

Отбор проб воды с заданной глубины производится с помощью специальных приборов-водоносов и пробоотборников (см. гл. XXXI).

В процессе бурения скважины необходимо наблюдать за возможными газопроявлениями. Наличие пузырьков газа в выходящей промывочной жидкости должно обязательно фиксироваться в буровом журнале.

При свободном газовыделении проба газа отбирается из выходящей промывочной жидкости с помощью специальной воронки; проба растворенного газа берется с помощью пробоотборников и дегазаторов различных конструкций (см. гл. XXXI).

Измерение температуры и статического уровня подземных вод, а также отбор проб воды и газа на химические анализы удобно производить во время опытных и пробных откачек из буровых скважин.

6. Пробные и опытные откачки производятся для определения коэффициента фильтрации и водообильности водоносных горизонтов, вскрываемых скважиной.

Для откачки воды из скважины применяются насосы различных конструкций (см. гл. XXIX), с помощью которых уровень воды в скважине понижается и устанавливается на той глубине, на которой в скважину из водоносного горизонта притекает столько воды, сколько ее откачивается.

При откачке воды из скважины вокруг нее в водоносном горизонте создается депрессионная воронка, форма и размеры которой зависят от степени водопроницаемости водоносных пород и от величины понижения уровня воды в скважине. В слабоводопроницаемых породах депрессионная воронка формируется гораздо медленее и имеет меньший диаметр по сравнению с воронкой, образовавшейся в сильноводопроницаемых породах.

Откачка воды из скважины продолжается до тех пор, пока при постоянном расходе откачиваемой воды не будет достигнут постоянный динамический уровень. По данным наблюдения за положением установившегося уровня воды в скважине и количеством откачиваемой воды производится расчет коэффициента фильтрации водоносного горизонта и характеризуется его водообильность по удельному расходу.[1] Под удельным расходом понимается количество воды, откачиваемое из скважины, отнесенное к единице понижения уровня воды в скважине.

---

[1] Коэффициент фильтрации может быть рассчитан и при неустановившемся уровне воды в скважине (см. Гиринский, 1950).

Для более точного определения коэффициента фильтрации и удельного расхода пробные и опытные откачки проводятся при 2—3 понижениях уровня воды в скважине.

Для проведения опытных и пробных откачек из водоносных горизонтов, приуроченных к неустойчивым породам, скважины оборудуются фильтрами для закрепления водоносных пород от обваливания (см. гл. XXX).

Откачка из водоносных горизонтов, приуроченных к неустойчивым породам, проводится от меньшего понижения к большему, в устойчивых породах откачку рекомендуется производить в обратном порядке — от максимального понижения к минимальному. Такая методика проведения откачек создает более благоприятные условия для опробования водоносного горизонта и действительной характеристики его фильтрационных свойств.

Перед началом откачки скважину необходимо предварительно промыть, особенно если она проходилась с применением глинистого раствора. Промывка скважин осуществляется путем проведения длительного пробного тартания, кратковременных (1—2 смены) мощных откачек или интенсивной прокачкой чистой воды, закачиваемой в скважину через буровой насос и колонну штанг, спущенную до забоя.

После промывки скважины производят наблюдения за восстановлением статического уровня опробуемого водоносного горизонта, уточняют его истинное положение и приступают к проведению пробной или опытной откачки.

Пробные откачки производятся главным образом из одиночных скважин для ориентировочной оценки водообильности водоносного горизонта и его фильтрационных свойств. Они производятся при двух понижениях уровня. Общая продолжительность их для сильнопроницае-

Таблица IX-3

Продолжительность пробных и опытных откачек (в сменах)

Литологический состав водоносных пород	Коэффициент фильтрации, *м/сутки*	Удельный дебит, *л/сек*	Характер водоносного горизонта	Средняя продолжительность откачек при каждом понижении, в сменах	
				пробные	опытные
Скальные сильно трещиноватые и гравийно-галечниковые породы с незначительной примесью мелких частиц	60—70 и более	5—10 и более	напорный безнапорный	1—2 2—3	6—9 9—12
Скальные трещиноватые породы, мел, гравийно-галечниковые породы со значительной примесью мелких частиц, гравелистые разнозернистые пески	от 60 до 20	от 5—10 до 1,0	напорный безнапорный	2—4 3—5	9—12 12—18
Скальные слаботрещиноватые породы (доломиты, мергели, сланцы), мел, разнозернистые пески	от 20 до 5	от 1,0 до 0,5—0,1	напорный безнапорный	3—5 4—6	12—18 15—21
Мелкозернистые неоднородные пески	менее 5	от 0,5 до 0,01	напорный безнапорный	4—6 5—7	12—18 15—24

мых пород (по М. Е. Альтовскому) составляет от одной до трех восьмичасовых смен; для слабоводопроницаемых — четыре—семь смен (табл. IX-3).

Наблюдения за положением динамического уровня в скважине и количеством откачиваемой воды ведутся регулярно, не реже чем через один час. Установившийся уровень воды в скважине при откачке выдерживается не менее 6—8 часов, причем разница в замерах за это время должна быть не более 1—2 *см*.

Динамический уровень в скважине замеряется с помощью гидрогеологических приборов; расход определяется объемным способом, по скорости наполнения мерного бака или путем применения расходомеров и водосливов (см. гл. XXXI).

При объемном способе измерения расхода для уменьшения ошибки замера время наполнения мерного сосуда должно быть не менее 20 сек.

Опытные откачки из одиночных скважин, и особенно из куста скважин, производятся при детальных гидрогеологических исследованиях. Опытные откачки из одиночных скважин дают менее надежные результаты, чем откачки из куста, но в целях экономии средств они применяются гораздо чаще, чем кустовые.

Опытные откачки из одиночных скважин проводятся при трех понижениях уровня воды в скважине, причем минимальное понижение должно быть по возможности не менее 1 *м*, максимальное — не менее 2—3 *м*. Опытная откачка, так же как и пробная, начинается после установления статического уровня опробуемого водоносного горизонта. Продолжительность каждого понижения в данном случае берется несколько большей, чем при пробных откачках (табл. IX-3).

Кустовая откачка дает возможность, кроме определения коэффициента фильтрации и удельного расхода, получить данные о размере и характере депрессионной воронки (величина радиуса влияния), а также установить характер взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами.

Куст скважин состоит из центральной скважины, из которой непосредственно производится откачка воды, и нескольких наблюдательных скважин.

Наблюдательные скважины располагаются по двум лучам в направлениях, перпендикулярном и параллельном потоку подземных вод. Число скважин на луче может быть различным (1 — 3 и более); оно зависит от особенностей гидрогеологического разреза, количества водоносных горизонтов, глубины залегания опробуемого водоносного горизонта, стадии и детальности работ.

По лучу скважины располагаются в определенном порядке на различных расстояниях, зависящих от водопроницаемости пород водоносного горизонта (табл. IX-4) (по М. Е. Альтовскому).

При опытной откачке из куста наблюдения проводятся в той же последовательности, что и при пробных и опытных откачках из одиночных скважин. По наблюдательным скважинам в определенной очередности, с интервалами через 1—2 часа, ведутся наблюдения за понижением и установлением уровня.

Опытная откачка из куста проводится при трех понижениях уровня. Общая продолжительность откачки может быть ориентировочно определена по приведенной выше табл. IX-3.

В ходе проведения опытных откачек отбираются пробы воды на химический и, в зависимости от целевого назначения скважины, — бактериологический и газовый анализы.

Таблица IX-4

Расстояние между скважинами на опытном гидрогеологическом кусте

(по М. Е. Альтовскому)

Литологический состав водоносных пород	Коэффициент фильтрации, *м/сутки*	Характер водоносного горизонта	Расстояние наблюдательных скважин от центральной, *м*			Примерная величина радиуса влияния, *м*
			1	2	3	
Скальные сильно трещиноватые породы	60—70 и более	напорный	15—20	30—40	60—80	500 и более
		безнапорный	10—15	20—30	40—60	
Скальные трещиноватые породы	от 60 до 20	напорный	6—8	10—15	20—30	150—250
		безнапорный	5—7	8—12	15—20	
Гравийно-галечниковые породы чистые, без примеси мелких частиц, крупно- и среднезернистые однородные пески	60—70 и более	напорный	8—10	15—20	30—40	200—300
		безнапорный	4—6	10—15	20—25	
Гравийно-галечниковые породы с значительной примесью мелких частиц	60—20	напорный	5—7	8—12	15—20	100—200
		безнапорный	3—5	6—8	10—15	
Неоднородные разнозернистые и мелкозернистые пески	20—5	напорный	3—5	6—8	10—15	80—150
		безнапорный	2—3	4—6	8—12	

Пробы воды на химический анализ обычно отбираются при первом и третьем понижениях, что дает возможность проследить характер изменения качественного состава воды при откачке.

Во время откачки проводятся также наблюдения за температурой откачиваемой воды и температурой воздуха, отмечается наличие механических взвесей в воде, скорость ее осветления, выделение свободного газа, выпадение осадков и другие явления.

В конце каждой откачки, независимо от того, пробная она или опытная, проводятся наблюдения за восстановлением уровня воды в скважине.

На кусте скважин эти наблюдения проводятся не только в центральной, но и во всех наблюдательных скважинах.

Для контроля за правильностью проведенной откачки строятся графики: а) колебания расхода откачиваемой из скважины воды во времени; б) колебания динамического уровня воды в скважине во времени; в) зависимости расхода откачиваемой воды от понижения уровня при установившемся движении воды к скважине; г) восстановления уровня воды после откачки во времени.

При кустовой откачке строятся дополнительные графики колебания уровня по наблюдательным скважинам как во время откачки, так и после ее прекращения по данным восстановления уровня.

Правильность проведенной откачки контролируется в основном по графику зависимости расхода от понижения (рис. IX-1).

Откачка считается проведенной удовлетворительно тогда, когда эта зависимость имеет характер прямой линии (для напорных вод, случай I) или кривой, слегка выпуклой в сторону оси, на которой откладывается величина расхода (для безнапорных вод, случай II). При получении зависимости иного характера (например, случай III), обусловленной неправильной установкой фильтра или методикой проведения откачки, последнюю следует повторить.

Данные опытных и пробных откачек используются для расчета коэффициента фильтрации по расчетным схемам, приведенным в главе XII.

При выборе расчетных формул следует учитывать: а) однородность литологического состава и трещиноватости пород; б) длину фильтра и мощность водоносного горизонта; в) режим движения воды в водоносном горизонте (ламинарный и турбулентный).

При кустовых откачках, кроме более точного определения фильтрационных свойств опробуемого водоносного горизонта, можно с помощью красящих веществ или электролитов определить действительную скорость движения воды (см. гл. XI).

Опытные нагнетания и наливы в шурфы и скважины находят широкое применение в практике гидрогеологических исследований.

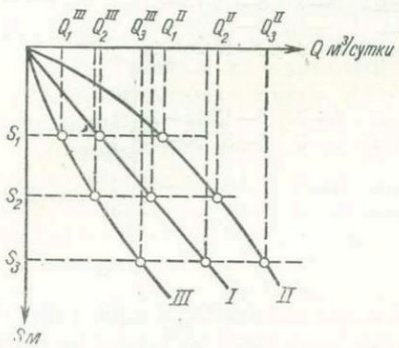


Рис. IX-1. График зависимости расхода воды от понижения уровня при откачке.

I — график откачки из напорного водоносного горизонта; *II* — график откачки из грунтового водоносного горизонта; *III* — график, характеризующий неправильно проведенную откачку.

Опытные наливы в шурфы производятся для определения коэффициента фильтрации «сухих» пород зоны аэрации при залегании зеркала грунтовых вод на глубине не менее 3—5 *м* ниже дна шурфа, в котором производится налив. Сущность этого метода заключается в том, что вода, налитая в шурф, инфильтруется в поры и трещины породы, причем скорость инфильтрации находится в прямой зависимости от фильтрационных свойств породы.

Если в начале опыта инфильтрация воды из шурфа имеет характер неустановившегося движения, то через некоторое время, продолжительность которого зависит от степени водопроницаемости породы, наблюдается стабилизация расхода воды, что дает возможность по результатам опытного налива рассчитать коэффициент фильтрации, исходя из теории установившегося режима движения.

Из всех существующих способов определения коэффициента фильтрации методом налива в шурф наибольшее распространение получили способы А. К. Болдырева, Г. Н. Каменского, Н. С. Нестерова и др., краткое описание которых с расчетными формулами дается в гл. XII.

Следует отметить, что первые два способа (А. К. Болдырева и Г. Н. Каменского) дают обычно завышенные значения коэффициента фильтрации, так как в них не учитывается величина бокового растекания инфильтрующейся в породу воды, а также величина капиллярного давления, действующего на границе зоны растекания. В связи с этим, указанные способы рекомендуется применять главным образом для песчаных грунтов, где капиллярное давление не имеет существенного значения.

С другой стороны, способ Г. Н. Каменского с успехом может быть применен для определения коэффициента фильтрации мелкозернистых песков и супесей, при условии обработки результатов опытного налива по методу Н. К. Гиринского [1953], где природа явления инфильтрации учитывается наиболее полно.

По Н. К. Гиринскому, коэффициент фильтрации рассчитывается по формуле

$$K = \xi \cdot Q, \qquad \text{(IX-5)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
Q — установившийся расход, *л/мин*;
ξ — поправочный коэффициент, зависящий от высоты слоя воды в зумпфе (H), высоты капиллярного поднятия ($h_к$) и диаметра металлического кольца.

Величина поправочного коэффициента легко может быть найдена по табл. IX-5. Высота капиллярного поднятия определяется опытным путем или по табличным данным (гл. II, табл. II-5).

Таблица IX-5

Значения поправочного коэффициента ξ (по Н. К. Гиринскому)

$H+h_к$, *м*	Диаметры цилиндров, *см*										
	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
1,0	1,06	1,00	0,94	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,69	0,66	0,63
0,95	1,12	1,05	0,99	0,93	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72	0,69	0,66
0,90	1,18	1,11	1,04	0,98	0,93	0,88	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70
0,85	1,25	1,17	1,10	1,04	0,98	0,93	0,88	0,84	0,80	0,77	0,73
0,80	1,33	1,24	1,17	1,10	1,04	0,99	0,94	0,89	0,85	0,81	0,77
0,75	1,41	1,32	1,24	1,17	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82
0,70	1,51	1,41	1,33	1,25	1,18	1,12	1,06	1,00	0,96	0,91	0,87
0,65	1,62	1,52	1,42	1,34	1,26	1,19	1,13	1,07	1,02	0,98	0,93
0,60	1,75	1,64	1,54	1,44	1,36	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,00
0,55	1,90	1,78	1,66	1,56	1,46	1,38	1,31	1,25	1,18	1,13	1,07
0,50	2,08	1,93	1,80	1,70	1,60	1,51	1,43	1,35	1,28	1,22	1,16
0,45	2,28	2,12	1,98	1,87	1,75	1,64	1,55	1,47	1,40	1,33	1,27
0,40	2,53	2,36	2,20	2,05	1,92	1,81	1,71	1,62	1,54	1,46	1,38
0,35	2,84	2,63	2,45	2,29	2,14	2,02	1,90	1,80	1,70	1,61	1,53
0,30	3,22	2,99	2,78	2,59	2,42	2,27	2,13	2,01	1,91	1,81	1,72
0,25	3,74	3,44	3,19	2,97	2,77	2,60	2,45	2,31	2,17	2,05	1,94
0,20	4,42	4,07	3,78	3,50	3,24	3,03	2,84	2,67	2,52	2,38	2,26
0,15	5,39	4,94	4,56	4,24	3,94	3,67	3,41	3,18	2,99	2,81	2,65
0,10	6,93	6,30	5,78	5,33	4,94	4,60	4,28	3,99	3,71	3,47	3,25

Способ Н. С. Нестерова применяется в основном в глинистых грунтах и предусматривает установку в зумпфе опытного шурфа двух концентрически расположенных металлических колец (см. рис. XII-50).

Кольца задавливаются в дно зумпфа на глубину 2—5 *см*, после чего в них наливается вода на высоту 10—12 *см*. Непременным условием правильного проведения опыта является поддержание постоянного уровня воды в кольце.

Последнее достигается применением сосудов Мариотта или использованием других регулирующих устройств (см. рис. XII-49).

Опыт продолжается до полной стабилизации расхода воды, инфильтрующейся через внутреннее кольцо.

Величина коэффициента фильтрации рассчитывается по формулам (XII-126) и (XII-127).

Опытные наливы в скважины проводятся с целью характеристики водопроницаемости и удельного водопоглощения рыхлых и трещиноватых пород, главным образом — неводоносных, находящихся в зоне аэрации.

При опытном наливе в скважину из мерного бака подается вода, уровень которой поддерживается на заданной отметке с помощью регулирующего устройства.

Опытные наливы применяются как для одиночных скважин, так и для куста скважин; в последнем случае имеется возможность наиболее точно установить форму и размеры воронки растекания.

Наблюдения за положением динамического уровня в центральной и наблюдательных скважинах ведутся с помощью тех же гидрогеологических приборов, что и при опытных откачках (см. гл. XXXI).

Опытный налив воды в скважину осуществляется при трех-четырех повышениях уровня, причем каждому новому положению уровня должен соответствовать установившийся постоянный расход воды.

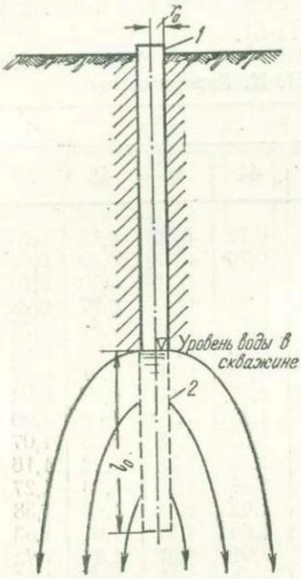


Рис. IX-2. Опытный налив в скважину в зоне аэрации без подпора инфильтрующейся воды.

1 — скважина; *2* — фильтр.

В ходе проведения опытного налива строятся графики: а) зависимости фильтрационного расхода воды от времени, для каждого повышения уровня; б) изменения уровня воды в наблюдательных скважинах во времени; в) зависимости фильтрационного расхода от повышения уровня воды в скважинах.

Коэффициент фильтрации по данным опытных наливов рассчитывается по формулам, применяемым для опытных откачек. Отличие заключается лишь в том, что в формулы расчета коэффициента фильтрации по данным опытных откачек вместо величин понижения уровня подставляются величины повышения уровней воды в скважине, а вместо расхода откачиваемой воды — установившийся расход воды, поступающей в скважину (см. гл. XII).

В тех случаях, когда налив в одиночную скважину производится на коротком интервале в зоне аэрации без подпора инфильтрующейся воды (рис. IX-2), коэффициент фильтрации может быть определен по формуле Насберга (формула (XII-124).

Величина удельного водопоглощения при наливе рассчитывается по следующей формуле, справедливой для ламинарного режима движения

$$q_л = \frac{Q}{l_0 H_0} \qquad \text{(IX-6)}$$

где $q_л$ — удельное водопоглощение, *л/мин*;
Q — установившийся расход, *л/мин*;
H_0 — напор воды в скважине над статическим уровнем, *м*;
l_0 — длина опробуемого интервала, *м*;

При проведении опытных наливов необходимо учитывать возможность кольматации трещин и пор в стенках скважины. Кольматация приводит к искаженному определению величины водопроницаемости пород.

К опытным наливам следует прибегать в тех случаях, когда необходимо произвести оценку водопроницаемости пород зоны аэрации, или когда по техническим трудностям нельзя сделать откачку.

Опытные нагнетания применяются в основном для оценки удельного водопоглощения и водопроницаемости водоносных трещиноватых скальных пород. Это имеет огромное значение в гидротехническом строительстве при решении вопроса о фильтрационных потерях из водохранилищ

и каналов, а также при искусственной цементации трещиноватых пород, залегающих в основании и боковых примыканиях плотин.

При опытном нагнетании производится зональное определение удельного водопоглощения, для чего в опробуемый интервал скважины,

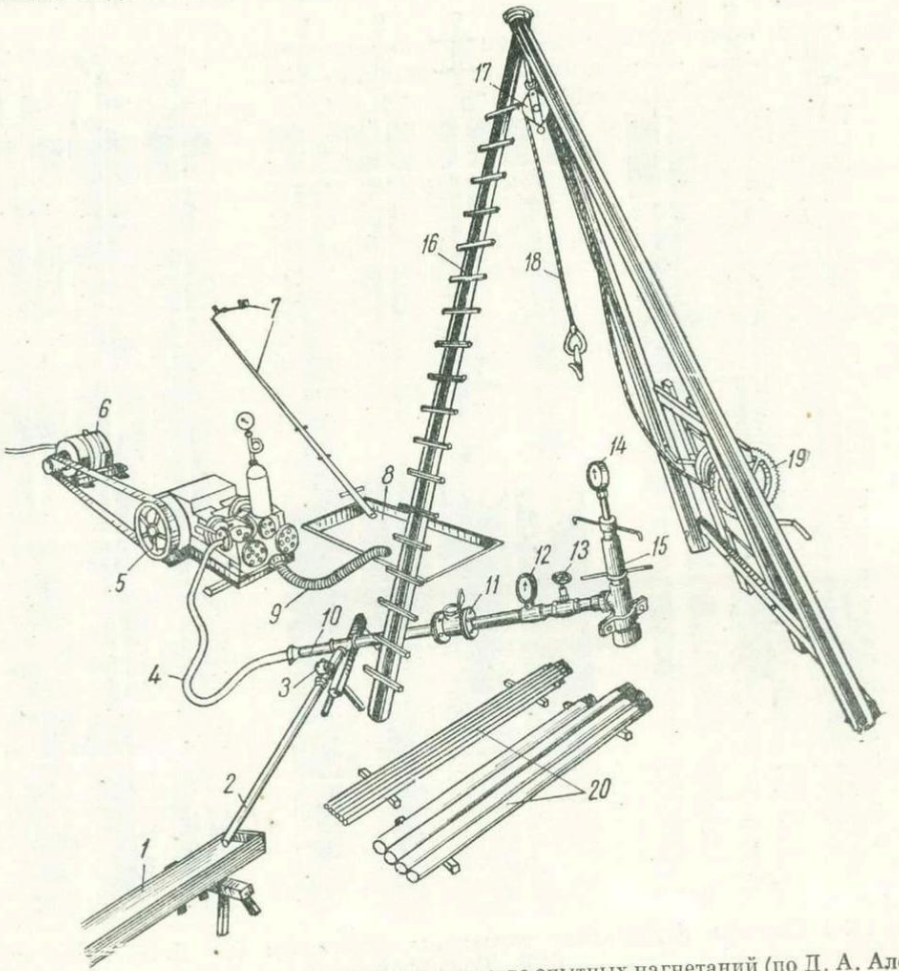


Рис. IX-3. Общий вид установки при производстве опытных нагнетаний (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).

1 — лоток водоотводящий; *2* — труба сбросная; *3* — вентиль сбросной; *4* — рукав насоса напорный; *5* — насос; *6* — электродвигатель; *7* — агрегат насосный и линия водопроводная, подающие к скважине воду; *8* — приямок для воды; *9* — рукав насоса всасывающий; *10* — патрубок распределительного устройства подводящий; *11* — водомер; *12* — манометр; *13* — вентиль перекрывающий; *14* — манометр, показывающий давление в опробываемом интервале скважины; *15* — головка тампона; *16* — тренога; *17* — блок; *18* — канат; *19* — лебедка копровая; *20* — трубы и штанги колонн тампона.

ограниченный тампоном, нагнетается под давлением вода с помощью насоса, снабженного специальным распределительным устройством для регулирования давления и расхода (рис. IX-3).

Наблюдения за величиной рабочего давления ведутся по манометру, а расход нагнетаемой воды определяется с помощью водомера.

Опытные нагнетания по стволу скважины проводятся, как правило, при одинаковой длине интервала (обычно 5 *м*) и при одинаковом напоре на соответствующей ступени давления.

При опытном нагнетании создают три-четыре ступени давления — в 5, 10, 15 и 20 *м* водяного столба, причем на каждой ступени нагнетание продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто постоянство расхода

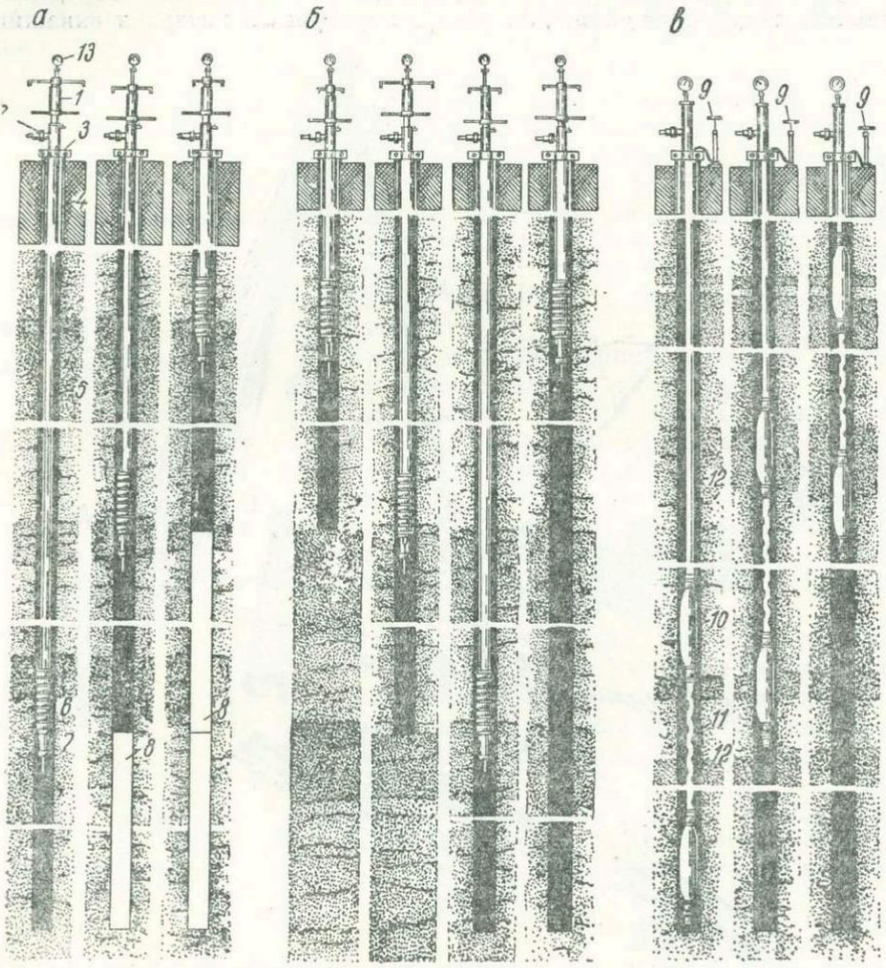


Рис. IX-4. Способы опробования скважины нагнетанием (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).

1 — головка тампона; *2* — патрубок распределительного устройства; *3* — хомут; *4* — труба обсадная; *5* — колонна труб тампона; *6* — тампон; *7* — трубка манометра; *8* — интервал скважины затампонированный; *9* — насос воздушный; *10* — баллон пневматического тампона; *11* — патрубок перфорированный; *12* — трубка воздушная; *13* — манометр.

а. Способ «снизу—вверх» — скважина бурится до проектной глубины. Опробование производится одинарным тампоном по интервалам от забоя скважины к устью с последовательным тампонированием опробованного интервала.

б. Способ «сверху-вниз» — опробование производится одинарным тампоном по интервалам по мере бурения скважины на заданную величину интервала. По достижении проектной глубины скважины иногда производится опробование нагнетанием всей толщи исследуемых пород (*а*).

в. Способ нагнетания двойным тампоном. Опробование производится в скважине, пробуренной до проектной глубины с изоляцией верхней и нижней границы интервала. Нагнетание может производиться в любом порядке — «сверху-вниз» или «снизу-вверх».

воды в течение не менее одного часа. Величина давления на рабочем интервале задается с учетом превышения манометра над статическим уровнем воды в скважине.

Зональное опробование скважины при нагнетании производится с помощью одинарных или двойных тампонов (рис. IX-4).

Одинарные тампоны используются при опробовании скважин по двум способам — «сверху вниз» и «снизу вверх». В первом случае опытные нагнетания чередуются с бурением скважин; после очередного нагнетания скважина добуривается на длину опробуемого интервала, а тампон перемещается на верхнюю границу нового интервала, в котором предстоит проводить нагнетание.

Двойные тампоны дают возможность проводить нагнетание на любом участке скважины, особенно гидравлические тампоны (пакеры), которые могут быть установлены даже в слабосцементированных породах. В этом отношении они выгодно отличаются от одинарных тампонов.

В процессе производства опытного нагнетания строятся: а) график зависимости приведенного расхода [1] от времени; б) график приведенного расхода от давления.

Построение второго графика дает возможность судить о характере движения воды в опробуемом интервале, что необходимо учитывать при расчете удельных водопоглощений.

При ламинарном режиме движения удельное водопоглощение рассчитывается также, как и при наливах (формула IX-6).

В случае турбулентного режима движения удельное водопоглощение определяется по следующей формуле

$$q_т = \frac{Q}{l_0\sqrt{H_0}}, \qquad \text{(IX-7)}$$

где обозначения те же, что и в формуле (IX-6).

После определения величин удельного водопоглощения строится основной график изменения удельного водопоглощения с глубиной.

Нагнетание в зону, ограниченную тампонами, с точки зрения динамики подземных вод, аналогично откачке из несовершенной скважины. Расчет коэффициента фильтрации по данным опытного нагнетания производится по тем же формулам, что и при опытных откачках или по специальным формулам (гл. XII).

Коэффициент фильтрации может быть найден также по формулам В. В. Куриленко [1954]:

$$K_л = 0{,}527\, q_л \sqrt{\frac{l_0}{l}} \lg \frac{R}{r} \qquad \text{(IX-8)}$$

и

$$K_т = 0{,}229\, q_т \sqrt{\frac{l_0}{rl}}, \qquad \text{(IX-9)}$$

где $K_л$ — коэффициент фильтрации при ламинарном режиме движения, *м/сутки*;

$K_т$ — коэффициент фильтрации при турбулентном режиме, *м/сутки*;

$q_л$ — удельное водопоглощение при ламинарном режиме, *л/мин*;

$q_т$ — удельное водопоглощение при турбулентном режиме, *л/мин*;

l_0 — длина опробуемого интервала, *м*;

R — радиус влияния скважины, определяемый по обычным формулам, *м* (см. гл. XIII);

r — радиус скважины, *м*;

---

[1] Под приведенным расходом следует понимать расход воды, приходящийся на 1 *пог. м* опробуемого интервала.

l — мощность активной зоны, *м*, которая в случае расположения опробуемого интервала в средней части водоносного пласта определяется как $l = l_0 + 1{,}5\ H_0$, а для верхней или нижней части пласта как $l = l_0 + 0{,}9\ H_0$ (рис. IX-5), где H_0 — то же, что и в формуле (IX-6).

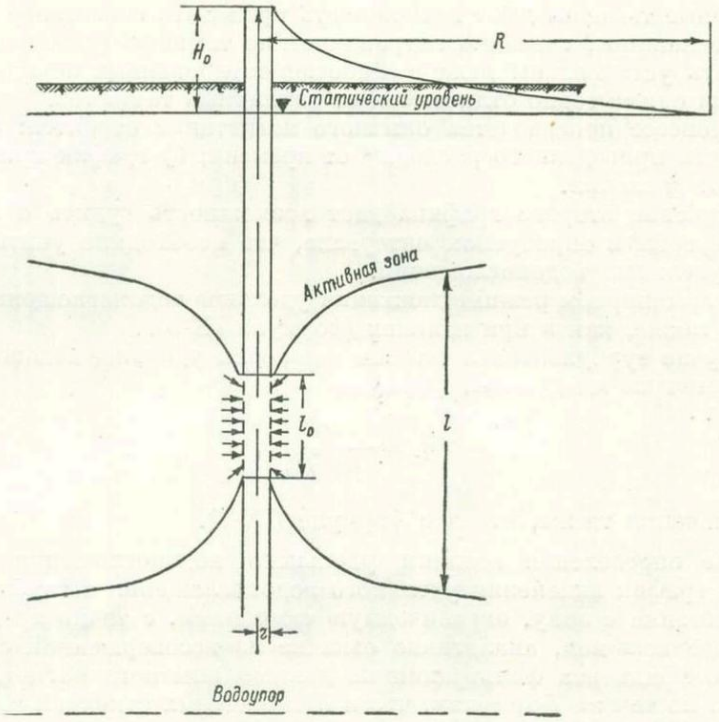


Рис. IX-5. Схема нагнетания воды в скважину при расположении опробуемого интервала в средней части водоносного горизонта.

Нагнетание воды в скважину, так же как и налив, может вызвать интенсивный кольматаж стенок скважины на опробуемом интервале, в связи с чем необходимо перед началом опытного нагнетания скважину тщательно очистить от шлама путем желонирования и промывки чистой водой

Особенности гидрогеологических исследований в глубоких скважинах

Бурение глубоких скважин проводится главным образом в следующих целях: а) для изучения глубинного геологического строения и направления нефтепоисковых работ в малоисследованных районах (опорные скважины); б) для разведки полезных ископаемых: нефти, газа, воды; в) для эксплуатации полезных ископаемых.

Особенности гидрогеологических наблюдений и исследований в глубоких скважинах обусловлены способом бурения с применением глинистого раствора, характером крепления скважин, их конструкцией и зна-

чительной глубиной залегания опробуемых горизонтов, часто превышающей 1000 *м*.

В процессе бурения глубоких скважин, которое осуществляется роторным и турбинным способами, вся скважина бывает заполнена циркулирующим глинистым раствором, отжимающим от забоя и стенок скважины подземные воды пересеченных ею водоносных горизонтов. Поэтому во время бурения часто не получают прямых признаков водоносности пройденных пород, а 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 процессе бурения скважины, кроме наблюдений за водопроявлениями, необходимо получить данные об изменении физико-химических свойств, а также о балансе циркулирующего глинистого раствора.

Весьма важными данными при изучении гидрогеологических особенностей разреза являются каротажные исследования скважины. Электрокаротаж позволяет уточнить литологический разрез пород, определить положение нефтяных, газовых и водоносных пластов, а также водоупорных слоев, и выявить горизонты с пресной и минерализованной водой (см. стр. 221).

Термокаротаж может дать указание на положение водоносных, газоносных и нефтеносных пластов. Водоносные проницаемые породы (пески, песчаники) обычно характеризуются повышенной по сравнению с глинами теплопроводностью.

После окончания бурения глубоких скважин опробование намеченных горизонтов может производиться двумя способами. Первый способ заключается в опробовании этих горизонтов в незакрепленной скважине, а второй — после крепления стенок скважины обсадной колонной и ее цементации. Применение первого способа возможно только при проходке скважин в устойчивых породах.

Для подготовки незакрепленной скважины к испытанию предварительно устанавливают цементные мосты, изолирующие все вскрытые водоносные горизонты. Установка цементных мостов производится снизу вверх. Опробование после установки цементных мостов ведется в обратном порядке, т. е. сверху вниз. Изоляция уже опробованных верхних горизонтов от нижних осуществляется с помощью пакера (см. гл. XXXI).[1] В нефтяной промышленности при испытании незакрепленных обсадными трубами скважин применяются испытатели пластов, которые спускают в скважину на бурильных трубах и путем создания перепада давления получают приток жидкости или газа из испытуемого пласта. Для определения пластового давления и температуры опробуемого горизонта применяются соответствующие приборы (см. гл. XXXI).

Испытание горизонтов в закрепленной скважине производят после спуска колонны труб и перекрытия цементом всех горизонтов, подлежащих опробованию. После испытания на герметичность обсадной колонны разбуривают цементный стакан и, если колонна спущена не до забоя скважины, вначале испытывают открытую часть, а затем, после установки цементного моста и испытания его на герметичность, перфорируют колонну против горизонта, подлежащего опробованию, и т. д.

Герметичность колонны испытывают нагнетанием воды или снижением уровня. Величина понижения уровня принимается при этом не ме-

[1] Этот способ опробования глубоких скважин почти не применяется. *Научн. ред.*

нее 800 *м* от устья. Нагнетание в скважину жидкости производится под давлением от 50 до 100 *ат*. Колонна считается герметичной, если уровень в скважине за 8 часов наблюдений поднимается не более чем на 3 *м* или давление в течение 30 минут понижается не более чем на 5 *ат*.

Перед вскрытием опробуемого горизонта скважина должна быть подготовлена следующим образом:

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

2) скважина промыта до забоя и заполнена чистой водой;

3) забой скважины должен быть не менее чем на 3 *м* ниже нижней границы перфорации;

4) колонна должна быть прошаблонирована;

5) устье скважины оборудовано задвижкой высокого давления со штурвалом ее управления, выведенным за пределы буровой, фонтанной арматурой или тройником с двумя трубами.

Для вскрытия опробуемого пласта обсадную колонну и цементное кольцо за ней простреливают при помощи перфораторов, которые спускают в скважину на каротажном кабеле. Наиболее часто применяются пулевые (СП-4, СП-5, ППХ-4) и торпедные (ТПК-37, ТПК-32 и ТПК-22) перфораторы, характеристику которых можно найти в специальной литературе. За один спуск пулевой перфоратор простреливает 6—12 отверстий диаметром 1,1—1,5 *см*. Торпедные перфораторы заряжают разрывными снарядами диаметром 37 и 22 *мм*. Прострел осуществляют из расчета 8—10 пулевых [1] или 2—4 торпедных отверстия на 1 *пог. м*.

Для разрушения пород с целью повышения дебита скважины в плотных породах иногда применяется торпедирование, т. е. производство взрыва специальными торпедами.

После перфорации для возбуждения опробуемых горизонтов проводят промывку скважины чистой водой через колонну труб, спускаемую на глубину прострела.

Лучшие результаты получаются при спуске долота, дающего сильную струю, перпендикулярную к стенкам скважины. После промывки скважины, которая осуществляется до прекращения выноса глины, приступают к откачке желонкой, свабом или эрлифтом. В зависимости от задач бурения методика последующих гидрогеологических наблюдений в процессе опробования скважины различна.

В опорных и разведочных нефтяных скважинах опробованию подвергаются водоносные, нефтеносные и газоносные горизонты.[2] При наличии в скважине трех или четырех колонн труб верхние горизонты недоступны для опробования. Выбор интервалов опробования производится по материалам, полученным в процессе бурения, и по данным каротажа. При вскрытии водоносного горизонта предусматривается следующий комплекс исследований:

1) определение дебита при 1—3 понижениях уровня воды в скважине;

2) отбор проб воды для определения солевого, газового и бактериального их состава;

3) изучение газового фактора и упругости газа;

---

[1] Прострел отверстий пулевым перфоратором не всегда дает положительные результаты. *Научн. ред.*

[2] Опробование опорных скважин производится в соответствии с указаниями «Временной инструкции по опробованию опорных скважин», составленной ВНИГРИ, ЦНИИТЭнефть, Москва, 1956.

4) определение статического уровня и пластового давления подземных вод

Все данные откачки заносятся в журнал (приложение XV). Качество проведенных откачек устанавливается по графикам зависимости дебита от понижения. В конце откачки отбираются пробы воды на бактериологический, радиологический и химический анализ и пробы газа.

При положении статического уровня ниже поверхности земли отбор проб воды производится или из желонки, или с помощью глубинного пробоотборника. Для отбора проб газа рекомендуется применение глубинных пробоотборников (см. гл. XXXI).

При самоизливе пробы воды отбираются с устья скважины. После отделения свободного газа от воды в газоотделителе проба его отбирается из газоотводной трубки. Растворенный газ извлекается из пробы воды, взятой из водосливного отверстия газоотделителя вакуумной бутылью Савченко (см. гл. XXXI). При отборе проб газа отмечается его количество, содержащееся в одном литре воды. При отборе проб растворенного газа вакуумной бутылью Савченко извлекается не весь газ, а только первая фракция его. Полное же количество растворенного в воде газа рассчитывается по несколько измененной для упрощения расчета формуле Савченко

$$V = \frac{V_2'}{V_m}\left(\frac{V_m}{V_2}\alpha + 1\right), \qquad \text{(IX-10)}$$

где V — полное количество растворенного в воде газа;
V_2' — объем извлеченного газа;
α — коэффициент растворимости газа;
V_2 — объем газовой фазы;
V_m — объем воды, отобранной в вакуумную бутыль.

Все условия отбора проб заносятся в специальный журнал (приложение XV).

Для определения упругости растворенного в пластовой воде газа, кроме состава газа, следует установить газонасыщенность подземных вод (газовый фактор), т. е. содержание газа в 1 *л* воды при нормальных условиях ($t = 0°$, $p = 1$ *атм*). Газонасыщенность определяется или глубинным пробоотборником, или при замере дебита воды и газа на поверхности земли. Объемное соотношение отобранных проб газа (свободного и растворенного) и воды из пробоотборника представляет газонасыщенность пластовой воды. При самоизливе для отделения газа от воды в зависимости от дебита скважины устанавливают газоотделители различных конструкций и габаритов. При дебите, превышающем 2 *л/сек*, и значительной газонасыщенности воды устанавливаются газоотделители типа нефтяных трапов, описанные в соответствующих руководствах [А. И. Жуков, Б. Чернов и др., 1954]. При опробовании скважин с дебитом 0,3—2 *л/сек* успешно использовался газоотделитель конструкции ВСЕГЕИ [М. С. Гуревич, 1956]. В случае слабого самоизлива (дебит менее 0,1 *л/сек*) газонасыщенность воды замеряется по скорости заполнения сосуда известной емкости.

Способы замера дебита свободного газа, отделенного от воды с помощью газоотделителя, указаны в гл. XXXI.

Упругость растворенного — в пластовых условиях — в воде газа рассчитывается по данным состава газа и газонасыщенности воды. Пар-

циальное давление отдельных компонентов газовой смеси рассчитывается по формуле Генри

$$P_{\text{н}} = \frac{V}{a}, \tag{IX-11}$$

где $P_{\text{н}}$ — парциальное давление газа, *атм*;
V — объем растворенного газа, *см*^{3};
a — коэффициент растворимости, *см*^{3}/*атм*.

Если при расчете по формуле Генри будет установлено, что упругость растворенного газа превышает пластовое давление воды, то значит в пласте, кроме воды, имеется скопление свободного газа, и расчет упругости растворенного газа в этом случае следует производить по формуле

$$P_{\text{н}} = \frac{V_1}{a+n}, \tag{IX-12}$$

где

$$V_1 = \frac{V}{a} - \frac{P \cdot n}{100}, \tag{IX-13}$$

где P — пластовое давление, *атм*;
n — процентное содержание данного компонента в газовой смеси.

Общая упругость растворенного газа, согласно закону Дальтона, рассчитывается по сумме парциальных давлений. Коэффициенты растворимости определяются по таблицам и графикам с учетом минерализации воды и температуры на глубине пласта (приложение XII).

Для определения упругости растворенного газа опытным путем применяется газопьезометр ВСЕГЕИ (см. гл. XXXI). Упругость растворенного газа этим прибором определяется с помощью пружинного манометра с точностью до 1 *ат*.

Определение пьезометрического уровня воды в фонтанирующей скважине производится путем измерения избыточного давления манометром. Расчет уровня производится по формуле

$$H = \frac{10P}{\gamma} \tag{IX-14}$$

где H — положение статического уровня над устьем скважины, *м*;
P — избыточное давление, *атм*;
γ — удельный вес воды.

Если в скважине отмечаются газопроявления, то при замере избыточного давления свободный газ, накапливающийся в верхней части ствола, периодически удаляется. Влияние газовой подушки на значение уровня можно определить и расчетным путем — по формулам, предложенным Е. Е. Керкисом [1956].

В случае отсутствия самоизлива наблюдения за уровнем производятся аппаратом Яковлева или уровнемером (см. гл. XXXI). Статический уровень можно определить также по индикаторным кривым зависимости дебита от динамического уровня. Пластовое давление или рассчитывается по формуле (VIII-1) или определяется глубинным регистрирующим манометром.

При самоизливе спуск манометра осуществляется при герметично закрытом устье через лубрикатор или через сальник. Замер температуры на глубине пласта производится при одновременном спуске 2—3 максимальных термометров, помещенных в герметичную оправу (см. гл. XXXI),

на глубину интервала прострела. При самоизливе замер температуры воды осуществляется также на устье скважины родниковым термометром.

В целях установления оптимального технологического режима добычи нефти и газа на промыслах ведутся систематические исследования на нефтяных и газовых скважинах. Поскольку залежи нефти и газа обычно тесно связаны с подземными водами, все наблюдения, проводимые в промысловых условиях, включают в себя и изучение подземных вод. Исследования нефтяных и газовых скважин описаны в руководствах по эксплуатации нефтяных и газовых месторождений [А. И. Жуков и др., 1954; В. Т. Машков, 1957 и др.].

Применение некоторых геофизических методов при изучении гидрогеологических разрезов скважин

При изучении гидрогеологических разрезов в настоящее время широко применяются геофизические методы исследования скважин — каротаж. В частности, для выделения водоносных и водоупорных горизонтов, а также для определения пористости горных пород, минерализации и мест притоков пластовых вод в скважину с успехом используются электрические, радиоактивные и термические методы каротажа.

Общие сведения о применяемых методах каротажа

Из электрических методов в гидрогеологии применяются главным образом каротаж сопротивления (*КС*) и естественного электрического поля (*ПС*).

В основу метода *КС* положено свойство горных пород и руд в различной степени проводить электрический ток. Это свойство определяется величиной удельного электрического сопротивления (ϱ — величиной, обратной величине электропроводности—γ). За единицу удельного сопротивления породы принимается сопротивление одного кубического сантиметра этой породы — омсантиметр (*ом см*). В практике полевых работ единицей измерения является омметр (*ом м*). Один омметр равен 100 омсантиметрам.

По характеру электропроводности все горные породы и руды подразделяются на электронные и ионные проводники.

К первой группе принадлежат некоторые руды (большинство сульфидных и магнетит-гематитовые) и небольшое число горных пород и минералов (графит, шунгит, антрацит). Электропроводность их зависит главным образом от присутствия минералов, имеющих высокую электронную проводимость металлического типа, и от структуры и текстуры выделений этих минералов.

Ко второй группе принадлежит большинство горных пород и в том числе породы осадочного комплекса, электропроводность которых обусловлена пористостью, количеством содержащейся в порах воды и ее минерализацией, поскольку удельное сопротивление породообразующих минералов весьма высокое.

Каротаж *КС* практически сводится к определению кажущегося удельного электрического сопротивления ($\varrho_к$) вдоль ствола скважины. Изменение $\varrho_к$ по скважине непрерывно записывается автоматическим или полуавтоматическим способом на каротажной бумаге в виде кривой, которая и называется диаграммой *КС*.

Кажущееся сопротивление $\varrho_к$, в отличие от удельного сопротивления ϱ однородной породы, соответствует неоднородной среде, состоящей из комплекса пород. Оно также измеряется в омметрах и омсантиметрах.

Для измерения $\varrho_к$ в скважину на каротажном кабеле опускают так называемый зонд, представляющий собой два питающих электрода A и B и один приемный электрод M, или два приемных M и N и один питающий A; при этом другой приемный или питающий электрод находится на поверхности земли (рис. IX-6). В зависимости от взаимного расположения этих электродов различают градиент-зонды и потенциал-зонды (рис. IX-7). Для обозначения зонда записывают наименование его электродов в порядке их расположения в скважине сверху вниз. Между электродами проставляют расстояния в метрах. Например, обращенные градиент-зонды записывают так: $A2$, $5MO$, $25N$ и $M2$, $5A$, $0{,}25B$, последовательные градиент-зонды — MO, $25N2$, $5A$ и BO, $25A2$, $5M$; обращенные потенциал-зонды — AO, $25M2$, $5N$ и MO, $25A2$, $5B$ и последовательные потенциал-зонды — $N2$, $5MO$, $25A$ и $B2$, $5AO$, $25M$.

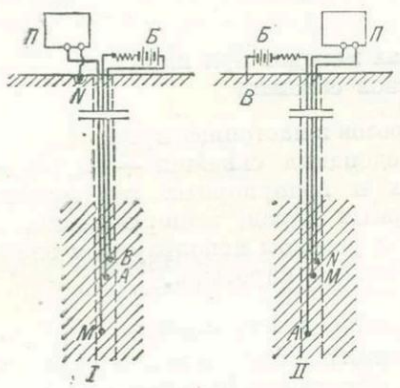


Рис. IX-6. Схема измерения $\varrho_к$ в методе *КС* (по С. Г Комарову).

A и B — питающие электроды; M и N — приемные электроды; $П$ — измерительный прибор; $Б$ — источник тока.

Тип зонда и его размеры подбираются таким образом, чтобы по кривой $\varrho_к$ выделялось наибольшее число пластов разреза и четко определялись их границы; при этом кажущееся сопротивление против пластов по возможности должно соответствовать их истинному сопротивлению. Удовлетворяющий этим требованиям зонд называется стандартным; он используется при каротаже всех скважин района.

Форма кривых $\varrho_к$ градиент- и потенциал-зондов различна. Она изменяется в зависимости, главным образом, от соотношения размеров зонда (L) и мощности пласта (H), а также от истинного сопротивления пласта. Для иллюстрации сказанного приведем сопоставление схематических диаграмм *КС* с гипотетическим геологическим разрезом (рис. IX-8).

На диаграмме *КС* потенциал-зонда (кривая *1*) пласты высокого (низкого) сопротивления большой мощности (при $H > L$) выделяются четкими симметричными аномалиями повышенных (пониженных) значений $\varrho_к$ с максимумом (минимумом), расположенным против центра пласта (пласты b, c, d). Пласты высокого и низкого сопротивления небольшой мощности (при $H < L$) отмечаются на диаграмме *КС* менее четко, минимумом $\varrho_к$ (пласты e и f).

На диаграмме *КС* обращенного (кровельного) градиент-зонда (кривая *2*) пласты высокого (низкого) сопротивления большой мощности (при $H > L$) отмечаются повышенными (пониженными) значениями $\varrho_к$, причем против пласта наблюдается постоянное повышение (понижение) сопротивления от подошвы к кровле. Кривая $\varrho_к$ имеет четко выраженный асимметричный вид. Границы пласта (кровля и подошва) определяются по точкам максимума и минимума кривой $\varrho_к$. Пласты высокого и низкого сопротивления малой мощности (при $H < L$) на кривой $\varrho_к$ достаточно четко определяются соответственно по максимумам и минимумам сопротивления.

Кривая $\varrho_к$ последовательного (подошвенного) градиент-зонда (кривая *3*) против пластов любой мощности является зеркальным изображе-

нием кривой $\rho_к$ обращенного градиент-зонда в плоскости, проходящей через середину пласта параллельно кровле и подошве.

Из вышеприведенного сопоставления можно заключить следующее о возможностях применения различных зондов для изучения геологических разрезов:

1) разрезы, сложенные пластами высокого сопротивления большой мощности, следует изучать потенциал-зондами;

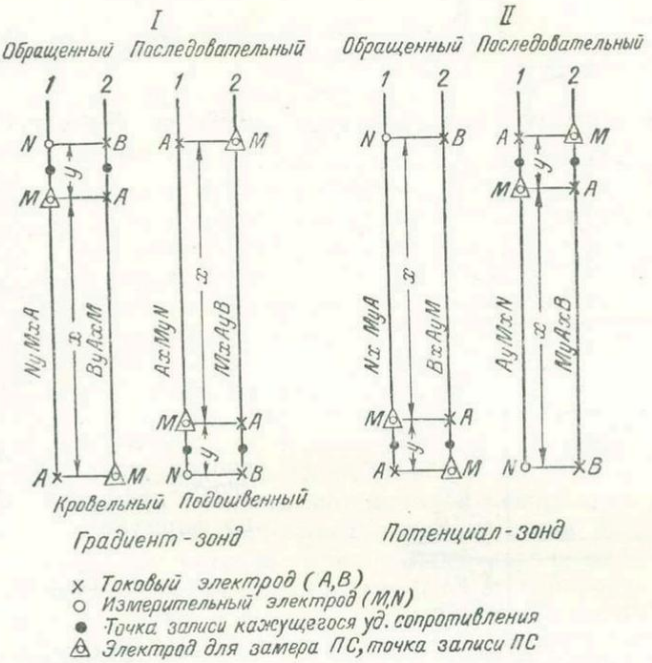


Рис. IX-7. Зонды, применяемые при электрокаротаже.
I — однополюсный зонд; *II* — двухполюсный зонд.

2) при изучении разрезов, сложенных пластами большой и малой мощности, предпочтение отдается градиент-зондам, так как потенциал-зонды по существу не отмечают тонкие пласты высокого сопротивления.

Для определения истинного сопротивления пластов и глубины проникновения бурового раствора в пласт применяют методику бокового каротажного зондирования — *БКЗ* [В. Н. Дахнов, 1955; С. С. Итенберг, 1951].

В методе *ПС* для решения геологических задач используются естественные электрические поля, самопроизвольно образующиеся в земной коре вследствие различных физических и химических процессов. В гидрогеологических целях используются главным образом поля фильтрационного и диффузионного происхождения.

Фильтрационные поля в скважинах возникают вследствие наличия фильтрации глинистого раствора из скважины в проницаемый пласт или воды пласта в скважину. Направление *ЭДС* фильтрации совпадает с направлением движения фильтрующейся жидкости. Пласт отмечается отрицательной аномалией, если буровой раствор фильтруется в пласт, и положительной, если происходит фильтрация воды из пласта в скважину.

Диффузионные поля возникают при соприкосновении водных растворов различной концентрации. Вследствие разности концентраций ионы под действием осмотического давления диффундируют из раствора с большей концентрацией в раствор с меньшей концентрацией; при этом последний заряжается знаком того иона, который обладает наибольшей подвижностью. Возникающие при этом *ЭДС* диффузии определяются по формуле

$$E_{диф} = K \lg \frac{C_1}{C_2} \text{ мв}, \quad \text{(IX-15)}$$

где C_1 и C_2 — концентрации контактирующих растворов;

K — постоянная величина, характерная для данного электролита при заданной температуре.

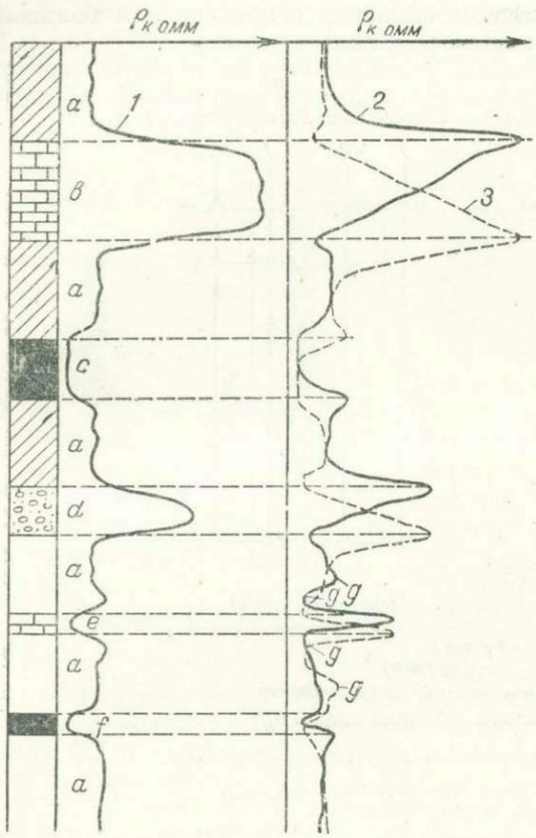


Рис. IX-8. Схематические кривые $\rho_к$ метода *КС* и гипотетический геологический разрез (по В. Н. Дахнову).

1 — кривая потенциал-зонда; *2* и *3* — кривые обращенного и последовательного градиент-зондов; *a* — пласты среднего сопротивления; *b*, *c*, *d* — пласты высокого и низкого сопротивления большой мощности; *e*, *f* — пласты высокого и низкого сопротивления малой мощности.

В случае контакта растворов соли NaCl величина *ЭДС* диффузии определяется по формуле

$$E_{диф} = -11{,}6 \lg \frac{C_1}{C_2} \text{ мв}. \quad \text{(IX-16)}$$

В гидрогеологических скважинах естественные электрические поля обусловлены главным образом диффузионными *ЭДС*. Последние [по С. С. Итенбергу, 1951] следует рассматривать как алгебраическую сумму *ЭДС* непосредственного контакта пластовой воды и бурового раствора ($E_д$) и *ЭДС*, возникающей вследствие наличия тонкопористой (полупроницаемой) перегородки между этими растворами ($E_л$), т. е.

$$E_{диф} = E_{пс} = E_д + E_л = K_д \cdot \lg \frac{C_{пл.в}}{C_{б.р}} + K_л \cdot \lg \frac{C_{пл.в}}{C_{б.р}} \text{ мв}, \quad \text{(IX-17)}$$

где $K_д$ — коэффициент *ЭДС* диффузии, возникающей при непосредственном контакте пластовой воды и бурового раствора; для растворов NaCl величина $K_д = 11{,}6$;

$K_л$ — коэффициент *ЭДС* диффузии, зависящий от гранулометриче-

ского состава и величины удельной поверхности зерен породы (литологический коэффициент);

$C_{пл.в}$ — концентрация солей в пластовой воде;

$C_{б.р}$ — концентрация солей в буровом растворе.

В связи с тем, что минерализация растворов в значительных пределах остается практически обратно пропорциональной удельному сопротивлению (ϱ), формулу (IX-17) можно записать в следующем виде

$$E_{пс} = K_{пс} \cdot \lg \frac{\varrho_{б.р}}{\varrho_{пл.в}} \ мв, \qquad (IX\text{-}18)$$

где $K_{пс}$ — постоянный коэффициент;

$\varrho_{б.р}$ и $\varrho_{пл.в}$ — удельное сопротивление вытяжки бурового раствора и пластовых вод.

Общая *ЭДС* диффузии против проницаемых пластов дает отрицательный потенциал, если буровой раствор менее минерализован, чем пластовая вода, и положительный потенциал, если имеется обратное соотношение минерализации.

Каротаж *ПС* сводится к непрерывному измерению потенциала *ПС*, который регистрируется на каротажной бумаге (диаграмма *ПС*). Для регистрации в скважину на кабеле опускается неполяризующийся электрод *M*, который всегда подключается к клемме *M* потенциометра; другой неполяризующийся электрод *N* располагают на поверхности вблизи устья скважины (рис. IX-9). Так как потенциал точки *N* постоянный, то разность потенциалов между точками *M* и *N* соответствует значению потенциала точки *M*.

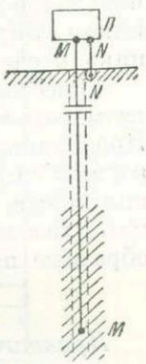


Рис. IX-9. Схема измерения потенциала *ПС* (по С. Г. Комарову).

Из радиоактивных методов при гидрогеологических исследованиях применяют гамма-каротаж (*ГК*) и нейтронный гамма-каротаж (*НГК*). Одним из преимуществ этих методов по сравнению с методами электрокаротажа является возможность применения их в условиях обсаженных скважин. При гамма-каротаже измеряется естественное гамма-излучение горных пород, величина интенсивности которого зависит от содержания в них радиоактивных минералов.

По величине естественной радиоактивности осадочные горные породы условно можно подразделить на следующие группы:

1) породы низкой радиоактивности (гипс, ангидрит, каменная соль, известняки, доломиты, пески, песчаники) — менее 3—5 единиц (*г/экв* радия $\times 10^{-12}$ на 1 *г* породы);

2) породы средней радиоактивности (мергели, песчанистые и известковистые глины) — 5—8 единиц;

3) породы высокой радиоактивности (глины, калийные соли, сланцы) — от 8 до 12—16 единиц;

4) породы очень высокой радиоактивности (вулканический пепел, глинистые сланцы, бентонит) — более 16 единиц.

При нейтронном гамма-каротаже производится наблюдение за искусственным радиоактивным гамма-излучением, возникающим при воздействии нейтронов на горные породы.

В качестве источника нейтронов применяется смесь соли радия и полония и очень тонкого порошка бериллия. Гамма-лучи, испускаемые радием и полонием, проникают в ядра бериллия и выбивают из них нейтроны.

Последние легко проходят через обсадную трубу, цементное кольцо и проникают в горные породы, где сталкиваются с ядрами атомов. Вследствие столкновений нейтроны теряют энергию и замедляются. Замедленные нейтроны захватываются ядрами атомов породы, в результате чего выделяется некоторое количество энергии в виде гамма-излучения. Замедление нейтронов происходит главным образом в результате их столкновения с ядрами водорода и хлора, которые обладают очень большой способностью захвата. Следовательно интенсивность гамма-излучения зависит в основном от содержания в породах водорода и хлора (вода, нефть).

Для измерения как естественного, так и искусственного, гамма-излучения в скважину на кабеле опускается индикатор — разрядный счетчик с усилителем. Показания счетчика регистрируются на поверхности земли с помощью каротажного регистратора. Полученная кривая *ГК* или *НГК* характеризует изменение искусственной или естественной радиоактивности горных пород с глубиной.

В каротажном снаряде *НГК*, кроме индикатора, имеются источник нейтронов и свинцовый экран, расположенный между счетчиком и источником. Экран поглощает гамма-лучи, идущие непосредственно от источника к счетчику.

Расстояние между индикатором и источником нейтронов называется размером зонда. Форма кривой *НГК* сильно зависит от длины зонда. При длинных зондах (более 45 *см*) породы с высоким содержанием водорода (воды) отмечаются на диаграммах *НГК* минимумами гамма-излучения, тогда как породы с низким содержанием водорода — максимумами гамма-излучения. При коротких зондах (менее 45 *см*) наблюдаются обратные показания гамма-излучения.

Практическое использование каротажных диаграмм для изучения гидрогеологических разрезов

Выделение водоносных и водоупорных горизонтов. Как известно, водоносные горизонты приурочены обычно к пескам, песчаникам и трещиноватым карбонатным породам, тогда как глины, аргиллиты, алевролиты, различные сланцы и другие представляют собой водоупоры, разделяющие водоносные горизонты.

Для того чтобы знать, каким образом проявляются те или иные физические свойства перечисленных пород на каротажных диаграммах, приведем сопоставление схематических кривых различных методов с гипотетическим разрезом (рис. IX-10, по С. С. Итенбергу). Такое сопоставление даст возможность установить совокупность целого ряда признаков, пользуясь которыми наиболее рационально можно решить поставленную задачу в тех или иных геологических условиях.

Пески и песчаники, насыщенные пресной водой, отмечаются повышенными значениями $\varrho_к$ на диаграмме *КС*, небольшой положительной аномалией на диаграмме *ПС* и низкими значениями гамма-излучения на диаграммах *ГК* и *НГК*. С увеличением минерализации воды кажущееся сопротивление против пласта уменьшается, а кривая *ПС* выполаживается. Если минерализация пластовых вод превышает минерализацию бурового раствора, то кажущееся сопротивление песков и песчаников может стать меньше сопротивления глин (т. е. водоупоров); на кривой *ПС* в этом случае — четкая отрицательная аномалия, а на кривой *НГК* — высокие значения интенсивности гамма-излучения.

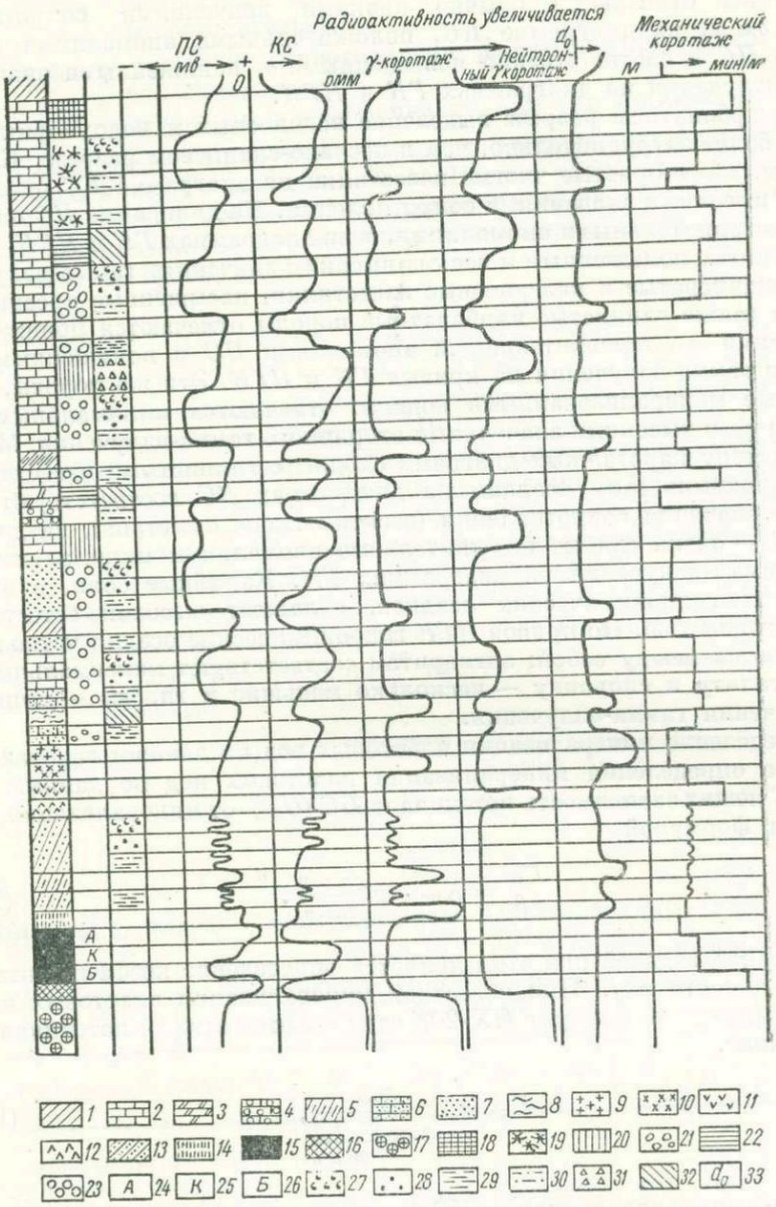


Рис. IX-10. Сопоставление схематических кривых различных методов каротажа с гипотетическим геологическим разрезом (по С. С. Итенбергу).

1 — глины светлые; *2* — карбонатные породы (известняки, доломиты): *3* — мергели; *4* — мел; *5* — глины темные; *6* — песчаники; *7* — пески; *8* — сланцы глинистые; *9* — соль натриевая; *10* — соль калиевая; *11* — гипс; *12* — ангидрит; *13* — глины с прослоями песка; *14* — вулканический пепел; *15* — уголь; *16* — сульфидные руды; *17* — изверженные породы; *18* — породы плотные и крепкие; *19* — трещиноватость, *20* — породы крепкие; *21* — кавернозность; *22* — плотные породы; *23* — пористые и проницаемые породы; *24* — антрацит; *25* — каменный уголь; *26* — бурый уголь; *27* — газонасыщенность; *28* — нефтенасыщенность; *29* — водонасыщенность пресной водой; *30* — водонасыщенность минерализованной водой; *31* — окремнелость, *32* — глинистость; *33* — диаметр скважины по кавернограмме.

Глины отмечаются обычно низкими значениями сопротивления (1—10 *ом м*) на диаграмме *КС*, положительными аномалиями на диаграмме *ПС* и соответственно повышенными и пониженными значениями гамма-излучения на диаграммах *ГК* и *НГК*.

В карбонатном разрезе выделение водоносных и водоупорных горизонтов более затруднительно, чем в песчано-сланцевом разрезе. Крепкие, плотные, малопористые чистые известняки на диаграмме *КС* отмечаются обычно высокими значениями сопротивления. На диаграмме *ПС* они отмечаются отрицательными аномалиями, а на диаграммах *ГК* и *НГК* — соответственно по пониженным и весьма высоким значениям гамма-излучения.

Трещиноватые и кавернозные известняки, насыщенные пресными водами, а также глинистые карбонатные породы отмечаются пониженными значениями $\varrho_к$, положительными аномалиями *ПС* и пониженными значениями гамма-излучения на кривых *ГК* и *НГК*. Эти же породы, но насыщенные минерализованными водами, отмечаются минимальными значениями $\varrho_к$ и высокими значениями вторичного гамма-излучения. Мергели по характеру каротажных диаграмм сходны с глинистыми известняками.

Гидрохимическим осадкам на диаграммах *КС* соответствуют очень высокие значения сопротивления (десятки тысяч омметров), на диаграммах *ПС* — очень слабые положительные аномалии и минимальные значения гамма-излучения на диаграммах *ГК*. Калийные соли, в отличие от других гидрохимических осадков, обладают высокой естественной радиоактивностью. По кривой *НГК* гидрохимические осадки четко дифференцируются между собой: ангидритам соответствуют максимальные значения, галиту и сильвину — несколько меньшие и гипсам — минимальные значения гамма-излучения.

Определение минерализации пластовых вод по данным каротажа ПС. В основе определения минерализации пластовых вод по данным каротажа *ПС* лежит зависимость потенциала *ПС* ($U_{пс}$) от минерализации, определяемая формулой

$$\frac{U_{пс}}{\beta} = K_{пс} \cdot \lg \frac{\varrho_{б.\,р} \cdot \eta}{\varrho_{пл.\,в}}. \qquad \text{(IX-19)}$$

Основной задачей при этом является определение коэффициента пропорциональности $K_{пс}$. При известной минерализации пластовых вод он легко находится по формуле (IX-20), если имеется кривая потенциала $U_{пс}$ по скважине.

$$K_{пс} = \frac{U_{пс}}{\beta \cdot \lg \frac{\varrho_{б.\,р} \cdot \eta}{\varrho_{пл.\,в}}}, \qquad \text{(IX-20)}$$

где $U_{пс}$ — амплитуда аномалии ПС (*мв*);
β и η — поправочные коэффициенты (см. ниже).

Коэффициент $K_{пс}$ можно определить также, используя кривые потенциала $U_{пс}'$ и $U_{пс}''$, полученные в одной и той же скважине при различных минерализациях бурового раствора, а именно

$$K_{пс} = \frac{U_{пс}' - U_{пс}''}{\beta \cdot \lg \frac{\varrho_{б.\,р}'' \cdot \eta''}{\varrho_{б.\,р}' \cdot \eta'}} \qquad \text{(IX-21)}$$

где $U'_{пс}$ и $U''_{пс}$ — амплитуды потенциала *ПС* (*мв*) во время первого и второго замеров;

$\varrho'_{б.р}$ и $\varrho''_{б.р}$ — удельные сопротивления растворов при первом и втором замерах;

η' и η'' — поправочные коэффициенты при тех же замерах.

Для определения минерализации вод в проницаемых пластах песков и песчаников конечной мощности А. М. Нечаем разработан метод, более точно учитывающий факторы, влияющие на величину аномалии *ПС*. Значение потенциала $U_{пс}$ против пластов указанных пород А. М. Нечаем определяется по формуле

$$U_{пс} = K_t \cdot \beta \cdot \alpha \cdot n \cdot \lg \frac{\varrho^{18°C}_{б.р}\eta}{\varrho^{18°C}_{пл.в}} \text{ мв}, \qquad \text{(IX-22)}$$

где $U_{пс}$ — максимальное значение потенциала против пласта (определяется по диаграмме ПС);

$K_t, \eta, \beta, n,$ — поправочные коэффициенты, соответственно учитывающие зависимость амплитуды ПС от температуры пласта, удельного веса бурового раствора ($\gamma_с$), мощности пласта, соотношения минерализации пластовых вод и бурового раствора (определяются по табл. IX-6 — IX-9);

α — для нефтеносных пластов равен 0,7, для водоносных $\alpha = 1$;

$\varrho^{18°C}_{б.р}$ и $\varrho^{18°C}_{пл.в}$ — удельные сопротивления бурового раствора и пластовой воды при 18° С ($\varrho^{18°C}_{б.р}$ измеряется с помощью резистивиметра).

Из формулы (IX-22) определяется

$$\varrho^{18°C}_{пл.в} = \frac{\varrho^{18°C}_{б.р} \cdot \eta}{10^{\frac{U_{пс}}{K_t \beta \alpha n}}} \qquad \text{(IX-23)}$$

Зная $\varrho^{18°C}_{пл.в}$, находим минерализацию пластовой воды (рис. IX-11).

Таблица IX-6

Зависимость K_t от температуры
(по А. М. Нечаю)

Температура среды, °С	20	30	40	50	60	70	80
Коэффициент диффузионного потенциала K_t, *мв*	50,5	60,0	70,0	79,0	89,0	98,0	108,0

Таблица IX-7

Зависимость η от $\gamma_с$
(по А. М. Нечаю)

Удельный вес раствора ($\gamma_с$)	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
$\eta = \frac{2.6 - \gamma_с}{1\,6}$	0,97	0,94	0,87	0,81	0,75	0,69	0,63

Таблица IX-8

Влияние мощности пласта на величину аномалий *ПС*

(по А. М. Нечаю)

Мощность пласта, *м*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25
$\beta = \frac{U_{пс}}{E_{пс}}$	0,45	0,55	0,64	0,70	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88	0,90	0,92	0,98	0,98	1,00

Таблица IX-9

Зависимость n от $\frac{C_{пл\cdot в}}{C_{б\cdot р}}$

(по А. М. Нечаю)

$\frac{C_{пл\cdot в}}{C_{б\cdot р}}$	2	6	10	15	20	30	40	50	60	70
n	1,0	1,0	0,9	0,8	0,75	0,6	0,6	0,55	0,55	0,55

Приведем один из примеров определения минерализации воды по кривой *ПС* для песчаного пласта (рис. IX-12).

Для рассматриваемого пласта имеем:

а) $\varrho_{б.р}^{18°} = 1{,}91$ *ом м* (замерено с помощью резистивиметра);

б) $\gamma_с = 1{,}25$ и $\eta = 0{,}825$;

в) $U_{пс}$, отсчитанное по кривой *ПС*, равно 65 *мв*;

г) температура пласта определяется по формуле $t_п = 15° + 0{,}025 \times h$, где h — глубина, *м*;

В нашем случае $h = 1235{,}0$ *м*, следовательно $t_п = 15° + 0{,}025 \times 1235 = 46°$; отсюда $K_t = 73$ (определяется по таблице IX-6);

д) $\beta = 0{,}92$ (Н = 12 *м*); H — мощность пласта;

е) $\alpha = 0{,}7$ (пласт нефтяной).

Подставив полученные значения в формулу (IX-23), найдем $\varrho_{б.р}^{18°} = 0{,}0845$ *ом м*.

По кривой на рис. IX-11 находим, что при 18° С минерализация пластовой воды равна 150 *г/л*.

Определение литологического коэффициента $K_л$ по данным метода ПС. Для определения $K_л$ производятся два замера потенциала $U_{пс}$ при различных минерализациях бурового раствора. При этом вполне достаточным будет изменить минерализацию бурового раствора в 4—5 раз только в интервале, намеченном к исследованию.

Коэффициент $K_л$ пласта A (рис. IX-13) вычисляется по формуле (по А. М. Нечаю)

$$K_л = \pm \left[\frac{(U'_{пс} - U''_{дс}) - (\Delta U_н + E_\Delta)}{\lg \frac{\varrho_{б.р}}{\varrho'_{б.р}}} \right], \qquad \text{(IX-24)}$$

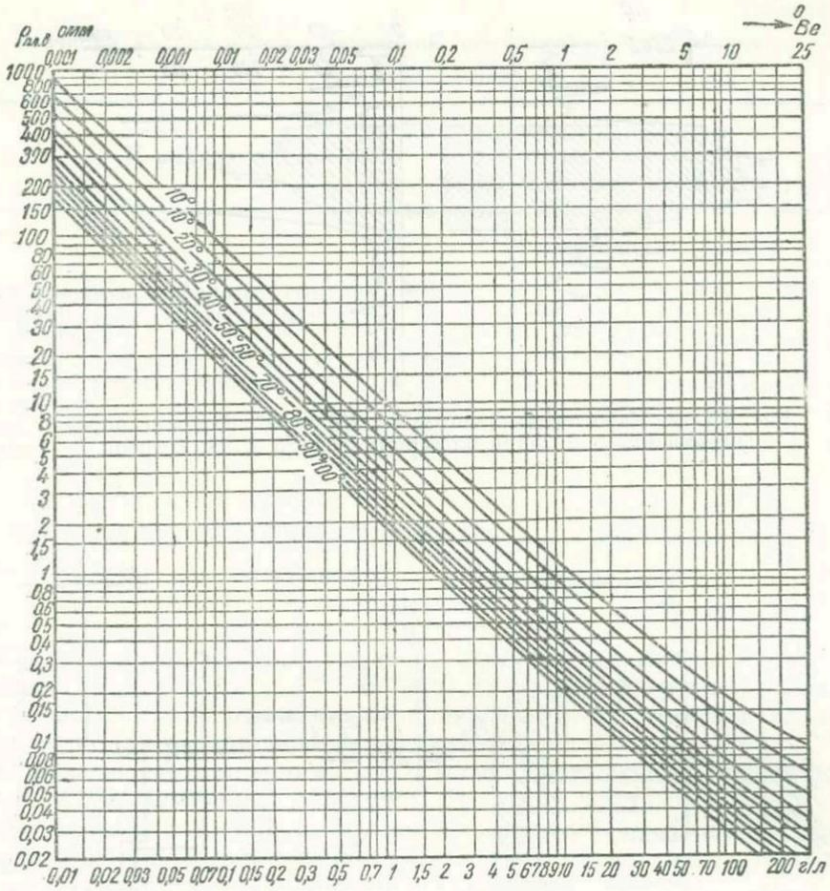


Рис. IX-11. Зависимость удельного сопротивления раствора *aC* от концентрации его при разных температурах.

где $U'_{пс}$ и $U''_{пс}$ — средние значения потенциала *ПС* против исследуемого пласта при сопротивлениях бурового раствора $\rho'_{б.р}$ и $\rho''_{б.р}$ ($U'_{пс}$ и $U''_{пс}$ снимаются с графиков на рис. IX-13);

$\Delta U_к$ — изменение потенциала на границе контакта буровых растворов с сопротивлением $\rho'_{б.р}$ и $\rho''_{б.р}$ (снимается с графика на рис. IX-13);

$E_Д$ — (ЭДС на контакте растворов) вычисляется по формуле IX-25)

$$E_Д = 11{,}6 \lg \frac{\rho''_{б.р}}{\rho'_{б.р}}, \qquad \text{(IX-25)}$$

В табл. IX-10 А. М. Нечаем даны примерные значения литологического коэффициента $K_л$, подсчитанные по этой методике.

Определение коэффициента пористости $K_п$ горных пород. Коэффициент $K_п$ определяется по кривым зависимости его от коэффициента $P_п$ (рис. IX-14а, б). Последний представляет собой отношение истинного

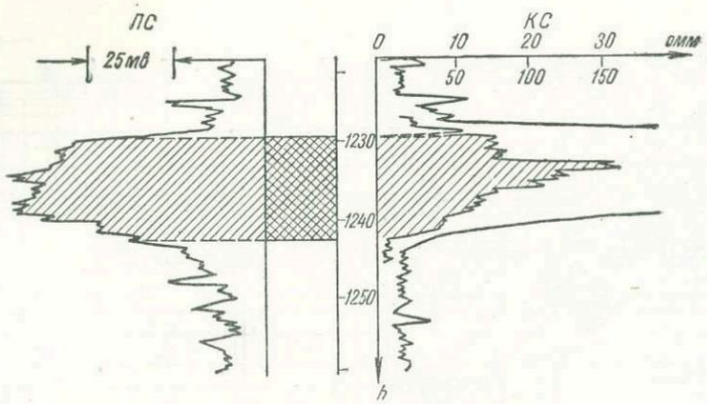


Рис. IX-12. Каротажные диаграммы *КС* и *ПС*. (Пример определения минерализации пластовых вод по А. М. Нечаю).

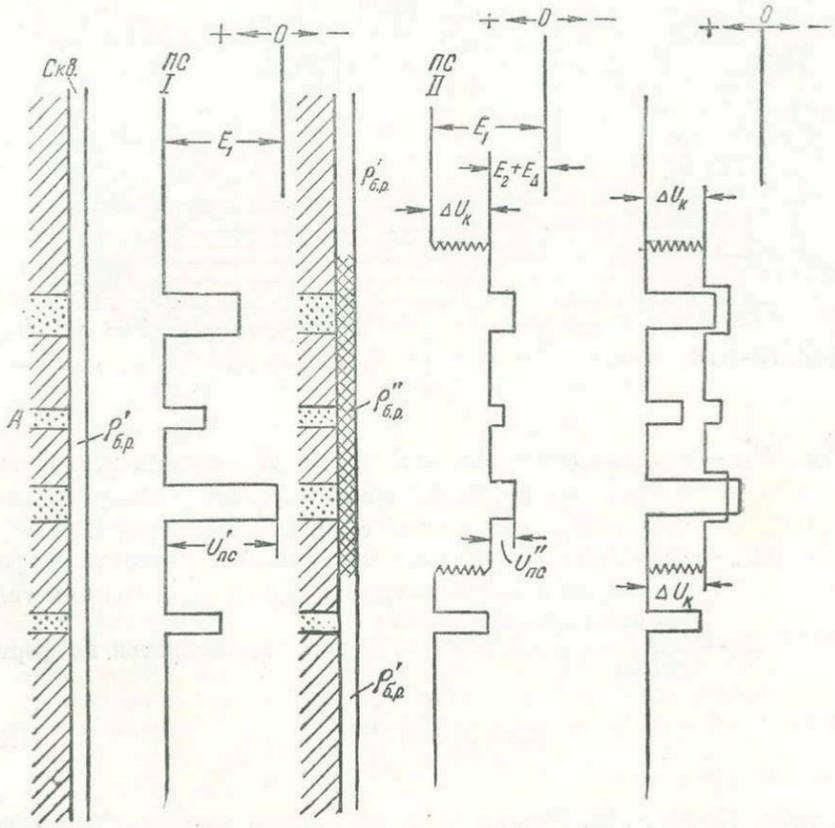


Рис. IX-13. К определению литологического коэффициента $К_л$ (по А. М. Нечаю).

Таблица IX-10

Значения $K_л$ для пород с различной литологической характеристикой (по А. М. Нечаю)

Породы	Размеры фракции, *мм*					$K_л$, (мв)
	0,01	0,01—0,1	0,1—0,25	0,25—1,0	1,0	
	Фракционный состав, %					
Песчаник крупнозернистый, сыпучий	0,2	3,5	35	38,5	28	—10,3
Песчаник среднезернистый, слабосцементированный	3,0	9,8	57	30,2	—	—3,6
Песчаник глинистый	6,2	5,0	87,7	1,1	—	0
Песчаник сильно глинистый	9,6	2,5	70,7	26,8	—	+19,6
Алевролиты	23,4	51,1	23,4	2,1	—	+20
Глина слабо песчаная	55,4	40,3	1,3	—	—	+30
Глина	99,2	0,6	—	—	—	+40

сопротивления пласта ($\varrho_п$) к сопротивлению пластовой воды в нем ($\varrho_{пл.в}$), т. е.

$$P_п = \frac{\varrho_п}{\varrho_{пл.\,в}}. \qquad \text{(IX-26)}$$

Сопротивление пласта достаточно точно определяется путем интерпретации кривой *БКЗ* для этого пласта; сопротивление пластовых вод определяется путем измерения сопротивления извлеченной из пласта пробы воды лабораторным резистивиметром.

Оценка пористости горных пород может производиться также по кривым *НГК* [В. Н. Дахнов, 1956; С. С. Итенберг, 1957].

Определение мест притоков воды в скважину и поглощения бурового раствора с помощью резистивиметра производится по замерам удельного сопротивления бурового раствора в скважине.

Резистивиметр представляет собой каротажный зонд малых размеров — 2—3 *см* (рис. IX-15). Для исключения влияния стенок скважины на результаты измерений электроды зонда заключены в цилиндр с изолирующими стенками. Техника и схема для измерений с резистивиметром аналогичны таковым при каротаже *КС*. Результаты измерений вдоль ствола скважины непрерывно регистрируются на каротажной ленте. Для определения мест притоков воды в скважину применяется способ оттартывания, а мест поглощения воды из скважины — способ продавливания.

При способе оттартывания (рис. IX-16 а, б) вначале добиваются того, чтобы скважина была заполнена однородной жидкостью, причем минерализация ее должна отличаться от минерализации притекающей в скважину воды и столб ее должен обеспечить давление, превышающее давление пластовой воды. Об однородности жидкости убеждаются по контрольной регистрации кривой сопротивления по скважине, заполненной этой жидкостью. Затем производится оттартывание жидкости из скважины. После каждого оттартывания регистрируется кривая сопротивления (кривые *1*, *2*, *3*, *4*). Приток пластовой воды в скважину фиксируется резким повышением (понижением) сопротивления на всех кривых $\varrho_к$.

В способе продавливания (рис. IX-16 в, г) точно так же вначале добиваются однородности жидкости в скважине. Затем в скважину за-

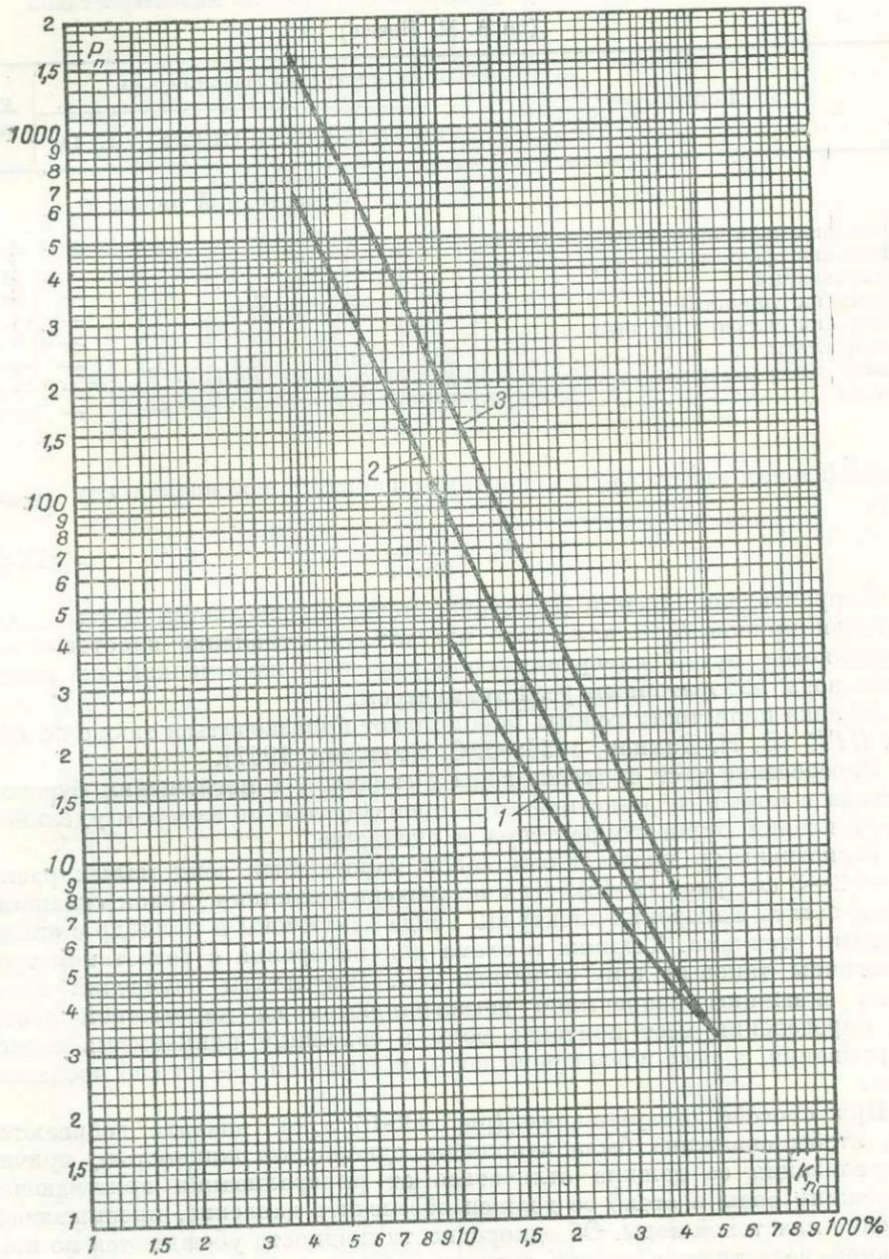


Рис. IX-14а. Зависимость коэффициента $P_п$ от коэффициента Кп пористости породы. Песчано-глинистые породы (по В. Н. Дахнову).

1 — рыхлые пески; *2* — слабосцементированные песчаники; *3* — среднесцементированные песчаники.

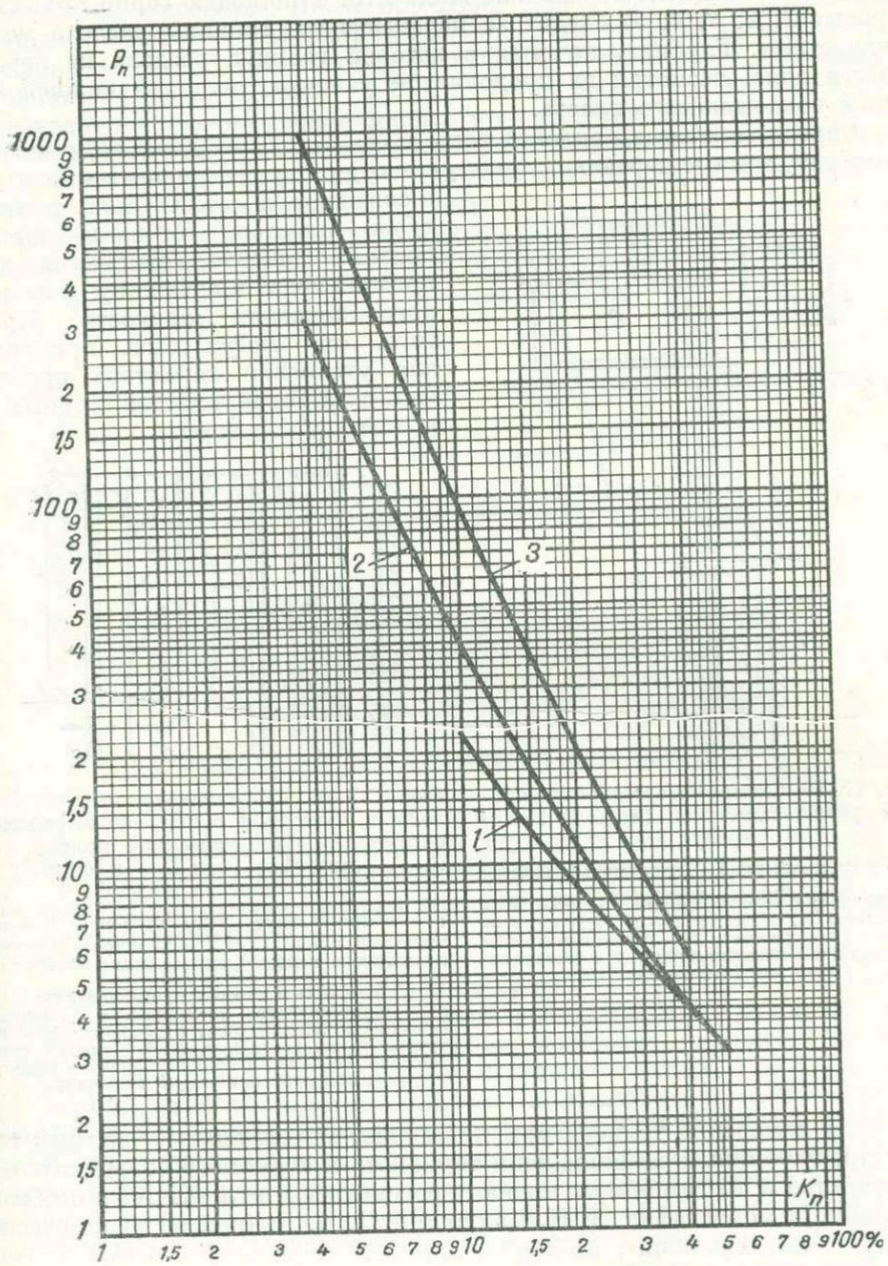


Рис. IX-14б. Зависимость коэффициента $P_п$ от коэффициента $K_п$ пористости породы. Карбонатные породы (по В. Н. Дахнову).

1 — ракушники и глинистые известняки; *2* — известняки и доломиты крупнокристаллические средней уплотненности; *3* — известняки и доломиты, плотные тонкокристаллические.

качивают жидкость, сопротивление которой должно отличаться от сопротивления имеющейся в скважине жидкости. С помощью серии кривых $\varrho_к$ (кривые *1*, *2*, *3*, *4*, *5*) следят за перемещением границы раздела между жидкостями. Глубина, начиная с которой граница раздела не перемещается вниз, несмотря на продолжение закачки, является нижней границей поглощающего пласта.

Определение мест притоков воды в скважину методами термометрии. Температурные измерения используются для определения температуры в скважине и естественной температуры пластов, отбивки высоты подъема цемента, отыскания мест притока воды в скважину и затрубного движения жидкости. Кроме того, они могут быть применены для уточнения характера пройденных скважиной пластов горных пород (термокаротаж).

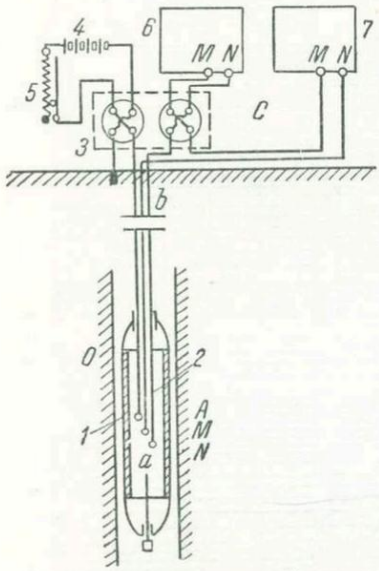


Рис. IX-15. Схема измерений скважинным резистивиметром (по С. Г. Комарову).

a — резистивиметр; *b* — каротажный кабель; *c* — измерительная схема;
1 — цилиндр с изолирующими стенками; *2* — электроды *A*, *M* и *N*; *3* — пульсатор; *4* — батарея; *5* — реостат; *6* — потенциометр для регистрации сопротивления; *7* — потенциометр для компенсации *ПС*.

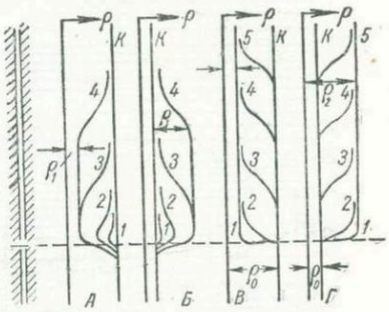


Рис. IX-16. Определение мест притока воды в скважину и поглощения воды из скважины. Схематические кривые (по С. Г. Комарову) *А* и *Б* — к способу оттартывания:

ϱ_1 — сопротивление воды притока; *К* — контрольный замер; *1*, *2*, *3*, *4* — кривые сопротивления после каждого оттартывания жидкости из скважины.

В и *Г* — к способу продавливания:
ϱ_2 — сопротивление фиксирующей жидкости;
ϱ_0 — сопротивление воды в скважине; К — контрольный замер, *1*, *2*, *3*, *4*, *5* — кривые сопротивления после каждого продавливания жидкости с сопротивлением ϱ_2 в скважину.

Для измерения температуры применяют максимальный ртутный термометр, глубинный самопишущий термометр и термометр сопротивлений. Устройство и подготовка их к работе рассмотрены в гл. XXXI и особенно подробно в монографии В. Н. Дахнова и Д. И. Дьяконова «Термические исследования скважин», 1952.

При гидрогеологических исследованиях термометрия применяется главным образом для определения мест притока воды в скважину и затрубного движения жидкости. Определение мест притока воды в скважину производится методами оттартывания (снижения уровня жидкости) и продавливания (нагнетания жидкости).

Метод оттартывания применяется обычно при неустановившемся тепловом режиме в скважине. Вначале скважина тщательно промывается

глинистым раствором (или водой) для выравнивания температуры по всему стволу скважины. После промывки производят контрольную регистрацию кривой температуры по скважине. При хорошей промывке скважины наблюдается плавное и незначительное увеличение температуры с глубиной (кривая *1*, рис. IX-17 а). Затем несколько раз (2—3 раза) производят понижение уровня жидкости в скважине, при этом после каждого понижения производят регистрацию температурной кривой (кривая *2*, *3* на рис. IX-17 а). Место притока воды в скважину определяют по скачку температуры на этих кривых.

Метод продавливания применяется при установившемся тепловом режиме в скважине. После контрольной регистрации температурной кривой (кривая *1*, рис. IX-17 б), в скважину закачивают насосом воду с температурой, отличной от температуры подземных вод. На температурных кривых, полученных после закачки, место притока воды отмечается скачком температуры; ниже притока температура воды в скважине остается практически постоянной.

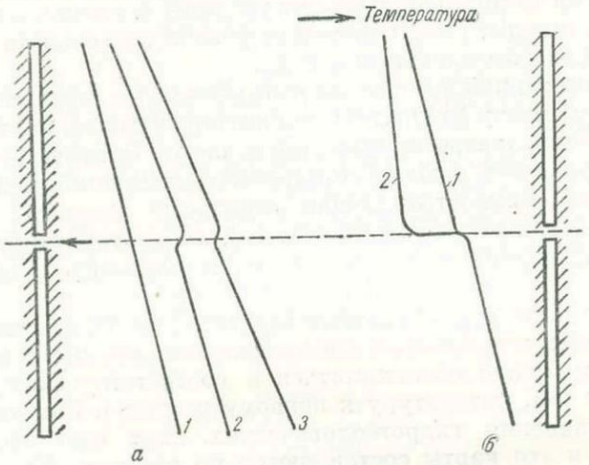


Рис. IX-17. *а*, *б* — температурные кривые.

Места затрубной циркуляции вод на термограммах отмечаются более или менее постоянной температурой от уровня поступления вод в затрубное пространство до уровня их поглощения породами. В случае, если воды, циркулирующие за колонной труб, поступают в скважину, определение мест притока их производится методами оттартывания или продавливания. Если же воды не поступают в скважину, то применяют следующий прием для определения мест затрубной циркуляции. Первоначально скважину интенсивно промывают глинистым раствором или водой, а затем с интервалом примерно через час производят регистрацию температурных кривых. На последних участки затрубной циркуляции выделяются в виде аномальных зон повышенных (или пониженных) значений температуры.

§ 9. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ И СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

После проведения полевых гидрогеологических исследований производится камеральная обработка всех собранных материалов и составляется отчет о проделанной работе. Отчет состоит из описания подземных вод района, табличных и картографических приложений.

Отчет, при условии проведения разведочных и опытных гидрогеологических работ, обычно подразделяется на следующие главы: введение, геологическая и гидрогеологическая изученность района, физико-географические условия района (рельеф, гидрография, почвенный и растительный покров, климат); геологическое строение (стратиграфия, тектоника, история геологического развития района); подземные воды (распространение, условия залегания, питания, движения, солевой и газовый состав, режим); разведочные и опытные работы; лабораторные исследования; общие выводы и заключение; список литературы.

Табличные приложения включают весь фактический как описательный, так и аналитический материал, систематизированный в удобной для пользования форме. Сюда входят таблицы скважин, колодцев, источников, анализов воды, газа, некоторых физических свойств горных пород, откачек, наливов или нагнетаний и др.

Основной составной частью картографических приложений к гидрогеологическому отчету являются: гидрогеологическая карта, гидрогеологические профили, разрезы скважин и карта фактического материала. Кроме того, в качестве дополнительных приложений может быть дана другая графика, иллюстрирующая отдельные элементы гидрогеологических условий района, а также опытные, лабораторные работы и геофизические исследования, если последние выполнялись в гидрогеологических целях.

На содержании отдельных глав текстовой части отчета, табличных и картографических приложений здесь останавливаться нет необходимости, так как с этим можно познакомиться в соответствующих руководствах и инструкциях (см. литературу к первому разделу). Заметим только, что методика составления гидрогеологических карт еще окончательно не определилась, и эти карты составляются по разному. Можно лишь указать, что гидрогеологическая карта должна освещать следующие данные:

1) площади распространения, литологический состав и стратиграфическое положение водоносных и водоупорных пород;
2) водообильность пород;
3) степень минерализации, солевой и газовый состав подземных вод;
4) глубину залегания водоносных пород;
5) глубину залегания подземных вод от поверхности земли;
6) опорные водопункты с соответствующими характеристиками.

Объем отчета, особенности построения его гидрогеологической части, характер и количество табличных и графических приложений к нему определяются назначением (водоснабжение, орошение, поиски нефти и газа, строительство гидротехнических и других сооружений, разведка и эксплуатация месторождений полезных ископаемых и т. д.) и стадийностью гидрогеологических исследований (проектное задание, технический проект), а также специфическими местными условиями, например положением исследуемого района в области многолетней мерзлоты, молодого вулканизма, пустынной и т. п.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Глава X

ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Движение жидкостей и газов в порах и трещинах горных пород (грунтов) называется фильтрацией. В теории фильтрации горная порода рассматривается как среда, состоящая из зерен различной величины и разной формы, которые прилегают друг к другу, образуя между собой сообщающиеся друг с другом пустоты (поры), где происходит движение жидкости или газа.

Подобная теоретическая модель горной породы (грунта) позволяет достаточно удовлетворительно объяснить установленные опытным путем закономерности даже в случаях фильтрации в трещиноватых горных породах, структура которых не очень близка к этой модели [Г. М. Ломизе, 1951].

Отношение объема пор $V_{пор}$ к общему объему породы V получило название коэффициента пористости породы

$$n = \frac{V_{пор}}{V}. \qquad \text{(X-1)}$$

Основной закон фильтрации, называемый законом Дарси (или линейным законом фильтрации), был установлен более ста лет тому назад на основе экспериментов французским ученым Дарси [H. Darsy, 1856].

Применительно к заполненной пористой средой трубе (рис. X-1), с поперечным сечением F, в которой движется жидкость, основной закон фильтрации напишется в виде:

$$Q = -FC\frac{\gamma}{\mu}\frac{\Delta H}{\Delta L}, \qquad \text{(X-2)}$$

где Q — фильтрационный расход (объемное количество жидкости, проходящей через любое поперечное сечение трубы в единицу времени), *см*^{3}/*сек*;

γ — удельный вес жидкости, *кг*/*см*^{3};

μ — вязкость жидкости, *сп*;

ΔL — длина трубы между двумя ее сечениями, *см*;

ΔH — приращение напора жидкости в грунте на длине ΔL трубы, *см*;

C — коэффициент, называемый коэффициентом проницаемости и характеризующий фильтрационную способность породы, дарси (см. ниже).

Напор, как известно из гидравлики, можно выразить (рис. X-1) формулой

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \approx Z + \frac{P}{\gamma}, \qquad \text{(X-3)}$$

где Z — координата любой точки сечения, в котором берется напор;
g — ускорение силы тяжести;
P — давление в той же точке;
v — скорость движения в той же точке.

Пренебрежение третьим слагаемым в формуле (X-3), содержащим квадрат скорости v при движении жидкости в горных породах, в большинстве случаев допустимо вследствие ничтожных величин скоростей фильтрации.

Знак минус в формуле (X-2) указывает на то, что напор в направлении движения жидкости убывает.

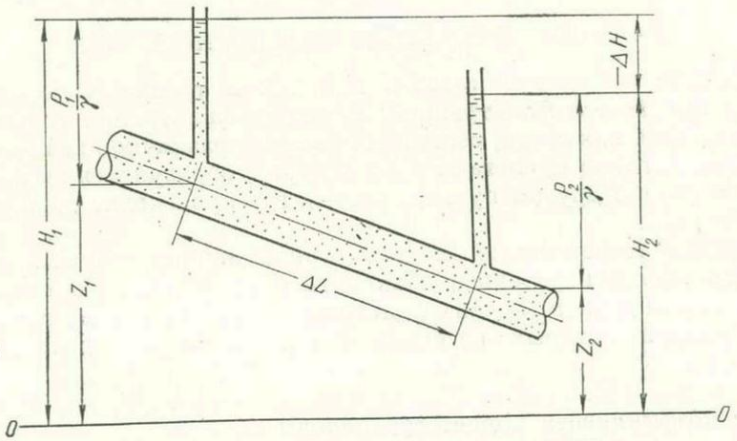


Рис. X-1. Схема экспериментальной трубы Дарси.

Произведение γH представляют иногда в виде условной величины так называемого приведенного давления P^* ($кг/см^2$) и в таком случае формула (X-2) принимает вид:

$$Q = -F\frac{C}{\mu}\frac{\Delta P^*}{\Delta L}. \qquad (X\text{-}2')$$

Из формулы (X-2′) видно, что фильтрационный расход прямо пропорционален проницаемости породы и обратно пропорционален вязкости жидкости.

Проницаемость C имеет размерность площади и зависит от размера, формы и характера укладки зерен.

Единица проницаемости называется *дарси*. За *дарси* принимается проницаемость такой пористой среды, через образец которой с площадью сечения $F = 1$ $см^2$, при длине $\Delta L = 1$ $см$, расход жидкости с вязкостью в 1 $сп$, при падении давления [формула (X-2′)] на величину $-\Delta P^* = 1$ $атм$, составляет 1 $см^3/сек$.

Отсюда получается, что 1 *дарси* $= 1{,}02 \cdot 10^{-8}$ $см^2$.

Имея дело с одной и той же жидкостью в условиях относительно малых изменений температуры, можно в формуле (X-2) считать $\gamma = \text{const}$, $\mu = \text{const}$ и ввести вместо коэффициента проницаемости так называемый коэффициент фильтрации, выражающийся формулой

$$K = C\frac{\gamma}{\mu}. \qquad (X\text{-}4)$$

Хотя коэффициент K с точки зрения фильтрации отображает свойства пористой среды и жидкости в совокупности, но в условиях, когда жидкость остается неизменной, как, например, в гидрогеологической практике, имеющей дело лишь с подземными водами, для характеристики фильтрационных свойств породы удобнее пользоваться коэффициентом фильтрации.

Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости. В формуле (X-4) K — в *см/сек*, C — в *дарси*, γ — в *кг/см*^{3}, μ — в сантипуазах. Отношение

$$v = \frac{Q}{F}, \tag{X-5}$$

называется скоростью фильтрации.

Следует отметить, что скорость фильтрации отличается от истинной средней скорости движения жидкости в порах, так как жидкость движется не через всю площадь F, а лишь через площадь поровых просветов. Вследствие большого числа зерен, по статистическим соображениям, можно считать, что площадь просветов во всех сечениях трубы одинакова и в среднем на длине отрезка ΔL трубы равна $f = nF$.

Поэтому истинная (действительная) средняя скорость, определяемая по формуле

$$v' = \frac{Q}{nF} = \frac{v}{n}, \tag{X-6}$$

всегда будет больше скорости фильтрации, так как $n < 1$.

В гидравлике величина потерь напора на единицу длины пути

$$I = -\frac{\Delta H}{\Delta L}. \tag{X-7}$$

называется гидравлическим уклоном, или градиентом. Принимая во внимание выражения (X-7), (X-4) и (X-5), формуле (X-2) можно придать вид

$$v = KI. \tag{X-8}$$

Выражение (X-8), являющееся самой краткой формой записи закона Дарси, указывает на линейный характер зависимости между скоростью фильтрации и потерями напора, что характерно, как известно из гидравлики, для ламинарного режима движения жидкостей — при малых числах Рейнольдса (Re).

Вместе с тем из гидравлики известно, что законы потерь напора меняются в зависимости от числа Рейнольдса.

В практике фильтрации также были обнаружены отклонения от линейного закона Дарси. Впервые вопрос о пределах применимости закона Дарси в зависимости от Re был поставлен акад. Н. Н. Павловским [1922], предложившим для числа Рейнольдса при фильтрации выражение, которому после некоторых преобразований и пересчетов, связанных с удобством пользования этим выражением, В. Н. Щелкачев [В. Н. Щелкачев и Б. Б. Лапук, 1949] придал вид

$$\mathrm{Re} = \frac{10}{n^{2,3}} \cdot \frac{v\sqrt{C}}{\mu}\varrho, \tag{X-9}$$

где ϱ — плотность жидкости.

При этом критическим значением числа Re, за пределами выше которого закон Дарси перестает быть применимым, как было установлено из опытов, является

$$\mathrm{Re}_{\text{крит}} = 1 \div 12. \tag{X-10}$$

Другой вид числа Рейнольдса был предложен М. Д. Миллионщиковым [И. А. Чарный, 1948]

$$\mathrm{Re} = \frac{v\varrho}{n\mu}\sqrt{\frac{C}{n}}, \tag{X-11}$$

критическое значение которого равно:

$$\mathrm{Re}_{\text{крит}} = 0{,}022 \div 0{,}290. \tag{X-12}$$

В формулах (X-9) и (X-11): v — в *см/сек*, C — в *см*^{2}, μ — в пуазах, ϱ — в *гр/см*^{3}.

Выражения (X-10) и (X-12) показывают, что дать точное критическое значение числа Рейнольдса при фильтрации практически очень трудно. Это объясняется тем, что отклонение закона фильтрации от линейного при росте числа Re происходит весьма медленно. Поэтому указать на предпочтение одной формулы (X-9 или X-11) над другой трудно.

За пределами применимости закона Дарси наиболее оправданной следует считать формулу Прони [В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, 1955, М. А. Великанов, 1945]

$$I = Av + Bv^2, \tag{X-13}$$

хотя пользуются также формулой Смрекера

$$I = C_c v^{\frac{1}{m}}. \tag{X-14}$$

m — коэффициент, изменяющийся в пределах от 1 до 2.

В пределах применимости закона Дарси в формуле (X-13)

$$B = 0.$$

При очень больших значениях Re в формуле (X-13) $A = 0$, а в формуле (X-14) $m = 2$, т. е. получается выражение:

$$v = K_к I^{\frac{1}{2}}. \tag{X-15}$$

В формулах (X-13), (X-14) и (X-15) A, B, C_c и $K_к$ — коэффициенты, характеризующие фильтрационные свойства породы и жидкости.

Формула (X-15) носит название закона А. А. Краснопольского, установившего в 1912 г. впервые существование квадратичного закона фильтрации.

Следует отметить, что закон Дарси, несмотря на границы своей применимости, является основным законом фильтрации.

Этот закон применим для движения подземных вод большинства водоносных горизонтов, напорных и безнапорных, сложенных различными по составу и возрасту осадочными, метаморфическими и магматическими горными породами.

Глава XI

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В главе X указывалось, что действительные (истинные) скорости движения подземных вод v' и скорости фильтрации v связаны между собою зависимостью

$$v' = \frac{v}{n}, \tag{XI-1}$$

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; вот почему можно говорить о действительной с р е д н е й скорости движения, как отношении расстояния L между двумя точками, которое проходит жидкая частица за время t, т. е.

$$v' = \frac{L}{t}. \tag{XI-2}$$

В зависимости от размеров пор и трещин, физической характеристики их, шероховатости, а также напора, под действием которого происходит движение подземных вод — это движение, 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 установлению индикатора в наблюдательной выработке. Время прохождения индикатора между двумя точками и расстояние между ними и дает возможность определить действительную среднюю скорость движения подземных вод.

Поскольку при этом применяют различные индикаторы и способы обнаружения их в воде, то существуют различные методы определения скоростей; наибольшее распространение при этом получили методы химический, электролитический и колориметрический.

Последние успехи физики дают возможность применять для определения скорости движения подземных вод метод использования некоторых радиоактивных изотопов многих встречающихся элементов, однако этот метод еще не получил достаточного распространения.

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

Индикаторными способами можно определять не только естественные скорости движения подземных вод, но и искусственные, 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. XI-1.

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

На примере, изображенном на рис. XI-1, в скв. 1, 2, 3, расстояние между которыми 50 *м*, соответственно уровни подземных вод имеют отметки: 22,30; 22,70; 22,90. Поскольку наибольшая разность отметок уровней в скв. 1 и 3, делим расстояние между ними на несколько частей (в данном случае — на три части), а также делим на столько же частей разность отметок уровней в них, т. е. $(22{,}90-22{,}30) : 3 = 0{,}6 : 3 = 0{,}2$.

Теперь, следовательно, можно, во-первых, определить величину уклона подземных вод: $i = 0{,}6 : 50 = 0{,}012$, а во-вторых, — наметить местоположение отметок уровней подземных вод между ними: 22,50 и 22,70. Соединяя теперь точку E с отметкой уровня 22,70 в скв. 2, получаем гидроизогипсу с отметкой 22,70. Параллельно ей проводим и другие гидроизогипсы, как показано на рис. XI-1. Направление движения подземных вод перпендикулярно гидроизогипсам.

Внутри треугольника, образованного скв. 1, 2, 3, располагаются четыре скважины A, B, C, $Д$, по которым надлежит производить наблюдение за скоростью движения подземных вод. При этом скважины A и B, как показано на рис. XI-2, располагаются по направлению движения подземных вод, а вспомогательные C и $Д$ — в перпендикулярном направлении, с учетом, чтобы линии AC и $AД$ составляли угол 15—20° с линией AB. Скважина A является пусковой, B, C и $Д$ — наблюдательными.

Можно рекомендовать следующие расстояния L между пусковой и наблюдательными скважинами:

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

б) в более проницаемых для воды мелких и средних песках — 1—2 *м*;

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

г) в хорошо проницаемых трещиноватых породах — 5—10 *м*;

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

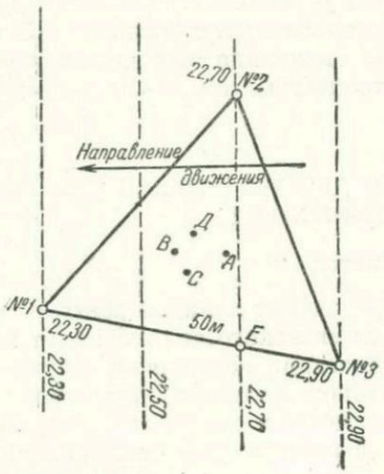


Рис. XI-1. Определение направления движения подземных вод по трем скважинам 1, 2, 3.

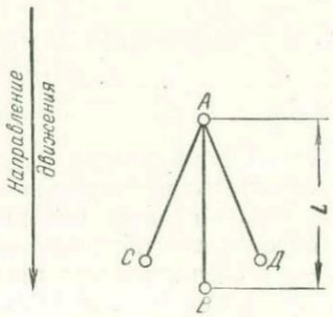


Рис. XI-2. Схема размещения пусковой скважины *А* и наблюдательных *В*, *С*, *Д* при определении скорости движения подземных вод.

Окончательный выбор расстояния между скважинами L связан с продолжительностью опыта

$$t = \frac{L}{v'},$$

где v' ориентировочное значение действительной средней скорости при уклонах 0,001—0,01 дается в табл. XI-1.

Таблица XI-1

Наименование породы	v', *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 назначается в соответствии с их глубиною; в рыхлых породах должен быть установлен фильтр диаметром не менее 60/50 *мм*. Конечный диаметр пусковой скважины должен быть более 100 *мм* и обеспечить опускание в скважину специального цилиндра для введения раствора.

Перед установкою 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 часа в течение всего опыта (начиная с момента окончания оборудования скважины). Температура воды измеряется с точностью до 0,1° С ленивым термометром два раза — до и после опыта.

§ 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Химический метод

Химический метод заключается в определении наличия раствора соли в наблюдательной скважине с помощью химического анализа; этот метод можно рекомендовать при неглубоком залегании водоносного горизонта. Наиболее часто употребляемым индикатором является хлористый натрий — поваренная соль; кроме того, применяют хлористый кальций и хлористый аммоний. Рекомендованная дозировка этих веществ приведена в табл. XI-2.

Таблица XI-2

Название индикатора	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 производится двумя методами.

Первый метод заключается в опускании в скважину цилиндра, днище которого закрыто конусообразным клапаном. Как показано на рис. XI-3, 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 отпускают, 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 раствор 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

устанавливается титрованием воды раствором азотно-кислого 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.

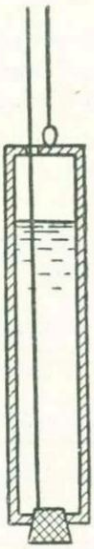


Рис. XI-3. Цилиндр для запуска раствора в скважину.

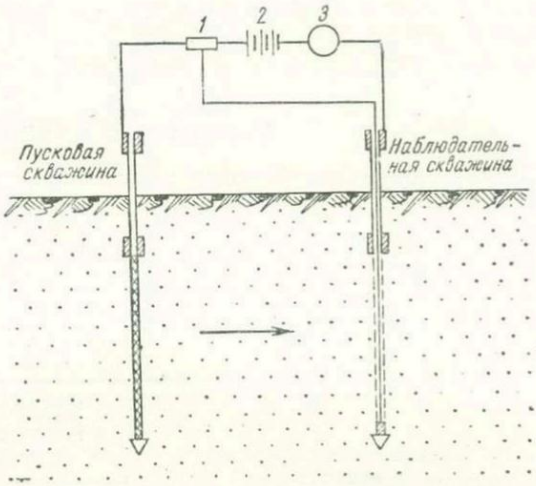


Рис. XI-4. Схема электрических соединений при определении действительной скорости движения подземных вод.

1 — реостат; *2* — источник тока; *3* — амперметр.

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

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. XI-4. 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

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. XI-3).

Таблица XI-3

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

Указанные красящие вещества в виде раствора в щелочи или 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.[1]

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;

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.

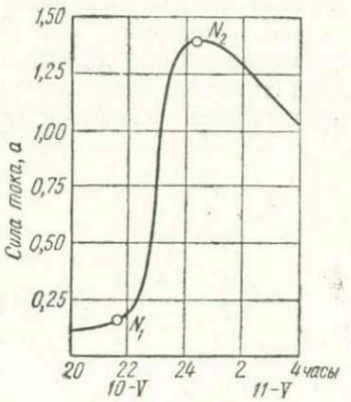


Рис. XI-5. Кривая изменения силы тока в наблюдательной скважине в зависимости от времени (N_1 — момент появления индикатора, N_2 — момент максимальной концентрации).

Полевая обработка материалов опыта заключается в построении кривой концентрации, показанной на рис. XI-5. 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.

Камеральная обработка данных заключается, как указывалось выше, в определении скорости

$$v' = \frac{L}{t},$$

где L — расстояние от пусковой до наблюдательной скважины;

t — продолжительность движения индикатора между скважинами. Величина t определяется из графика рис. XI-5.

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

[1] Инструкция составлена С. А. Колем.

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 заключение следует отметить, что значительные успехи ядерной физики и энергетики нашли некоторое отражение также и в гидрогеологии, в частности, в методах определения действительной скорости движения подземных вод путем использования как природных, так и искусственно получаемых радиоактивных изотопов ряда элементов.

К сожалению, эти методы при гидрогеологических исследованиях применяются еще далеко недостаточно, если не считать определения радиоактивными методами водоносных горизонтов в глубоких скважинах, проходимых на нефть и газ.

Глава XII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПО ДАННЫМ ОТКАЧЕК, НАЛИВОВ, НАГНЕТАНИЙ, ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ФОРМУЛАМ

§ 1. ОТКАЧКИ ИЗ СКВАЖИН В ОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ (ДВИЖЕНИЕ ПОДЧИНЯЕТСЯ ЗАКОНУ ДАРСИ $v = KI$)

Откачки из совершенных скважин в безнапорном горизонте

Скважина расположена на значительном расстоянии от реки или водоема

При круговом контуре питания или когда схема притока может быть приведена к радиальному потоку, как показано на рис. XII-1, вычисление коэффициента фильтрации производится по формулам Дюпюи.

По данным для одиночного колодца или скважины

$$K = \frac{0{,}733\, Q \lg \frac{R}{r_0}}{H^2 - h_0^2} \ м/сутки; \qquad \text{(XII-1)}$$

по данным для двух наблюдательных скв. 1 и 2

$$K = \frac{0{,}733\, Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{h_2^2 - h_1^2}; \qquad \text{(XII-2)}$$

по данным для центральной и одной из наблюдательных скважин (например, скв. 1)

$$K = \frac{0{,}733\, Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{h_1^2 - h_0^2}, \qquad \text{(XII-3)}$$

где Q — дебит, $м^3/сутки$;

H — мощность водоносного горизонта у скважины до откачки, $м$;

R — радиус влияния, $м$ (см. гл. XIII).

Остальные обозначения ясны из рис. XII-1.

Если приток к скважине происходит не радиально, т. е. если имеет место асимметричная воронка депрессии, — что наблюдается в случае, когда скважина расположена в зоне между контурами питания и дренажа, — коэффициент фильтрации определяется по формуле А. В. Романова [1952] (рис. XII-2).

$$K = \frac{0{,}733\, Q \lg \left[\frac{2L}{\pi r_0} \cos \frac{\pi (l_1 - l_2)}{2L} \right]}{H^2 - h_0^2}, \qquad \text{(XII-4)}$$

где l_1 и l_2 — соответственно расстояния от скважины до контуров питания и дренажа, *м*;
$L = l_1 + l_2$ — расстояние между этими контурами, *м*;
Остальные обозначения те же, что и в формулах (XII-1) — (XII-3).

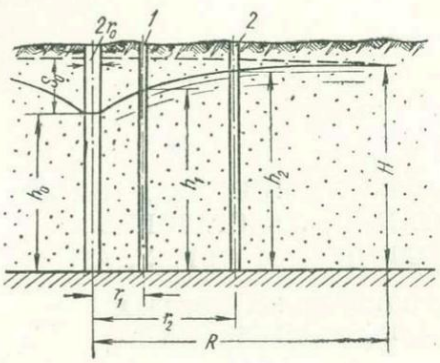


Рис. XII-1. Радиальный приток к совершенной скважине.

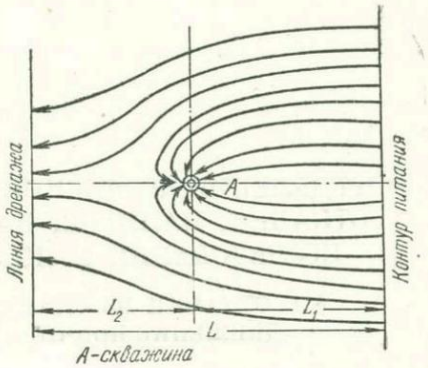


Рис. XII-2. Приток к скважине при асимметричной воронке депрессии.

При расположении скважины на равных расстояниях от линии дренажа и контура питания, т. е. при $l_1 = l_2$, формула (XII-4) дает практически те же результаты, что и формула (XII-1).

Определение коэффициента фильтрации по замерам уровней у наружной стенки фильтра

Определение коэффициента фильтрации в этом случае производится методом С. А. Коля [1940] следующим образом:

$$K = 0{,}000733 \frac{\lg \frac{R}{r}}{\beta} \quad м/сек, \tag{XII-5}$$

где R — радиус влияния;
r — расстояние между осями центральной скважины и пьезометра, установленного снаружи фильтра; в этом пьезометре и ведутся наблюдения за динамическим уровнем;
β — коэффициент, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{\sum (H^2 - h^2)}{\sum Q}. \tag{XII-6}$$

Коэффициент β представляет собою отношение суммы разностей квадратов статического и динамического уровней H и h к сумме соответствующих дебитов (в *л/сек*).

Коэффициент β может быть также определен графическим путем, для чего откладываем (рис. XII-3) точки с координатами h^2 и Q; на оси ординат откладываются величины H^2 и h^2, а по оси абсцисс — соответствую-

щие дебиты Q. Затем строим прямую, наиболее удовлетворяющую этим точкам. При этом

$$\beta = \operatorname{tg}\varphi, \tag{XII-7}$$

где φ — угол наклона прямой к горизонту.

Пример. В водоносном горизонте, мощность которого $H = 15{,}0$ *м* заложена скважина, из которой производится опытная откачка. Наблюдения ведутся в пьезометре, находящемся на расстоянии $r = 0{,}4$ *м* от оси центральной скважины. Осуществлено три понижения: 0,7, 1,4 и 2,35 *м* при соответственных дебитах 1,4, 2,6 и 3,9 *л/сек*. Определить методом С. А. Коля коэффициент фильтрации, если радиус влияния $R = 300$ *м*.

Устанавливаем динамические уровни $h_1 = 15{,}0 - 0{,}7 = 14{,}3$ *м*; $h_2 = 15{,}0 - 1{,}4 = 13{,}6$ *м*; $h_3 = 15 - 2{,}35 = 12{,}65$ *м*. Квадраты этих величин: 204,5, 185, 160. Квадрат статического уровня $15^2 = 225$.

Откладываем на графике рис. XII-3 точки с координатами h^2 и Q и проводим прямую. Коэффициент

$$\beta = \operatorname{tg}\varphi = 16{,}0.$$

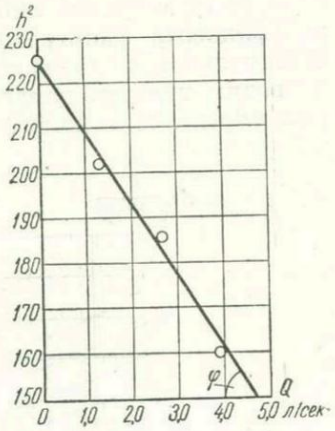


Рис. XII-3. График для определения коэффициента β в формуле (XII-5).

Определим также β по (XII-6)

$$\beta = \frac{(225-204{,}5)+(225-185)+(225-160)}{1{,}4+2{,}6+3{,}9} = \frac{125{,}5}{7{,}9} = 15{,}9.$$

Коэффициент фильтрации по (XII-5)

$$K = \frac{0{,}000733 \cdot \lg\frac{300}{0{,}4}}{16{,}0} = 0{,}000132 \text{ м/сек} = 18{,}2 \text{ м/сутки}.$$

Определение коэффициента фильтрации в условиях неустановившегося дебита и понижения

В этом случае определение коэффициента фильтрации производится методом Н. К. Гиринского [1950], по данным наблюдений за понижениями уровня в центральной скважине следующим образом.[1]

Определяются предварительно величины

$$A = \frac{Q}{S_0(2H - S_0)} \text{ и } B = \frac{tH}{\mu r_0^2}, \tag{XII-8}$$

где (рис. XII-1) Q — средняя величина дебита скважины во второй половине откачки, *м³/сутки*;

S_0 — средняя величина понижения в скважине во второй половине откачки, *м*;

H — мощность водоносного горизонта до откачки, *м*;

t — продолжительность откачки в сутках;
μ — коэффициент водоотдачи (по лабораторным данным);
r_0 — радиус фильтра скважины, *м*.

По числовым значениям A и B коэффициент фильтрации находится либо по графику рис. XII-4, на котором связь между A и B представлена для числовых значений коэффициента фильтрации от $K = 1$ *м/сутки* до $K = 10$ *м/сутки*, либо по графику рис. XII-5, на котором величины коэффициента фильтрации даны до $K = 100$ *м/сутки*. Откладывая по вертикальной и горизонтальной осям графика соответственно A и B, проводим прямые, параллельные координатным осям, пересечение которых определит искомый коэффициент фильтрации.

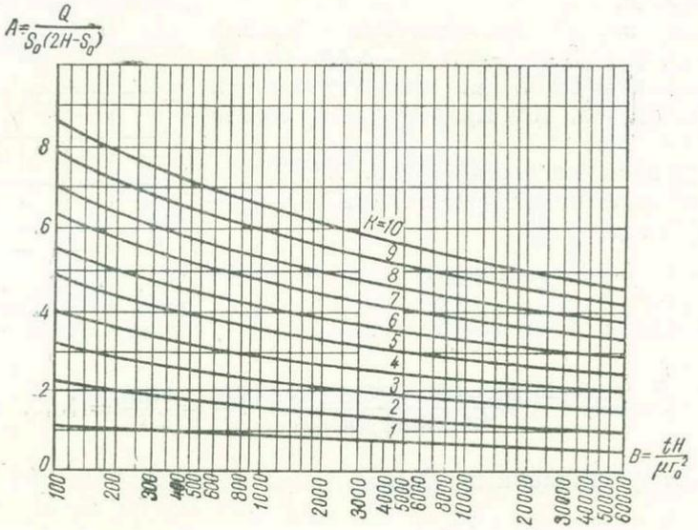


Рис. XII-4. График для определения коэффициента фильтрации в пределах от $K = 1$ *м/сутки* до $K = 10$ *м/сутки* по методу Гиринского.

Пример. Из совершенной скважины диаметром 200 *мм*, заложенной в водоносном горизонте мощностью $H = 7{,}5$ *м*, откачка производилась в течение 8 часов. При постоянном дебите $Q = 1{,}7$ *л/сек* наблюдалось следующее понижение в центральной скважине:

Время замера от начала откачки, часы	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Понижение уровня, *м*	1,50	1,55	1,57	1,57	1,59	1,59	1,60	1,60	1,61

Среднее — 1,60

Определить коэффициент фильтрации, если водоотдача $\mu = 0{,}15$. Учитывая, что $t = 8$ час. $= \frac{8}{24} = 0{,}33$ суток, $Q = 1{,}7 \cdot 86{,}4 = 147$ *м*³/*сутки*, $r_0 = 100$ *мм* $= 0{,}1$ *м*; найдем по (XII-8):

$$A = \frac{147}{1{,}6\,(2 \cdot 7{,}5 - 1{,}6)} = 6{,}86; \quad B = \frac{0{,}33 \cdot 7{,}5}{0{,}15 \cdot 0{,}01} = 1667.$$

При этих значениях A и B по графику рис. XII-5 найдем значение $K = 12{,}0$ *м*/*сутки*.

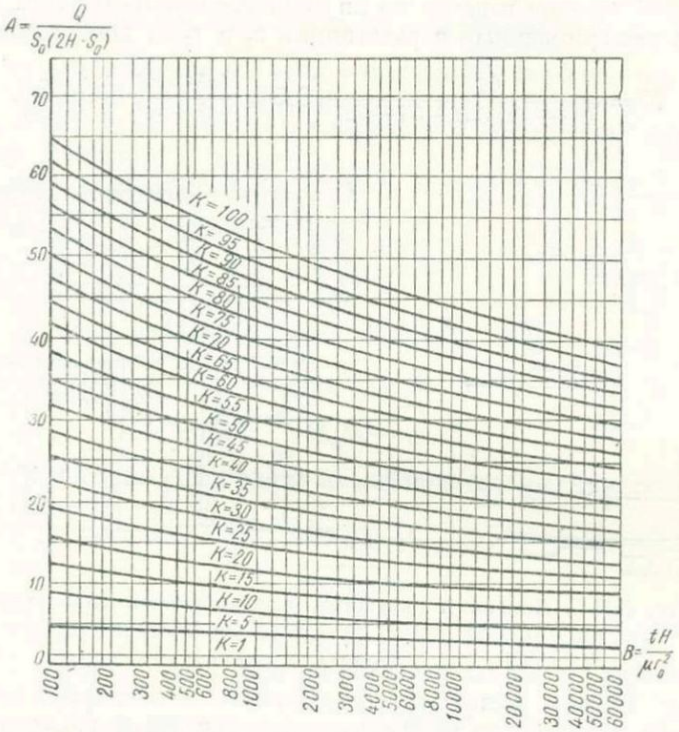


Рис. XII-5. График для определения коэффициента фильтрации в пределах от $K = 1$ *м*/*сутки* до $K = 100$ *м*/*сутки* по методу Гириńского.

Скважина расположена близ реки или водоема

Этот случай представлен на рис. XII-6. Значение коэффициента фильтрации определяется в зависимости от того, ведется наблюдение по центральной скважине или по кусту, состоящему из наблюдательной скв. № 1 или двух наблюдательных скв. № 1 и 2. При этом лучи наблюдательных скважин могут быть расположены перпендикулярно или параллельно урезу реки или водоема.

1. Если наблюдение ведется по центральной скважине, расположенной в расстоянии a от реки или водоема, причем $a < 0{,}5\,R$, где R — радиус влияния, то по формуле Ф. Форхгеймера [1935]

$$K = 0{,}733\,\frac{Q \lg \frac{2a}{r_0}}{H^2 - h_0^2}. \qquad \text{(XII-9)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-6.

2. Луч куста скважин расположен параллельно реке (рис. XII-6а и XII-6в).

В том случае, когда наблюдение ведется по одной наблюдательной скв. 1, расположенной в расстоянии r_1 от центральной, по формуле В. Д. Бабушкина [1950]

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_1\,(2H - S_1)} \lg \frac{\sqrt{4a^2 - r_1^2}}{r_1}. \qquad \text{(XII-10)}$$

Если наблюдение ведется по двум наблюдательным скв. 1 и 2, соответственно расположенным в расстоянии r_1 и r_2 от центральной, тогда:

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{(S_1 - S_2)\,(2H - S_1 - S_2)} \left(0{,}5 \lg \frac{4a^2 + r_1^2}{4a^2 + r_2^2} + \lg \frac{r_2}{r_1}\right). \qquad \text{(XII-11)}$$

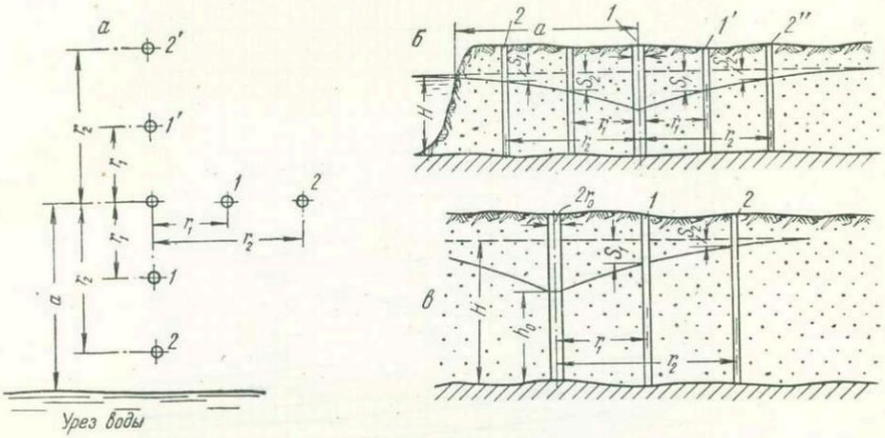


Рис. XII-6. Приток к скважине, расположенной близ водоема.

Обозначения ясны из рис. XII-6а и XII-6в.

3. Луч куста скважин расположен перпендикулярно к реке (рис. XII-6а и XII-6б), а наблюдательные скважины размещаются в пределах между рекою и центральной скважиной.

В том случае, когда наблюдение ведется по одной наблюдательной скв. 1, расположенной в расстоянии r_1 от центральной,

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_1\,(2H - S_1)} \lg \frac{2a - r_1}{r_1}. \qquad \text{(XII-12)}$$

Если наблюдения ведутся по наблюдательным скв. 1 и 2, расположенным соответственно в расстоянии r_1 и r_2 от центральной,

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{(S_1 - S_2)\,(2H - S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2\,(2a - r_1)}{r_1\,(2a - r_2)}. \qquad \text{(XII-13)}$$

4. Луч куста скважин расположен перпендикулярно к реке (рис. XII-6а и XII-6б) и направлен в сторону от реки (скв. 1′ и 2′).

В том случае, когда наблюдение ведется по одной наблюдательной скв. 1′, расположенной в расстоянии r_1 от центральной,

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_1\,(2H - S_1)} \lg \frac{2a + r_1}{r_1}. \qquad \text{(XII-14)}$$

При наблюдениях по скв. 1′ и 2′ соответственно

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{(S_1 - S_2)(2H - S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2(2a + r_1)}{r_1(2a + r_2)}. \qquad \text{(XII-15)}$$

В формулах (XII-10—XII-15) обозначения ясны из рис. XII-6а, б, в.

Откачки из совершенных скважин в напорном горизонте

Скважина расположена на значительном расстоянии от реки или водоема

При круговом контуре питания скважины (или колодца), или когда схема притока может быть приведена к радиальному потоку, как показано на рис. XII-7, вычисление коэффициента фильтрации производится по формулам Дюпюи.

По данным для одиночного колодца или скважины

$$K = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{R}{r_0}}{MS_0}; \qquad \text{(XII-16)}$$

по данным для двух наблюдательных скважин 1 и 2

$$K = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{M(h_2 - h_1)}; \qquad \text{(XII-17)}$$

по данным для центральной и одной из наблюдательных (например, скв. 1)

$$K = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{M(h_1 - h_0)}. \qquad \text{(XII-18)}$$

В формулах (XII-16), (XII-17), (XII-18) обозначено:

Q — дебит;

H — первоначальный (не пониженный) пьезометрический уровень подземных вод;

h_1 и h_2 — пьезометрические уровни в скв. 1 и 2;

R — радиус влияния.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-7.

Если приток к скважине происходит не радиально, т. е. если имеет место асимметричная воронка пьезометрического уровня, что наблюдается в случае, когда скважина расположена в зоне между контурами питания и дренажа (см. рис. XII-2), — коэффициент фильтрации определяется по формуле А. В. Романова [1952]

$$K = \frac{0{,}366 \lg \left[\frac{2L}{\pi r_0} \cos \frac{\pi(l_1 - l_2)}{2L}\right]}{MS_0}, \qquad \text{(XII-19)}$$

где S_0 — понижение уровня в скважине (рис. XII-7);

l_1 и l_2 — соответственно расстояния от скважины до контуров питания и дренажа;

$L = l_1 + l_2$ — расстояние между этими контурами (рис. XII-2).

Остальные обозначения те же, что и выше.

При расположении скважины на равных расстояниях от линии дренажа и контура питания, т. е. при $l_1 = l_2$ формула (XII-19) дает практически те же результаты, что и формула (XII-18).

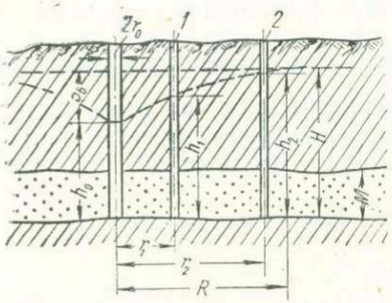


Рис. XII-7. Радиальный приток к совершенной скважине.

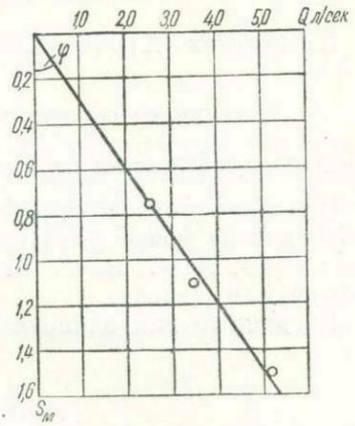


Рис. XII-8. График для определения удельного дебита графическим путем.

Определение коэффициента фильтрации по замерам уровней у наружной стенки скважины

Определение коэффициента фильтрации в этом случае производится методом С. А. Коля [1940] следующим образом

$$K = \frac{0{,}000366\, q \lg \frac{R}{r}}{M} \text{ м/сутки} \qquad \text{(XII-20)}$$

где R — радиус влияния;

r — расстояние между осями центральной скважины и пьезометра, установленного снаружи фильтра скважины;

q — определяется по формуле

$$q = \frac{\sum Q}{\sum (H - h)} = \frac{\sum Q}{\sum S}, \qquad \text{(XII-21)}$$

носит название удельного дебита и представляет собою отношение суммы дебитов (*л/сек*) к сумме соответствующих разностей статического и динамического уровней H и h.

Удельный дебит q может быть также определен графическим путем. Откладывая (рис. XII-8) на графике точки с координатами Q и S, соответствующие нескольким понижениям, строим прямую, наиболее удовлетворяющую этим точкам. При этом

$$q = \operatorname{tg} \varphi, \qquad \text{(XII-22)}$$

где φ — угол наклона прямой к вертикали.

Пример. В напорном водоносном горизонте, мощность которого M = 10,0 *м*, заложена скважина из которой производится опытная откачка. Наблюдения ведутся по пьезометру, центр которого расположен в 0,5 *м* от оси центральной скважины. Осуществлено три понижения:

0,75, 1,1 и 1,5 *м* при соответствующих дебитах 2,5, 3,5 и 5,2 *л/сек*. Определить методом С. А. Коля коэффициент фильтрации, если радиус влияния $R = 550$ *м*.

Откладывая на графике рис. XII-8 упомянутые понижения и соответствующие им дебиты, проводим прямую, наиболее удовлетворяющую намеченным точкам.

Удельный дебит

$$q = \operatorname{tg}\varphi = 3{,}33.$$

Определим также q по (XII-21)

$$q = \frac{2{,}5 + 3{,}5 + 5{,}2}{0{,}75 + 1{,}1 + 1{,}5} = 3{,}34.$$

Коэффициент фильтрации по (XII-20)

$$K = \frac{0{,}000366 \cdot 3{,}33 \cdot \lg \frac{550}{0{,}5}}{10{,}0} = 0{,}00037 \text{ } м/сек = 32 \text{ } м/сутки.$$

Динамический уровень в скважине ниже кровли водоносного горизонта

В этом случае, имея в виду круговой контур питания скважины, или когда схема притока может быть приведена к радиальному потоку, как видно из рис. XII-9, в водоносном горизонте различают две зоны движения: зону безнапорного движения (близлежащую к скважине) и зону напорного движения (отдаленную от скважины). Созданный таким образом режим движения в водоносном горизонте носит название напорно-безнапорного.

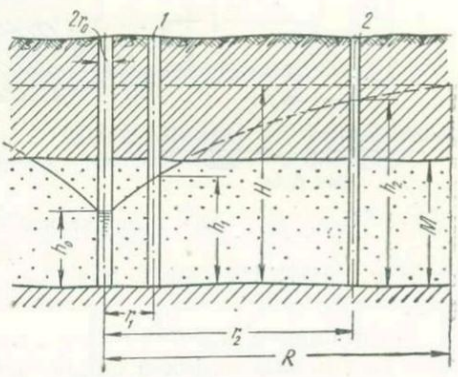


Рис. XII-9. Радиальный приток к совершенной скважине в условиях напорно-безнапорного движения.

По наблюдениям в центральной скважине коэффициент фильтрации может быть определен по формулам, основанным на формуле Дюпюи.

$$K = \frac{0{,}733\, Q \lg \frac{R}{r_0}}{(2H - M)\, M - h_0^2}. \quad \text{(XII-23)}$$

Если наблюдения ведутся по скв. 1 и 2, соответственно находящимся в зонах безнапорного и напорного режимов, коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$K = \frac{0{,}733\, Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{(2h_2 - M)\, M - h_1^2}. \quad \text{(XII-24)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-9.

Скважина расположена близ реки или водоема

Эти случаи представлены на рис. XII-10. Значение коэффициента фильтрации определяется по формулам В. Д. Бабушкина [1950], в зависимости от расположения луча наблюдательных скважин и числа их.

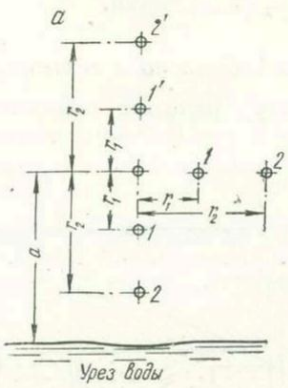
I. Если луч расположен параллельно реке (рис. XII-10а, в) и наблюдение ведется по одной наблюдательной скв. 1, расположенной в расстоянии r_1 от центральной, тогда

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{MS_1} \lg \frac{\sqrt{4a^2 + r_1^2}}{r_1} \qquad \text{(XII-25)}$$

При наблюдениях по двум скв. 1 и 2, расположенным соответственно в расстоянии r_1 и r_2 от центральной, коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{M(S_1 - S_2)} \left(0{,}5 \lg \frac{4a^2 + r_1^2}{4a^2 + r_2^2} + \lg \frac{r_2}{r_1}\right). \qquad \text{(XII-26)}$$

II. Если луч расположен перпендикулярно к реке (рис. XII-10а, б), то расчетные формулы для определения коэффициента фильтрации определяются местоположением луча.



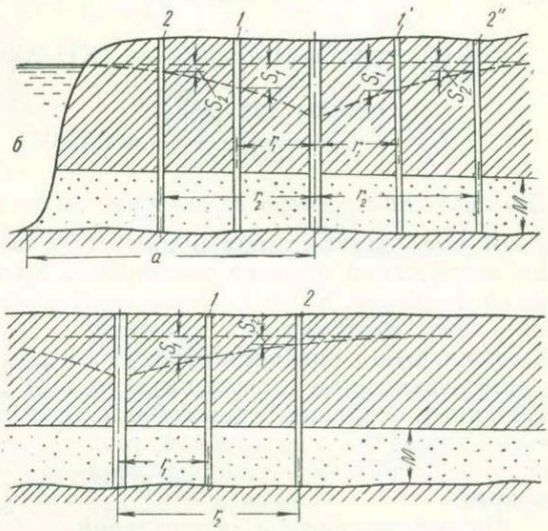


Рис. XII-10. Приток к артезианской скважине, расположенной близ водоема.

В том случае, когда луч направлен к реке (наблюдательные скв. 1 и 2), тогда при наблюдениях в одной скв. 1

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{MS_1} \lg \frac{2a - r_1}{r_1}; \qquad \text{(XII-27)}$$

при наблюдениях в двух скв. 1 и 2

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{M(S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2(2a - r_1)}{r_1(2a - r_2)}. \qquad \text{(XII-28)}$$

III. В том случае, когда луч направлен от реки (наблюдательные скв. 1′ и 2′), тогда при наблюдениях в одной скв. 1′

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{MS_1} \lg \frac{2a + r_1}{r_1}. \qquad \text{(XII-29)}$$

При наблюдениях по скв. 1′ и 2′ соответственно

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{M(S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2(2a + r_1)}{r_1(2a + r_2)}. \qquad \text{(XII-30)}$$

В формулах (XII-25) — (XII-30) обозначения ясны из рис. XII-10а, б, в.

Откачки из несовершенных скважин в безнапорном горизонте

Водоприемная часть фильтра не затоплена; скважина удалена от реки или водоема

Величина коэффициента фильтрации определяется по следующим различным формулам, в зависимости от длины рабочей части фильтра, числа и характера наблюдательных скважин:

I. Длина рабочей части фильтра одиночной скважины $l < 0{,}3\ H$, мощность водоносного горизонта безгранична (рис. XII-11). Коэффициент фильтрации определяется по формуле В. Д. Бабушкина

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_0\left(\dfrac{l+S_0}{\lg\dfrac{R}{r_0}} + \dfrac{l}{\lg\dfrac{0{,}66\,l}{r_0}}\right)}. \qquad \text{(XII-31)}$$

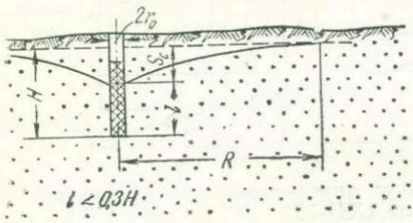


Рис. XII-11. Приток к несовершенной скважине при $l < 0{,}3\ H$.

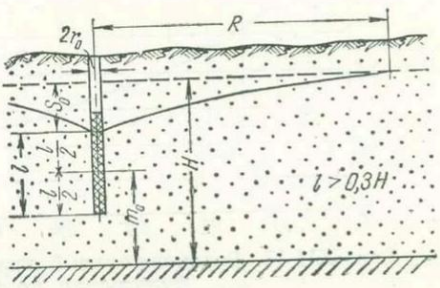


Рис. XII-12. Приток к несовершенной скважине при $l > 0{,}3\ H$.

Обозначения ясны из рис. XII-11.

II. Длина рабочей части фильтра одиночной скважины $l > 0{,}3\ H$ при ограниченной мощности H водоносного горизонта (рис. XII-12). Коэффициент фильтрации определяется по формуле В. Д. Бабушкина

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_0\left[\dfrac{l+S_0}{\lg\dfrac{R}{r_0}} + \dfrac{2m_0}{\dfrac{m_0}{2l}\left(2\lg\dfrac{4m_0}{r_0} - A\right) - \lg\dfrac{4m_0}{R}}\right]}, \qquad \text{(XII-32)}$$

где Q — дебит.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-12.

Коэффициент A берется из графика рис. XII-13 в зависимости от отношения $\alpha = \dfrac{l}{m_0}$.

Пример. Водоносный горизонт, мощность которого $H = 10$ *м* пройден на глубину 6,0 *м*. Откачка из скважины ведется при понижении $S_0 = 1{,}0$ *м*, таким образом, длина рабочей части фильтра $l = 5{,}0$ *м*. Диаметр скважины — 0,2 *м*, радиус влияния установлен равным $R = 50$ *м*. Определить коэффициент фильтрации, если величина дебита $Q = 1{,}2$ *л/сек*.

Поскольку $l = 5{,}0$ *м* больше $0{,}3\ H = 3{,}0$, определение коэффициента фильтрации производим по формуле (XII-32). Предварительно

находим: $m_0 = H - S_0 - \frac{l}{2} = 10 - 1{,}0 - 2{,}5 = 6{,}5$ *м*. Далее $\alpha = \frac{l}{m_0} = \frac{5{,}0}{6{,}5} = 0{,}77$, по графику (рис. XII-13) $A = 0{,}7$; $Q = 1{,}2 \cdot 86{,}4 = 103{,}7$ *м*³/*сутки*.

Подставляя все величины в формулу (XII-32), находим

$$K = \frac{0{,}733 \cdot 103{,}7}{1{,}0\left[\frac{5{,}0+1{,}0}{\lg\frac{50}{0{,}1}} + \frac{2 \cdot 6{,}5}{\frac{6{,}5}{10{,}0}\left(2\lg\frac{4 \cdot 6{,}5}{0{,}1} - 0{,}7\right) - \lg\frac{4 \cdot 6{,}5}{50}}\right]} = 11{,}5 \text{ } м/сутки.$$

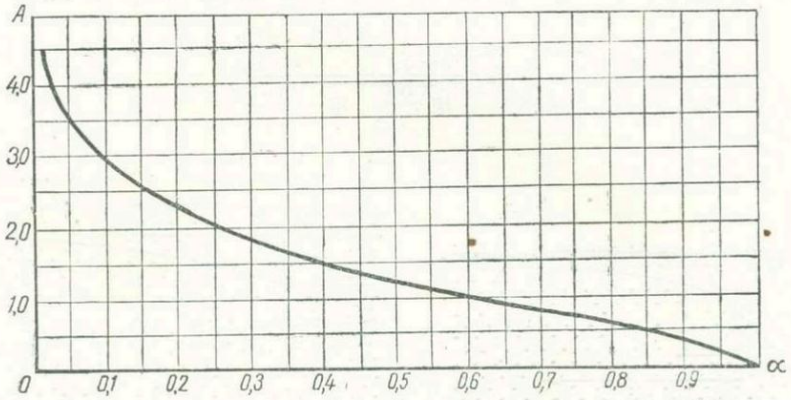


Рис. XII-13. Вспомогательный график для определения коэффициента фильтрации по формуле (XII-32).

III. Длина рабочей части фильтра центральной скважины $l < 0{,}3\ H$; наблюдения ведутся по центральной и наблюдательным скважинам (рис. XII-14).

Если наблюдения ведутся по центральной и наблюдательной скв. 1, коэффициент фильтрации определяется по формуле Н. К. Гиринского [1950]

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l_{ц-1}(S_0 - S_1)}\left(\ln\frac{1{,}6\,l_{ц-1}}{r_0} - \operatorname{arsh}\frac{l_{ц-1}}{r_1}\right), \qquad \text{(XII-33)}$$

где

$$l_{ц-1} = l_0 - 0{,}5\,(S_0 - S_1). \qquad \text{(XII-34)}$$

Остальные обозначения ясны из рис. XII-14; значения обратного гиперболического синуса приведены в приложении VII; Q — дебит скважины. При этом рекомендуется размещать скв. 1 в расстоянии $r_1 \leqslant 2\sqrt{lS_{max}}$ от центральной, где S_{max} — максимальное понижение.

Если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скв. 1 и 2, тогда

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l_{1-2}(S_1 - S_2)}\left(\operatorname{arsh}\frac{l_{1-2}}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{l_{1-2}}{r_2}\right), \qquad \text{(XII-35)}$$

где

$$l_{1-2} = l_0 - 0{,}5\,(S_1 - S_2). \qquad \text{(XII-36)}$$

Остальные обозначения ясны из рис. XII-14. При этом рекомендуется размещать наблюдательные скв. 1 и 2 в расстоянии

$$r_1 = 0{,}3\,r_2;\ r_2 \leqslant 2\sqrt{lS_{max}}.$$

Формулы (XII-33) и (XII-35) справедливы при $S_0 < 0{,}3\,l_0$.

Если наблюдения ведутся только по наблюдательной скв. 1, тогда по формуле В. Д. Бабушкина

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l_{ц-1} \cdot S_1} \operatorname{arsh} \frac{l_{ц-1}}{r_1}, \qquad \text{(XII-37)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-14, $l_{ц-1}$ определяется по XII-34.

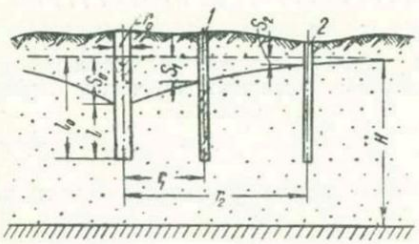


Рис. XII-14. Приток к несовершенной скважине; наблюдения ведутся по одной и двум наблюдательным скважинам.

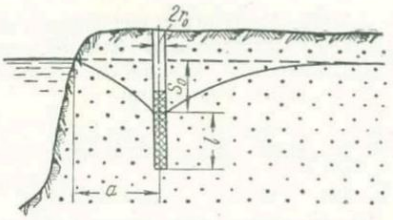


Рис. XII-15. Приток к несовершенной скважине, расположенной близ водоема при безграничной мощности водоносного горизонта.

Водоприемная часть фильтра не затоплена; скважина находится близ реки или водоема

Величина коэффициента фильтрации определяется по формулам В. Д. Бабушкина в зависимости от следующих условий.

I. Если мощность водоносного горизонта можно принять безграничной и расстояние от реки или водоема до скважины больше длины рабочей части фильтра, т. е. $a > l$, тогда (рис. XII-15)

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_0\left[\dfrac{l+S_0}{\lg\dfrac{2a}{r_0}} + \dfrac{l}{\lg\dfrac{0{,}66\,l}{r_0} - 0{,}22 \operatorname{arsh}\dfrac{0{,}44\,l}{a}}\right]}. \qquad \text{(XII-38)}$$

Если $a < l$, тогда

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_0\left[\dfrac{l+S_0}{\lg\dfrac{2a}{r_0}} + \dfrac{l}{\lg\dfrac{0{,}66\,l}{r_0} - 0{,}11\dfrac{l}{a}}\right]}. \qquad \text{(XII-39)}$$

Здесь Q — дебит.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-15.

II. Если мощность водоносного горизонта ограничена и $a > \frac{m_0}{2}$, тогда (рис. XII-16)

$$K = \frac{0{,}733\,Q}{S_0\left[\dfrac{l+S_0}{\lg\dfrac{2a}{r_0}} + \dfrac{l}{\lg\dfrac{0{,}66\,l}{r_0} + 0{,}25\dfrac{l}{m_0}\lg\dfrac{a^2}{m_0^2 - 0{,}14\,l^2}}\right]}. \qquad \text{(XII-40)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-16.

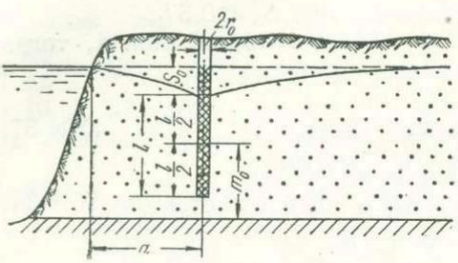


Рис. XII-16. Приток к несовершенной скважине, расположенной близ водоема при ограниченной мощности водоносного горизонта.

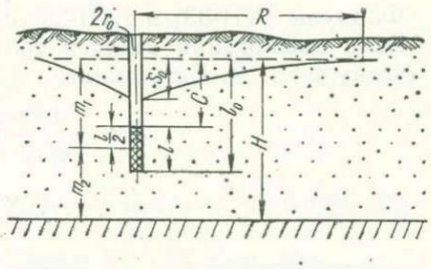


Рис. XII-17. Приток к несовершенной скважине; водоприемная часть фильтра затоплена.

Водоприемная часть фильтра затоплена; скважина удалена от реки или водоема

Величина коэффициента фильтрации определяется по следующим различным формулам в зависимости от длины рабочей части фильтра, числа и характера наблюдательных скважин.

I. Наблюдения ведутся лишь по центральной скважине (рис. XII-17).

Если глубина заложения скважины $l_0 < \frac{H}{2}$, тогда коэффициент фильтрации определяется по приближенной формуле В. Д. Бабушкина

$$K = 0{,}183\frac{Q}{lS_0} \times \times \left(B - 2\lg\frac{r_0}{c}\right). \qquad \text{(XII-41)}$$

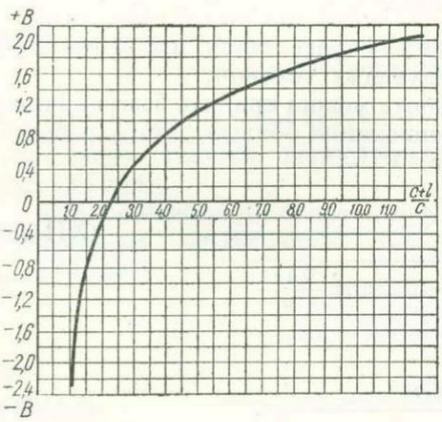


Рис. XII-18. Вспомогательный график для определения коэффициента фильтрации по формуле (XII-41).

Обозначения ясны из рис. XII-17,

$$B = f\left(\frac{c+l}{c}\right).$$

определяется по графику рис. XII-18, Q — дебит скважины.

Если глубина заложения скважины $l_0 > \frac{H}{2}$, коэффициент фильтрации определяется по формуле В. Д. Бабушкина [1950]

$$K = 0{,}366\,\frac{Q}{S_0}\left(\frac{1}{Б+Д}\right), \qquad \text{(XII-42)}$$

где

$$Б = \frac{m_1}{\frac{1}{2a_1}\left(2\lg\frac{4m_1}{r_0} - A_1\right) - \lg\frac{4m_1}{R}}, \qquad \text{(XII-43)}$$

$$Д = \frac{m_2}{\frac{1}{2a_2}\left(2\lg\frac{4m_2}{r_0} - A_2\right) - \lg\frac{4m_2}{R}}. \qquad \text{(XII-44)}$$

Здесь R — радиус влияния; A_1 и A_2 определяются соответственно в зависимости от α_1 и α_2 по графику рис. (XII-13), причем

$$\alpha_1 = \frac{0{,}5\,l}{m_1}, \qquad \text{(XII-45)}$$

$$\alpha_2 = \frac{0{,}5\,l}{m_2}. \qquad \text{(XII-46)}$$

Остальные обозначения в (XII-42)—(XII-46) ясны из рис. XII-17.

II. Наблюдения ведутся по одной или двум наблюдательным скважинам, фильтры которых примыкают к водоупору (рис. XII-19).

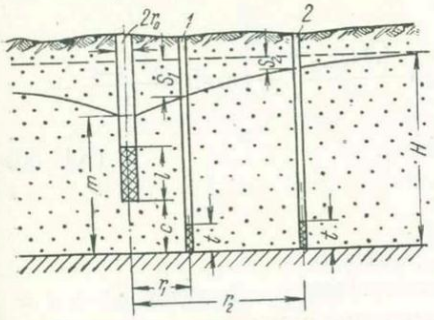


Рис. XII-19. Приток к несовершенной скважине; водоприемная часть фильтра затоплена, наблюдательные скважины доведены до водоупора.

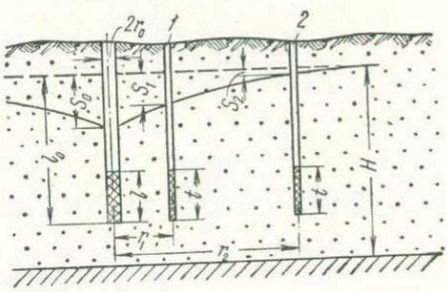


Рис. XII-20. Приток к несовершенной скважине; водоприемная часть фильтра затоплена, наблюдательные скважины не доведены до водоупора.

В этом случае коэффициент фильтрации определяется по приближенной формуле В. Д. Бабушкина [1950], причем, если наблюдения ведутся по центральной скважине и наблюдательной скв. 1, расположенной в расстоянии $r_1 < m$, то

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{lS_1}\left(\operatorname{arsh}\frac{c+l}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{c}{r_1}\right); \qquad \text{(XII-47)}$$

если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скв. 1 и 2, причем скв. 2 расположена в расстоянии $r_2 < m$, то

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l\,(S_1 - S_2)}\left[\left(\operatorname{arsh}\frac{c+l}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{c}{r_1}\right) - \left(\operatorname{arsh}\frac{c+l}{r_2} - \operatorname{arsh}\frac{c}{r_2}\right)\right]. \qquad \text{(XII-48)}$$

Пользование зависимостями (XII-47) и (XII-48) возможно в том случае, если $c + l < 0{,}5\ H$ и если $t < 0{,}5\ (c + l)$.

Обозначения ясны из рис. XII-19.

III. Наблюдения ведутся по одной или двум наблюдательным скважинам, фильтры которых не доведены до водоупора.

Этот случай представлен на рис. XII-20. Коэффициент фильтрации определяется по различным формулам, в зависимости от размеров и расположения приемной части центральной и наблюдательных скважин.

Если наблюдения ведутся по центральной скважине и наблюдательной скв. 1, расположенной в расстоянии $r_1 < 0{,}3\ H$, причем длина прием-

ной части центральной скважины $l < 0{,}3\ H$, тогда по формуле Н. К. Гиринского [1950]

$$K = \frac{0{,}08\,Q}{(S_0 - S_1)\,l_{ц-1}}\left[2\ln\frac{1{,}6\,l_{ц-1}}{r_0} - \left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}4\,l_{ц-1}}{r_1} + \operatorname{arsh}\frac{1{,}6\,l_{ц-1}}{r_1}\right)\right], \quad \text{(XII-49)}$$

где $l_{ц-1}$ определяется по формуле (XII-34);

Q — дебит.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-20.

Если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скв. 1 и 2, то при тех же условиях, что и для (XII-49)

$$K = \frac{0{,}08\,Q}{l_{ц-1}\,(S_1 - S_2)}\left[\left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}4\,l_{1-2}}{r_1} + \operatorname{arsh}\frac{1{,}6\,l_{1-2}}{r_1}\right) - \left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}4\,l_{1-2}}{r_2} + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \operatorname{arsh}\frac{1{,}6\,l_{1-2}}{r_2}\right)\right], \quad \text{(XII-50)}$$

где l_{1-2} определяется по (XII-36).

Остальные обозначения ясны из рис. XII-20.

Формулы (XII-49) и (XII-50), дают наилучшие результаты, если $t \approx \approx 0{,}3\,l$ и если середина фильтра наблюдательной скважины расположена в расстоянии $0{,}6\,l$ от водоупора.

Если наблюдения ведутся по центральной скважине и наблюдательной скв. 1, причем глубина расположения фильтра $l_0 < \frac{H}{2}$, тогда по формуле Н. К. Гиринского (1950)

$$K = \frac{0\,16\,Q}{(S_0 - S_1)\,l_{ц-1}}\left(\ln\frac{1{,}6\,l_{ц-1}}{r_0} - \operatorname{arsh}\frac{l_{ц-1}}{r_1}\right), \quad \text{(XII-51)}$$

где $l_{ц-1}$ определяется по (XII-34);

Остальные обозначения ясны из рис. XII-20.

Если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скв. 1 и 2, то при тех же условиях, что и для формулы (XII-51)

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{(S_1 - S_2)\,l_{1-2}}\left(\operatorname{arsh}\frac{l_{1-2}}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{l_{1-2}}{r_2}\right), \quad \text{(XII-52)}$$

где l_{1-2} определяется по (XII-36).

Остальные обозначения ясны из рис. XII-20.

Подрусловая откачка

Этот случай изображен в схеме на рис. XII-21. Для условий, когда скважина заглублена на величину $m < \frac{H}{2}$, коэффициент фильтрации может быть определен по формуле В. Д. Бабушкина

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{lS_0}\lg\frac{0{,}66\,l}{r_0}. \quad \text{(XII-53)}$$

Указанная зависимость применима в условиях, когда $c > \frac{l}{\ln \frac{l}{r_0}}$, где все обозначения ясны из рис. XII-21. Если фильтр прорезает всю толщу водоносного горизонта до водоупора, то можно пользоваться формулой (XII-53), но под знаком логарифма вместо l следует подставить h_0 (рис. XII-21).

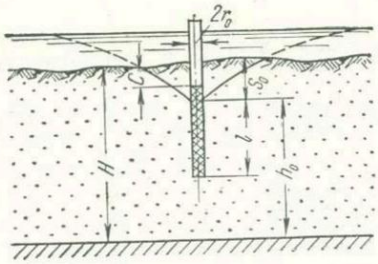


Рис. XII-21. Схема подрусловой откачки.

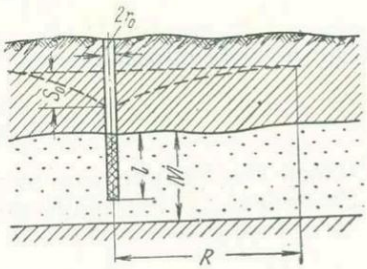


Рис. XII-22. Приток к несовершенной скважине.

Откачки из несовершенных скважин в напорном горизонте

Наблюдения ведутся по центральной скважине, удаленной от реки или водоема

I. Фильтр скважины примыкает к кровле водоносного горизонта (рис. XII-22).

Если длина фильтра $l > 0{,}3\ M$, где M — мощность, коэффициент фильтрации определяется по формуле М. Маскета [1949]

$$K = 0{,}366 \frac{Q}{MS_0}\left[\frac{1}{2\alpha}\left(2 \lg \frac{4M}{r_0} - A\right) - \lg \frac{4M}{R}\right], \qquad \text{(XII-54)}$$

где $\alpha = \frac{l}{M}$;

R — радиус влияния;

A определяется по графику рис. (XII-13) в зависимости от α.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-22.

Если длина фильтра $l < 0{,}3\ M$, коэффициент фильтрации определяется по формуле Н. К. Гиринского [1950]

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{lS_0} \lg \frac{1{,}6\,l}{r_0}. \qquad \text{(XII-55)}$$

Обозначения те же.

II. Фильтр скважины не примыкает к кровле водоносного горизонта (рис. XII-23).

Если забой скважины располагается в нижней половине водоносного горизонта, т. е. $c + l > 0{,}5\ M$, тогда по формуле В. Д. Бабушкина [1952]

$$K = 0{,}366 \frac{Q}{S_0} \cdot \frac{1}{Б + Д}, \qquad \text{(XII-56)}$$

где

$$Б = \frac{M_1}{\frac{1}{2a_1}\left(2\lg\frac{4M_1}{r_0} - A_1\right) - \lg\frac{4M_1}{R}}; \qquad \text{(XII-57)}$$

$$D = \frac{M_2}{\frac{1}{2a_2}\left(2\lg\frac{4M_2}{r_0} - A_2\right) - \lg\frac{4M_2}{R}}, \qquad \text{(XII-58)}$$

причем A_1 и A_2 определяются по графику рис. XII-13 в зависимости от

$$a_1 = \frac{0{,}5\,l}{M_1} \text{ и } a_2 = \frac{0{,}5\,l}{M_2}. \qquad \text{(XII-59)}$$

Здесь R — радиус влияния.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-23.

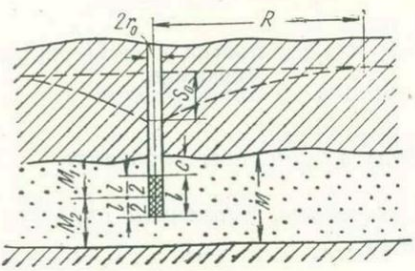


Рис. XII-23. Приток к несовершенной скважине, фильтр которой не примыкает к водоупорной кровле.

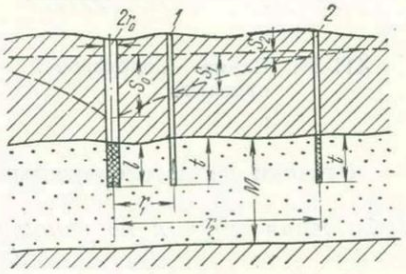


Рис. XII-24. Приток к несовершенной скважине; фильтр центральной и наблюдательных скважин примыкает к водоупорной кровле.

Наблюдения ведутся по центральной и наблюдательной скважинам, удаленным от реки или водоема, причем фильтр скважины примыкает к кровле напорного водоносного горизонта

Этот случай представлен на рис. XII-24. Если наблюдения ведутся по центральной и наблюдательной скв. 1, расположенной в расстоянии $r_1 < 0{,}3\,M$ от оси центральной, коэффициент фильтрации определяется по формуле Н. К. Гиринского [1950]

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l\,(S_0 - S_1)}\left(\ln\frac{1{,}6\,l}{r_0} - \operatorname{arsh}\frac{l}{r_1}\right). \qquad \text{(XII-60)}$$

Указанная зависимость справедлива при $r_1 \leqslant 2\sqrt{lS_{\max}}$, где максимальное понижение $S_{\max} = (0{,}3 \div 0{,}5)\,l$. Имеется в виду, что $l < 0{,}3\,M$.

Обозначения ясны из рис. XII-24.

Если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скв. 1 и 2, то

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l\,(S_1 - S_2)}\left(\operatorname{arsh}\frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{l}{r_2}\right). \qquad \text{(XII-61)}$$

При этом имеется в виду, что $r_2 < 0{,}3\,M$, и что $r_2 \leqslant 2\sqrt{lS_{\max}}$. Вместе с тем $r_1 = 0{,}3\,r_2$. При расчетах по формуле (XII-60) и (XII-61) пред-

усматривается, чтобы размеры фильтров в центральной и наблюдательных скважинах были равны, т. е. $t = l$.

Если $l > 0{,}3\ M$, то определение коэффициента фильтрации производится по формуле В. М. Насберга [1950]

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l\,(S_1 - S_2)}\left[\operatorname{arsh}\frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{l}{r_2} - \frac{l}{M}\left(\operatorname{arsh}\frac{M}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{M}{r_2}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{l}{M}\ln\frac{r_2}{r_1}\right]. \qquad \text{(XII-62)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-24.

Если же, как это показано на рис. XII-25, рабочая часть фильтра наблюдательной скважины не доходит до кровли водоносного горизонта, причем $t < 0{,}5\ l$ и $l < 0{,}3\ M$ и фильтр наблюдательной скважины установлен на уровне середины фильтра центральной скважины, то коэффициент фильтрации может быть определен по формуле В. Д. Бабушкина [1950]

$$K = \frac{0{,}16\ Q}{l\,S_1}\operatorname{arsh}\frac{l}{r_1}. \qquad \text{(XII-63)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-25.

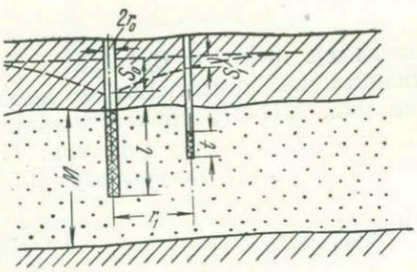


Рис. XII-25. Приток к несовершенной скважине, фильтр которой примыкает к водоупорной кровле; фильтр наблюдательной скважины к кровле не примыкает.

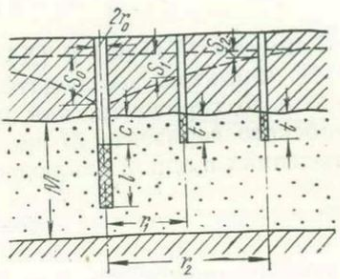


Рис. XII-26. Приток к несовершенной скважине, фильтр которой не примыкает, а фильтры наблюдательных скважин примыкают к водоупорной кровле.

Наблюдения ведутся по центральной и наблюдательным скважинам, удаленным от реки или водоема; фильтр центральной скважины не доходит до кровли напорного водоносного горизонта

I. Если фильтры наблюдательных скважин, как показано на рис. XII-26, примыкают к кровле водоносного горизонта, и наблюдения ведутся по одной наблюдательной скв. 1, установленной в расстоянии $r_1 < M$, тогда по формуле В. Д. Бабушкина [1950]

$$K = \frac{0{,}16Q}{lS_1}\left(\operatorname{arsh}\frac{c+l}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{c}{r_1}\right). \qquad \text{(XII-64)}$$

Если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скв. 1 и 2, тогда

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l\,(S_1 - S_2)}\left[\left(\operatorname{arsh}\frac{c+l}{r_1} - \operatorname{arsh}\frac{c}{r_1}\right) - \left(\operatorname{arsh}\frac{c+l}{r_2} - \operatorname{arsh}\frac{c}{r_2}\right)\right]. \qquad \text{(XII-65)}$$

В формулах (XII-64) и (XII-65) предположено, что $c + l < 0{,}5\ M$, а размер фильтра наблюдательных скважин $t < 0{,}5\ (c + l)$.

Обозначения ясны из рис. XII-26.

II. Если фильтры наблюдательных скважин, как показано на рис. XII-27, не примыкают к кровле водоносного горизонта и наблюдения ведутся по одной наблюдательной скв. 1, установленной в расстоянии $r_1 < 0{,}3\ M$, тогда по формуле Н. К. Гиринского [1950]

$$K = \frac{0{,}08\,Q}{l\,(S_0 - S_1)}\left[2\ln\frac{1{,}6\,l}{r_0} - \left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}4\,l}{r_1} + \operatorname{arsh}\frac{1{,}6\,l}{r_1}\right)\right], \qquad \text{(XII-66)}$$

причем должно быть выдержано условие: $r_1 \leqslant 2\sqrt{lS_{\max}}$, а максимальное понижение в центральной скважине $S_{\max} = (0{,}3 \div 0{,}5)\ l$.

Если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скважинам, тогда

$$K = \frac{0{,}08\,Q}{l\,(S_1 - S_2)}\left[\left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}4\,l}{r_1} + \operatorname{arsh}\frac{1{,}6\,l}{r_1}\right) - \left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}4\,l}{r_2} + \operatorname{arsh}\frac{1{,}6\,l}{r_2}\right)\right], \qquad \text{(XII-67)}$$

причем должно быть выдержано условие

$$r_2 \leqslant 2\sqrt{lS_{\max}},\ r_1 = 0{,}3\,r_2.$$

Формулы (XII-66) и (XII-67) справедливы при $l < 0{,}3\ M$.

III. Фильтры наблюдательных скважин не примыкают к кровле водоносного горизонта, как показано на рис. XII-27, причем мощность водоносного горизонта M во много раз превышает длину фильтра. При наблюдениях в одной наблюдательной скв. 1, по В. Д. Бабушкину [1950],

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{lS_1}\operatorname{arsh}\frac{l}{2r_1}; \qquad \text{(XII-68)}$$

при наблюдениях в скв. 1 и 2

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{l\,(S_1 - S_2)}\left(\operatorname{arsh}\frac{l}{2r_1} - \operatorname{arsh}\frac{l}{2r_2}\right). \qquad \text{(XII-69)}$$

Формулы (XII-68) и (XII-69) справедливы в том случае, когда середины фильтров наблюдательных скважин совпадают с серединой фильтра центральной скважины, $c > 1{,}5\ l$ и $t \leqslant 0{,}5\ l$.

Обозначения ясны из рис. XII-27.

Наблюдения ведутся по скважине, расположенной близ реки или водоема

Коэффициент фильтрации определяется по формулам В. Д. Бабушкина, в зависимости от расстояния скважины (рис. XII-28) относительно реки или водоема, местоположения рабочей части фильтра относительно кровли водоносного горизонта и его мощности.

I. Если при откачке из скважины питание происходит лишь из реки или водоема, фильтр скважины примыкает к водоупорной кровле, т. е. $c = 0$ и мощность горизонта M может быть принята безграничной, то

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{lS_0}\left(\ln\frac{1{,}32\,l}{r_0} - \frac{l}{2a}\right). \qquad \text{(XII-70)}$$

Эта формула справедлива лишь для условий, когда $a > 2l$. Если это условие не выдержано, тогда

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{lS_0}\left(\ln\frac{1{,}32\,l}{r_0} - 0{,}5\,\operatorname{arsh}\frac{0{,}88\,l}{a} - \frac{0{,}06\,l}{a}\right). \qquad \text{(XII-71)}$$

Обозначения в формулах (XII-70) и (XII-71) ясны из рис. XII-28.

По исследованиям В. Д. Бабушкина, в условиях практически безграничной мощности водоносного горизонта влиянием реки можно пренебрегать в том случае, если $a > (3 \div 5)\ l$, при этом возможна погрешность в определении коэффициента фильтрации в сторону занижения до 10%.

Если же при упомянутых условиях, т. е. при практически безграничной мощности водоносного горизонта фильтр не примыкает к его кровле, т. е. если $c > 0$, тогда

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{lS_0}\left(1{,}15\,B + \ln\frac{c}{r_0} - 0{,}5\,\frac{l}{a}\right). \qquad \text{(XII-72)}$$

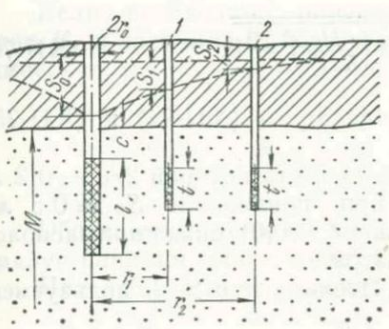


Рис. XII-27. Приток к несовершенной скважине в условиях безграничной мощности водоносного горизонта; фильтры центральной и наблюдательных скважин не примыкают к водоупорной кровле.

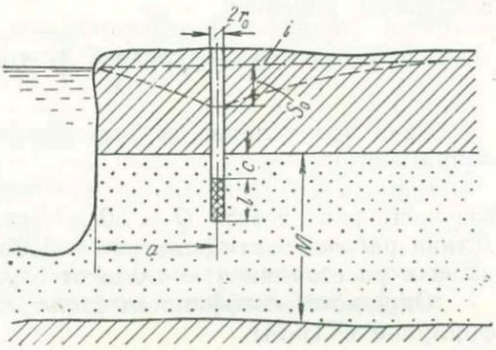


Рис. XII-28. Приток к несовершенной скважине, расположенной близ водоема.

Формула (XII-72) справедлива при $a > l + c$. При $a < l + c$ коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$K = \frac{0{,}08\,Q}{lS_0}\left[2{,}3\,B + 2\ln\frac{c}{r_0} - \left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}87\,l}{2a} + \operatorname{arsh}\frac{0{,}13\,l}{2a}\right) + \right.$$
$$\left. + \left(\operatorname{arsh}\frac{2c + 1{,}87\,l}{2a} - \operatorname{arsh}\frac{2c + 0{,}87\,l}{2a}\right)\right]. \qquad \text{(XII-73)}$$

Формула (XII-73) действительна лишь при $a \geqslant 20\ r_0$. В формулах (XII-72) и (XII-73) величина B определяется в зависимости от отношения $\frac{c+l}{c}$ по графику рис. XII-18.

По исследованиям В. Д. Бабушкина, в формуле (XII-72), в интервале изменения $\frac{l}{r_0}$ от 10 до 200 можно с погрешностью до 10% пренебречь влиянием реки или водоема при удалении скважины от водоема на расстоянии $a \approx (3 \div 5)\ l$ и пользоваться для расчета формулами, предусматривающими отсутствие влияния реки или водоема на откачку.

II. Если при откачке из скважины питание происходит не только за счет реки, но и за счет естественного потока, направленного в сторону реки или водоема и характеризуемого градиентом I, то коэффициент фильтрации определяется по формуле:

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{lS_0}\left(\ln\frac{0{,}66\,l}{r_0} - \frac{l}{4a}\right). \qquad \text{(XII-74)}$$

Эта формула справедлива лишь для условий, когда $a > l$. Если это условие не выдержано, тогда

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{lS_0}\left(\ln\frac{0{,}66\,l}{r_0} - 0{,}5\,\operatorname{arsh}\frac{0{,}44\,l}{a} - \frac{0{,}03\,l}{a}\right). \qquad \text{(XII-75)}$$

В формулах (XII-74) и (XII-75) предположено, что фильтр скважины примыкает к кровле водоносного горизонта, т. е. $c=0$, и что мощность его может быть принята безграничной; при этом должно быть выдержано следующее условие:

$$a < 0{,}71\,l\sqrt{\sqrt{1+0{,}41\left(\frac{Q}{KIl^2}\right)^2}-1}. \qquad \text{(XII-76)}$$

Если это условие не выдержано, то формулы (XII-74) и (XII-75) неприменимы.

Пример. При откачке из скважины, диаметр которой $2r_0 = 0{,}2$ *м* зафиксирован дебит $Q = 50$ *м*^{3}*/сутки* при понижении $S_0 = 0{,}5$ *м*. Длина рабочей части фильтра $l = 1{,}0$ *м*; уклон $J = 0{,}01$, скважина расположена в расстоянии $a = 4{,}0$ *м* от берега озера.

Определим коэффициент фильтрации. Поскольку $a > l$, пользуемся формулой (XII-74)

$$K = \frac{0{,}16\cdot 50}{1\cdot 0{,}5}\left(2{,}3\lg\frac{0{,}66}{0{,}10} - \frac{1{,}0}{4\cdot 4{,}0}\right) = 28\ \textit{м/сутки}.$$

Выясним, правильно ли применена была формула (XII-74), для чего проверим условие (XII-76).

$$0{,}71\cdot 1{,}0\sqrt{\sqrt{1{,}0+0{,}41\left(\frac{50}{28\cdot 0{,}01\cdot 1{,}0}\right)^2}-1{,}0} \approx 7{,}6,$$

т. е. условие (XII-76) выдержано а $<7{,}6$; следовательно, формула (XII-74) применена правильно.

III. В том случае, если мощность водоносного горизонта M является конечной, причем расстояние $a > M$, в условиях примыкания фильтра скважины к кровле, т. е. при $c = 0$,

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{lS_0}\left(\lg\frac{1{,}32\,l}{r_0} + \frac{l}{2M}\lg\frac{a^2}{M^2-0{,}56\,l^2}\right). \qquad \text{(XII-77)}$$

Если фильтр не примыкает к кровле водоносного горизонта, т. е. $c \neq 0$, тогда

$$K = \frac{0{,}366\,Q}{lS_0}\left[\lg\frac{0{,}66\,l}{r_0} + \frac{1}{2}\lg\frac{c+0{,}94\,l}{c+0{,}44\,l} + \right.$$

$$\left. + \frac{l}{2M}\lg\frac{a^2}{(M-c-0{,}87\,l)(M+c+0{,}87\,l)}\right]. \qquad \text{(XII-78)}$$

Формулами (XII-77) и (XII-78) можно пользоваться не только в том случае, когда питание скважины осуществляется из реки или водоема, но и в условиях потока подземных вод.

Обозначения в формулах (XII-70) — (XII-78) ясны из рис. XII-28.

§ 2. ОТКАЧКИ ИЗ СКВАЖИН В НЕОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ (ДВИЖЕНИЕ ПОДЧИНЯЕТСЯ ЗАКОНУ ДАРСИ $v = KI$)

Откачки из скважин в двухслойной системе; коэффициенты фильтрации слоев незначительно отличаются

Определение коэффициента фильтрации любого из слоев путем суммарной откачки из них, если коэффициент фильтрации одного из слоев известен (рис. XII-29)

Если необходимо определить коэффициент фильтрации нижнего слоя K_1, а величина K_2 известна, то при наблюдениях в центральной скважине:

$$K_1 = \frac{Q \lg \frac{R}{r_0} - 1{,}36 K_2 (H_2^2 - h_0^2)}{2{,}73 M_1 (H_2^2 - h_0)}. \qquad \text{(XII-79)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-29, а величина R представляет собой радиус влияния, определенный для условий рассматриваемого горизонта.

При наблюдениях в центральной скважине и наблюдательной скв. 1

$$K_1 = \frac{Q \lg \frac{r_1}{r_0} - 1{,}36 K_2 (h_1^2 - h_0^2)}{2{,}73 M_1 (h_1 - h_0)}. \qquad \text{(XII-80)}$$

При наблюдениях в наблюдательных скв. 1 и 2

$$K_1 = \frac{Q \lg \frac{r_2}{r_1} - 1{,}36 K_2 (h_2^2 - h_1^2)}{2{,}73 M_1 (h_2 - h_1)}. \qquad \text{(XII-81)}$$

Обозначения те же.

Если необходимо определить коэффициент фильтрации верхнего слоя K_2, а величина K_1 известна, то при наблюдениях в центральной скважине

$$K_2 = \frac{Q \lg \frac{R}{r_0} - 2{,}73 K_1 M_1 (H_2 - h_0)}{1{,}36 (H_2^2 - h_0^2)}, \qquad \text{(XII-82)}$$

где обозначения ясны из рис. XII-29, а величина R представляет собою радиус влияния, определенный для условий рассматриваемого горизонта.

При наблюдениях в центральной скважине и наблюдательной скв. 1.

$$K_2 = \frac{Q \lg \frac{r_1}{r_0} - 2{,}73 K_1 M_1 (h_1 - h_0)}{1{,}36 (h_1^2 - h_0^2)}. \qquad \text{(XII-83)}$$

При наблюдениях в скважинах 1 и 2

$$K_2 = \frac{Q \lg \frac{r_2}{r_1} - 2{,}73 K_1 M_1 (h_2 - h_1)}{1{,}36 (h_2^2 - h_1^2)}. \qquad \text{(XII-84)}$$

Обозначения те же. В формулах (XII-79) — (XII-84) величина Q представляет собою суммарный дебит скважины из обоих горизонтов.

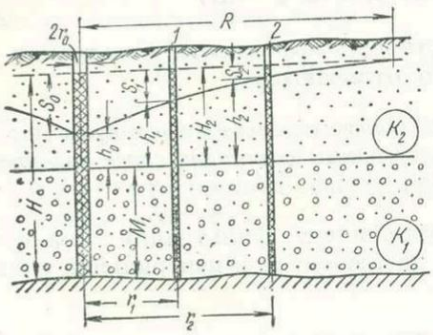


Рис. XII-29. Приток к совершенной скважине в двухслойной безнапорной системе.

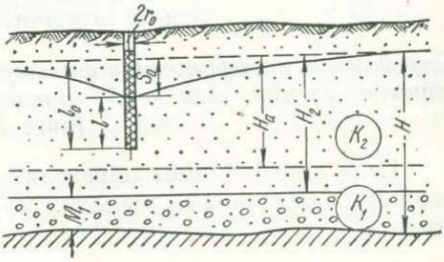


Рис. XII-30. Приток к несовершенной скважине в двухслойной безнапорной системе.

Определение коэффициента фильтрации верхнего слоя, если мощности слоев значительны

В этом случае, как показано на рис. XII-30, забой скважины находится на глубине $l_0 = l + S_0$, причем предусматривается понижение S_0, определяющее величину активной зоны H_a, численно равной или меньшей мощности верхнего слоя H_2, устанавливаемой по данным Е. А. Замарина [1928] в зависимости от $\frac{S_0}{l_0}$. В табл. XII-1 приводятся данные $\frac{H_a}{l_0} = f\left(\frac{S_0}{l_0}\right)$.

Таблица XII-1

$\frac{S_0}{l_0}$	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0
$\frac{H_a}{l_0}$	1,3	1,5	1,7	1,85	2,0

Коэффициент фильтрации верхнего слоя определяется, как для условий откачки из несовершенных скважин в безнапорном горизонте, в зависимости от местоположения и размеров фильтра, т. е. надлежит пользоваться соответственно формулами (XII-32), (XII-33), (XII-35), (XII-37), (XII-41), (XII-42), (XII-47), (XII-52), принимая в них и условиях, для которых они применены, вместо H — величину H_2.

Пример. Мощность комплекса двух водоносных слоев $H = 6{,}5$ *м* (рис. XII-30). Мощность нижнего слоя $M_1 = 1{,}5$ *м*. Мощность верхнего водоносного слоя, коэффициент фильтрации которого надо определить — $H_2 = 5{,}0$ *м*. Заглубляем скважину ниже уровня грунтовых вод на величину $l_0 = 1{,}0$ *м*; откачку ведем при понижении $S_0 =$

$= 0{,}8$ *м*. Величина активной зоны H_a определится из следующих соображений. Величине $\frac{S_0}{l_0} = \frac{0{,}8}{1{,}0} = 0{,}8$ соответствует в выше приведенной таблице $\frac{H_a}{l_0} = 1{,}85$, откуда $H_a = 1{,}85 \times 1{,}0 = 1{,}85$ *м*.

Как видно, величина активной зоны $H_a = 1{,}85$ *м* меньше действительной мощности верхнего горизонта $H_2 = 5{,}0$ *м*; следовательно, для определения коэффициента фильтрации надлежит воспользоваться одной из формул притока в одиночную несовершенную скважину в условиях безнапорного горизонта.

При указанном понижении имел место дебит $Q = 0{,}27$ *л/сек* $=$ $= 23$ *м*^{3}*/сутки*; радиус влияния установлен равным $R = 25$ *м*, $r_0 = 0{,}1$ *м*.

Поскольку фильтр скважины не затоплен, и величина рабочей части фильтра $l = 1{,}0 - 0{,}8 = 0{,}2$ *м* меньше $0{,}3\ H_a = 0{,}3 \times 1{,}85 = 0{,}55$ *м*, надлежит для определения коэффициента фильтрации применить формулу (XII-31). Подставляя сюда известные величины, находим

$$K_2 = \frac{0{,}733 \cdot 23{,}0}{0{,}8\left(\frac{0{,}2 + 0{,}8}{\lg \frac{25}{0{,}1}} + \frac{0{,}2}{\lg \frac{0{,}66 \cdot 0{,}2}{0{,}1}}\right)} = 10{,}2\ м/сутки$$

Определение коэффициента фильтрации нижнего слоя, если мощность его значительна

В этом случае, как показано на рис. XII-31, надлежит заглубить скважину до водоупора и обсадить ее в пределах как верхнего слоя, так частично и нижнего слоя таким образом, чтобы величина рабочей части фильтра l и понижение в скважине S_0 определили бы соотношение

$$h_0 - l > H_2. \qquad \text{(XII-85)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-31.

Определение коэффициента фильтрации нижнего слоя может быть при этом выполнено по формулам К. И. Добровольского [1932]:
при наблюдениях в центральной скважине

$$K_1 = \frac{0{,}366\, Q \lg \frac{R}{r_0}}{S_0\left(\frac{S_0}{2} + l\right)}; \qquad \text{(XII-86)}$$

при наблюдениях в центральной и наблюдательной скв. 1

$$K_1 = \frac{0{,}366\, Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{(H - S_1 - h_0)\left(\frac{H - S_1 - h_0}{2} + l\right)}; \qquad \text{(XII-87)}$$

при наблюдениях в наблюдательных скв. 1 и 2

$$K_1 = \frac{0{,}366\, Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{(S_1 - S_2)\left(\frac{2H - S_1 - S_2}{2} - h_0 + l\right)}. \qquad \text{(XII-88)}$$

Откачка из скважин в двухслойной системе; коэффициент фильтрации верхнего слоя значительно больше коэффициента фильтрации нижнего слоя

Определение коэффициента фильтрации верхнего слоя

Этот случай представлен на рис. XII-32. Скважину заглубляют до границы между слоями и таким образом ведут откачку из верхнего слоя. Коэффициент фильтрации K_2 определяют как для случая совершенной скважины, установленной в безнапорном горизонте, т. е. пользуются соответственно формулами (XII-1), (XII-2) и (XII-3), причем в формулу (XII-1) вместо H следует согласно рис. XII-32 подставить H_2.

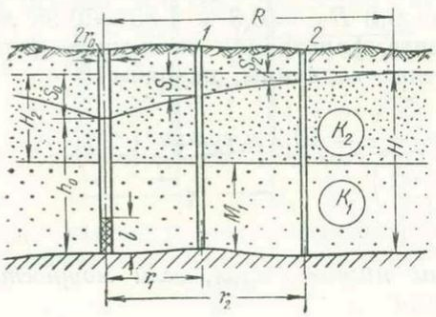


Рис. XII-31. Схема к определению коэффициента фильтрации нижнего слоя в двухслойной безнапорной системе.

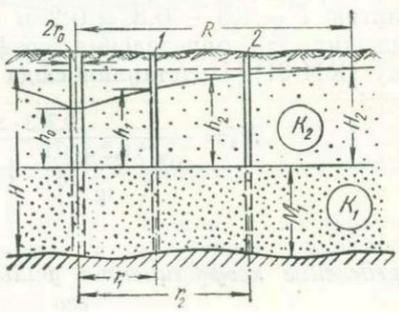


Рис. XII-32. Схема к определению коэффициента фильтрации верхнего слоя в двухслойной безнапорной системе.

Определение коэффициента фильтрации нижнего слоя

После установления коэффициента фильтрации верхнего слоя K_2 центральную и наблюдательные скважины заглубляют до водоупора, как это показано пунктиром на рис. XII-32, после чего ведется суммарная откачка из обоих слоев. Коэффициент фильтрации нижнего слоя K_1 определяется соответственно по формулам (XII-79), (XII-80), (XII-81).

Обозначения в этих формулах ясны из рис. XII-32.

Откачка из скважин в двухслойной системе; коэффициент фильтрации верхнего слоя значительно ниже коэффициента фильтрации нижнего слоя

Определение коэффициента фильтрации верхнего слоя

Для определения коэффициента фильтрации верхнего слоя можно воспользоваться методом В. М. Григорьева [1951]. Помимо центральной скважины (рис. XII-33), фильтр которой установлен в нижнем слое, закладывают рядом две наблюдательные скважины; скв. 1 оборудуется фильтром в верхнем водоносном слое, скв. 2 оборудуется фильтром в нижнем слое. При откачке из нижнего водоносного слоя в верхнем происходит медленное снижение уровня грунтовых вод от величины h_1 до h_2 соответственно за время от t_1 до t_2; в нижнем же водоносном слое быстро устанавливается напор Z, отсчитываемый от кровли нижнего слоя.

Коэффициент фильтрации верхнего слоя определяется по формуле

$$K_2 = \frac{\mu (h_к + z)}{t_z \cdot z}\left(h_1 - h_2 + 2{,}3\, z \lg \frac{h_1 - z}{h_2 - z}\right), \qquad \text{(XII-89)}$$

где μ — водоотдача;

$t = t_1 - t_2$ — период времени, в течение которого произошло понижение уровня грунтовых вод от h_1 до h_2;

$h_к$ — высота капиллярного поднятия (по лабораторным данным).

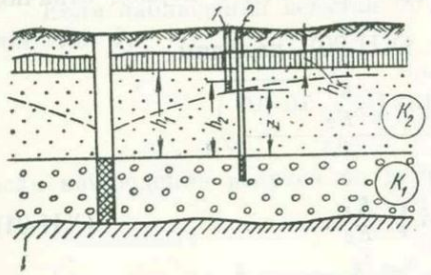


Рис. XII-33. Схема к определению коэффициента фильтрации верхнего слоя в двухслойной системе, в случае когда величина этого коэффициента значительно ниже коэффициента фильтрации нижнего слоя.

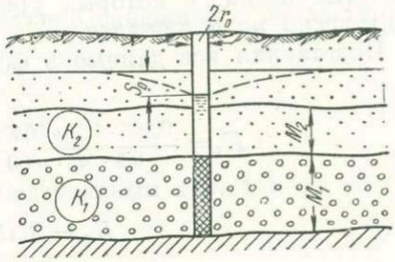


Рис. XII-34. Схема к определению коэффициента фильтрации нижнего слоя в двухслойной системе, в случае когда величина коэффициента фильтрации верхнего слоя значительно ниже чем нижнего слоя.

Пример. Определить коэффициент фильтрации плотной супеси, залегающей на слое крупнозернистого песка. Перед началом откачки из центральной скважины (рис. XII-33) мощность водоносного слоя плотной супеси $h_1 = 4{,}1$ *м*. В течение суток этот уровень снизился до $h_2 = 3{,}65$ *м*; пьезометрический уровень нижнего водоносного слоя в этот период практически был равен $Z = 3{,}1$ *м*. Толщина капиллярного слоя $h_k = 0{,}5$ *м*, водоотдача $\mu = 0{,}1$. Подставляя все приведенные данные в формулу (XII-89), находим

$$K_2 = \frac{0{,}1\,(0{,}5 + 3{,}1)}{1 \cdot 3{,}1}\left(4{,}1 - 3{,}65 + 2{,}3 \cdot 3{,}1 \lg \frac{4{,}1 - 3{,}1}{3{,}65 - 3{,}1}\right) = 0{,}27 \text{ *м/сутки*}.$$

Определение коэффициента фильтрации нижнего слоя

На рис. XII-34 показаны два слоя с мощностями M_1 и M_2, характеризуемые коэффициентами фильтрации K_1 и K_2, причем K_2 значительно меньше K_1; оба слоя находятся в тесной гидравлической связи.

Для определения коэффициента фильтрации нижнего слоя K_1 пользуются методом Н. К. Гиринского [1947], согласно которому

$$K_1 = \frac{0{,}366\, Q}{S_0 M_1} \lg \left(\frac{1{,}12 \sqrt{\frac{K_1}{K_2} M_1 M_2}}{r_0}\right). \qquad \text{(XII-90)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-34.

Определение K_1 по формуле (XII-90) производится подбором или графически; при этом предусматривается, что K_2 должно быть известно. Вывод формулы (XII-90) основан на предположении наличия водоносного

слоя мощностью M_2 над опробуемым водоносным слоем; при этом горизонт грунтовых вод в период откачки не снижается. Кроме того, должно быть выдержано соотношение $\frac{K_1}{K_2} > 10$.

Пример. Определить коэффициент фильтрации K_1, если известно, что $K_2 = 0{,}1$ *м/сутки* и при понижении в скважине $S_0 = 0{,}8$ *м* дебит составил $Q = 1{,}16$ *л/сек*. Диаметр скважины $2r_0 = 0{,}2$ *м*, мощности слоев: $M_1 = 5{,}0$ *м*, $M_2 = 3{,}0$ *м*; над верхним слоем залегают крупнозернистые пески, в которых уровень грунтовых вод в период откачки практически не понижался.

Подставляя все данные в формулу (XII-90), находим

$$K_1 = \frac{0{,}366 \cdot 1{,}16 \cdot 86400}{0{,}8 \cdot 5{,}0 \cdot 1000} \lg\left(\frac{1{,}12\sqrt{\frac{K_1}{K_2}}\,5{,}0 \cdot 3{,}0}{0{,}1}\right),$$

или

$$K_1 = 9{,}15 \lg 43{,}4\sqrt{\frac{K_1}{K_2}}. \qquad \text{(XII-91)}$$

Задаваясь рядом значений $\frac{K_1}{K_2} = \xi$, найдем, что

$$K_1 = \xi K_2; \qquad \text{(XII-92)}$$

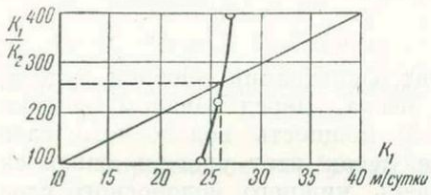


Рис. XII-35. График к примеру определения коэффициента фильтрации по формуле (XII-90)

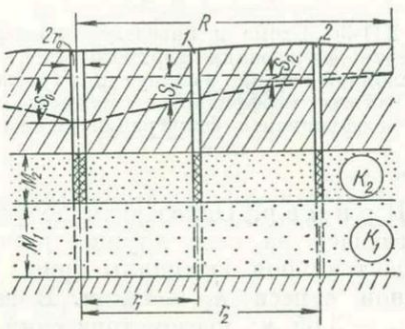


Рис. XII-36. Приток к совершенной скважине в условиях двухслойной системы.

с другой стороны, K_1 может быть определено по формуле (XII-91).

Все подсчеты сведены в табл. XII-2.

Таблица XII-2

$\frac{K_1}{K_2}$	K_1 по (XII-91)	K_1 по (XII-92)
100	24,2	10,0
225	25,7	22,5
400	26,9	40,0

Эти данные представлены на графике $K_1 = f\left(\frac{K_1}{K_2}\right)$ (рис. XII-35), из которого следует, что искомое значение $K_1 = 26{,}0$ *м/сутки*.

Откачки из скважин в двухслойной системе в условиях напорного движения

Этот случай представлен на рис. XII-36 и характеризуется наличием двух водоносных слоев, почвой и кровлей которых являются водоупорные породы.

Для определения коэффициента фильтрации верхнего слоя центральную скважину, оборудованную фильтром, заглубляют до границы между верхним и нижним слоем.

Если наблюдения ведутся лишь по центральной скважине, тогда

$$K_2 = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{R}{r_0}}{M_2 S_0}. \qquad \text{(XII-93)}$$

Если наблюдения ведутся по центральной скважине и наблюдательной скв. 1,

$$K_2 = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{M_2 (S_0 - S_1)}; \qquad \text{(XII-94)}$$

если наблюдения ведутся по двум наблюдательным скв. 1 и 2,

$$K_2 = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{M_2 (S_1 - S_2)}. \qquad \text{(XII-95)}$$

При необходимости определить коэффициент фильтрации нижнего слоя — K_1 центральную скважину заглубляют до водоупорной почвы (как это показано на рис. XII-36) и оборудуют ее фильтром на нижний водоносный слой; равным образом заглубляют и наблюдательные скв. 1 и 2.

Определение K_1 производится по тем же формулам (XII-93), (XII-94), и (XII-95), однако вместо величины M_2 надлежит подставить M_1.

В указанных формулах все обозначения ясны из рис. XII-36.

Откачка из скважин в условиях трехслойной системы при безнапорном движении подземных вод

Этот случай представлен на рис. XII-37. Для определения коэффициента фильтрации верхнего слоя K_3 поступают так же, как при двухслойной системе.

Далее скважину заглубляют в средний слой таким образом, чтобы глубина активной зоны $(H_3)_{2-3}$ была бы меньше $M_2 + H_3$, и ведут откачку из обоих водоносных горизонтов. Таким образом можно получить K_{2-3} — средний коэффициент фильтрации, имея в виду верхний и средний слои.

Затем заглубляют скважину до водоупора, причем фильтр обнажает водоносную толщу всех трех слоев.

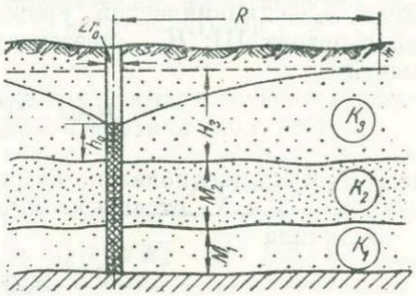


Рис. XII-37. Приток к совершенной скважине в условиях трехслойной безнапорной системы.

Коэффициент фильтрации нижнего слоя K_1 определяется по формуле

$$K_1 = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{R}{r_0}}{M_1 (H_3 - h_0)} - \frac{K_{2\text{-}3}(H_3 + 2M_2 + h_0)}{2M_1}. \qquad \text{(XII-96)}$$

Коэффициент фильтрации среднего слоя

$$K_2 = \frac{0{,}366\,Q \lg \dfrac{R}{r_0}}{M_2 (H_3 - h_0)} - \frac{K_1 M_1}{M_2} - \frac{K_3 (H_3 + h_0)}{2M_2}. \qquad \text{(XII-97)}$$

Обозначения в формулах (XII-96) и (XII-97) ясны из рис. XII-37.

Откачка из скважин в условиях трехслойной системы при напорном движении подземных вод

В этом случае определение коэффициента фильтрации отдельных слоев производится точно так же, как и при двухслойной системе.

Откачка из скважины в условиях многослойной системы при наличии гидравлической связи между водоносными горизонтами

Этот случай показан на рис. XII-38 и характеризуется следующим образом.

В водоносных горизонтах I—VI коэффициенты фильтрации пород чередуются: слабо проницаемые пласты II, IV, VI граничат с сильно проницаемыми I, III, V, причем напоры в последних снизу вверх уменьшаются. Коэффициенты фильтрации пород и мощности водоносных горизонтов соответственно обозначены:

$$K_2, K_3, K_4, K_5, \text{ и } M_2, M_3, M_4, M_5.$$

Определение коэффициента фильтрации K_3 среднего слоя III в указанных условиях возможно при известных K_2 и K_4. Согласно решению А. Н. Мятиева [1947] и П. Я. Полубариновой-Кочиной [1952],

$$K_3 = \frac{0{,}366\,Q \lg \dfrac{2}{r_0 \sqrt{\zeta}}}{M_3 S_0}, \qquad \text{(XII-98)}$$

где

$$S_0 = H_0 - h_0, \qquad \text{(XII-99)}$$

причем h_0 — динамический уровень в скважине, диаметром $2r_0$ вскрывшей горизонт III; H_0 — пьезометрический уровень вдали от скважины, равный

$$H_0 = \frac{K_4 H_5 M_2 + K_2 H_1 M_4}{K_4 M_2 + K_2 M_4}. \qquad \text{(XII-100)}$$

Здесь H_1 и H_5, как показано на рис. XII-38, — пьезометрические напоры горизонтов I и V, отсчитываемые от забоя скважины.

Величина

$$\zeta = \frac{1}{K_3 M_3} \left(\frac{K_4}{M_4} - \frac{K_2}{M_2} \right). \qquad \text{(XII-101)}$$

Формула (XII-98) применима лишь для условий $r_0 \sqrt{\zeta} \leqslant 0{,}02$, что обычно и имеет место в практических расчетах.

Пример. Определить K_3 (рис. XII-38), если известно: $K_2 = 0{,}1$ *м/сутки*, $K_4 = 0{,}03$ *м/сутки*, $M_2 = 4{,}0$ *м*, $M_3 = 2{,}0$ *м*, $M_4 = 8{,}0$ *м*, $H_1 = 21{,}0$ *м*, $H_5 = 15$ *м*. Динамический уровень $h_0 = 9{,}0$ *м*, дебит $Q = 10$ *м*^{3}*/сутки*, радиус скважины $= 0{,}1$ *м*.

По формуле (XII-100) находим H_0

$$H_0 = \frac{0{,}03 \cdot 15{,}0 \cdot 4{,}0 + 0{,}1 \cdot 21{,}0 \cdot 8{,}0}{0{,}03 \cdot 4{,}0 + 0{,}1 \cdot 8{,}0} = 20{,}2\ м.$$

По формуле (XII-99) находим S_0

$$S_0 = 20{,}2 - 9{,}0 = 11{,}2\ м.$$

По формуле (XII-101) находим ζ

$$\zeta = \frac{1}{K_3 \cdot 2{,}0}\left(\frac{0{,}03}{8{,}0} + \frac{0.1}{4{,}0}\right) = \frac{0{,}0144}{K_3}.$$

Подставляя все данные в формулу (XII-98), находим:

$$K_3 = \frac{0{,}366 \cdot 10{,}0 \cdot \lg \dfrac{2\sqrt{K_3}}{0{,}1\sqrt{0{,}0144}}}{2 \cdot 11{,}2} = 0{,}163\ \lg 167\sqrt{K_3}.$$

Это выражение переписываем так:

$$0{,}163 = \frac{K_3}{\lg 167\sqrt{K_3}} = f(K_3) \qquad \text{(XII-102)}$$

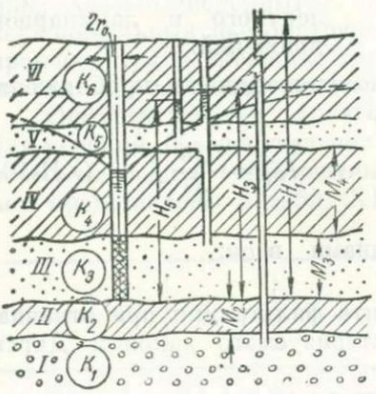


Рис. XII-38. Приток к скважине в условиях многослойной системы при наличии гидравлической связи между водоносными горизонтами.

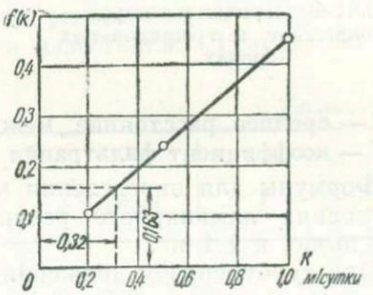


Рис. XII-39. График к примеру определения коэффициента фильтрации по формуле (XII-98).

Задаваясь рядом значений K_3, определим соответствующие значения $f(K_3)$. Результаты подсчетов приведены в краткой табл. XII-3.

Таблица XII-3

K_3, *м/сутки*	$\sqrt{K_3}$	$167\sqrt{K_3}$	$\lg 167\sqrt{K_3}$	$f(K_2)$
0,2	0,45	75	1,88	0,106
0,5	0,71	119	2,07	0,242
1,0	1,00	167	2,22	0,450

Эти результаты нанесены на график $f(K_3)$ (рис. XII-39), из которого видно, что при $f(K_3) = 0{,}163$ коэффициент фильтрации $K_3 = 0{,}32$ *м/сутки*.

§ 3. ОТКАЧКИ ИЗ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ, ПОДЧИНЯЮЩЕГОСЯ ЗАКОНУ А. А. КРАСНОПОЛЬСКОГО $v = K_m\sqrt{I}$

В соответствии с данными Е. Е. Керкиса [1948], в трещиноватых породах может быть как ламинарное, так и турбулентное движение. Критерием того или иного вида движения может быть критический градиент $I_{кр}$. Если $I > I_{кр}$, имеет место *турбулентное* движение, подчиняющееся закону А. А. Краснопольского; если $I < I_{кр}$, имеет место *ламинарное* движение, подчиняющееся закону Дарси; в соответствии с этим коэффициент фильтрации, исчисленный при различных градиентах, различен. При этом имеет место соотношение

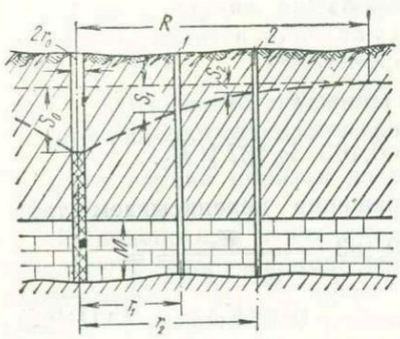


Рис. XII-40. Приток к совершенной скважине в трещиноватых породах.

$$\frac{K_m}{K} = \sqrt{I_{кр}}, \qquad \text{(XII-103)}$$

где K_m и K — коэффициенты фильтрации, соответственно вычисленные для условий турбулентного и ламинарного движений.

Согласно тем же данным, приближенно можно считать

$$I_{кр} = \frac{0{,}16}{Kl}, \qquad \text{(XII-104)}$$

где l — среднее расстояние между трещинами в *см*;
K — коэффициент фильтрации в *см/сек*.

Формулы для определения коэффициента фильтрации при откачках в условиях ламинарного режима, характеризуемого законом Дарси, даны выше, в § 1 и 2.

При турбулентном движении в зависимости от характеристики водоносного горизонта коэффициенты фильтрации при откачках могут быть определены по приведенным ниже формулам А. А. Краснопольского [1912].

Что касается случая, когда скорость фильтрации в горных породах подчиняется формуле Смрекера (см. гл. X) $V = KI^m$, где $1{,}0 < m < 2{,}0$, то коэффициент фильтрации, установленный при этом, не может быть принят в соответствующих расчетах ламинарного или турбулентного движения. Формулы для определения коэффициента фильтрации при указанных выше условиях применяются относительно редко и здесь не приводятся.[1]

Откачки из совершенных скважин в напорном горизонте

I. При наблюдениях за понижением в центральной скважине

$$K_m = \frac{0{,}16\,Q\sqrt{R - r_0}}{M\sqrt{Rr_0S_0}}; \qquad \text{(XII-105)}$$

где R радиус влияния.

---

[1] Скорости фильтрации, подчиняющиеся уравнению Смрекера $V = KI^m$, встречаются в природе довольно часто. *Научн. ред.*

Остальные обозначения ясны из рис. XII-40. Если r_0 мало по сравнению с R (что обычно имеет место), тогда

$$K_m = \frac{0{,}16\,Q}{M\sqrt{r_0 S_0}}. \qquad \text{(XII-106)}$$

II. При наблюдениях в центральной скважине и наблюдательной скв. 1

$$K_m = \frac{0{,}16\,Q\sqrt{r_1 - r_0}}{M\sqrt{r_1 r_0 (S_0 - S_1)}}. \qquad \text{(XII-107)}$$

III. При наблюдениях за понижением в наблюдательных скв. 1 и 2

$$K_m = \frac{0{,}16\,Q}{M}\sqrt{\frac{r_2 - r_1}{r_2 r_1 (S_1 - S_2)}}. \qquad \text{(XII-108)}$$

В формулах (XII-105) — (XII-108) обозначения ясны из рис. XII-40.

Пример. Определить в условиях турбулентного режима коэффициент фильтрации трещиноватых известняков мощностью $M = 15$ *м* (рис. XII-40), перекрытых слоем практически водоупорных глин, если первоначальный пьезометрический уровень $H = 20$ *м*. Опытные откачки производятся в скважине диаметром $2r_0 = 0{,}3$ *м*, наблюдения ведутся по скв. 1, отстоящей от центральной на расстоянии $r_1 = 4{,}0$ *м*.

Опытные работы заключались в проведении двух откачек: первая для условий, обеспечивающих ламинарный режим, вторая — для условий, обеспечивающих турбулентный режим в известняках. Результаты откачек представлены в табл. XII-4.

Таблица XII-4

Понижение	S_0 *м*	S_1 *м*	Q		Уклон $I = \frac{S_0 - S_1}{r_1 - r_0}$
			л/сек	*м³/сутки*	
Первое	0,2	0,01	0,5	43,0	0,049
Второе	2,4	0,30	1,35	117,0	0,55

Подставляем известные данные в формулу (XII-18) и находим: для первого понижения, при $h_1 = 19{,}99$, $h_0 = 19{,}80$ *м*,

$$K_m = \frac{0{,}366 \cdot 43 \lg \frac{4{,}0}{0{,}15}}{15 \cdot 0{,}19} = 7{,}9\ м/сутки,$$

для второго понижения, по формуле (XII-107),

$$K_m = \frac{0{,}16 \cdot 117{,}0}{15}\sqrt{\frac{4{,}0 - 0{,}15}{4{,}0 \cdot 0{,}15 \cdot 2{,}1}} = 2{,}18\ м/сутки.$$

Критический градиент по (XII-103)

$$I_{кр} = \left(\frac{2{,}18}{7{,}9}\right)^2 = 0{,}076.$$

Уклон при втором понижении $0{,}55 > I_{кр}$; следовательно, в условиях турбулентного режима имеет место $K_m = 2{,}2$ *м/сутки*.

Откачки из совершенных скважин в безнапорном горизонте

На рис. XII-41 представлен случай, когда откачка происходит из совершенной скважины, заложенной в безнапорном горизонте. Формулы А. А. Краснопольского для коэффициента фильтрации в случае турбулентного движения в трещиноватых породах определяются числом и местоположением наблюдательных скважин.

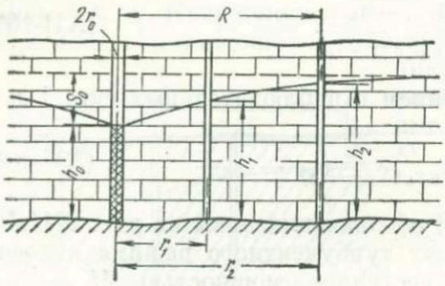


Рис. XII-41. Приток к совершенной скважине в трещиноватых породах в безнапорном горизонте.

I. Если наблюдения ведутся лишь в центральной скважине, то в условиях пренебрежения радиусом скважины r_0 по сравнению с радиусом влияния R (что обычно и имеет место) по формуле, видоизмененной Г. Н. Каменским [1943]

$$K_m = \frac{0{,}16\,Q}{H\sqrt{r_0 S_0}}. \qquad \text{(XII-109)}$$

II. При наблюдениях за понижением в центральной скважине и наблюдательной скв. 1:

$$K_m = 0{,}16\,Q\sqrt{\frac{3\,(r_1 - r_0)}{(h_1^3 - h_0^3)\,r_1 r_0}}. \qquad \text{(XII-110)}$$

III. При наблюдениях за понижением в двух наблюдательных скв. 1 и 2

$$K_m = 0{,}16\,Q\sqrt{\frac{3\,(r_2 - r_1)}{r_2 r_1\,(h_2^3 - h_1^3)}}. \qquad \text{(XII-111)}$$

В формулах (XII-109) — (XII-111) все обозначения ясны из рис. XII-41.

§ 4. НАЛИВЫ И НАГНЕТАНИЯ В СКВАЖИНЫ, КОЛОДЦЫ И ШУРФЫ

Наливы и нагнетания в напорный горизонт

Совершенная скважина

При сравнительно незначительном превышении уровня в скважине S_0 над естественным пьезометрическим уровнем, — в предположении, что движение воды из скважины подчиняется закону Дарси, — значение коэффициента фильтрации определяется по формулам Дюпюи (рис. XII-42).

По данным для одиночной скважины

$$K = \frac{0{,}366\,Q\,\lg\dfrac{R}{r_0}}{MS_0}, \qquad \text{(XII-112)}$$

где Q — расход воды в период налива;

R — радиус влияния;

S_0 — превышение уровня в скважине над естественным пьезометрическим уровнем.

При наблюдениях на центральной опытной и наблюдательной скв. 1

$$K = \frac{0{,}366\, Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{M(S_0 - S_1)}. \qquad \text{(XII-113)}$$

Обозначения в формулах (XII-112) и (XII-113) ясны из рис. XII-42.

Если производится нагнетание в водоносный горизонт, причем предполагается, что при этом имеет место турбулентное движение, подчиняющееся закону А. А. Краснопольского, то

$$K_m = \frac{0{,}16\, Q}{M\sqrt{r_0 S_0}}. \qquad \text{(XII-114)}$$

Обозначения те же, что и выше.

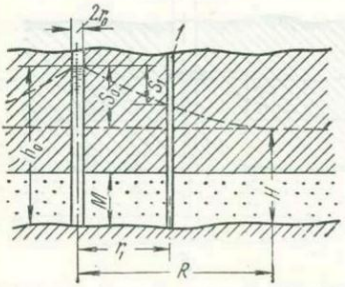


Рис. XII-42. Налив и нагнетание в совершенную скважину в напорном горизонте.

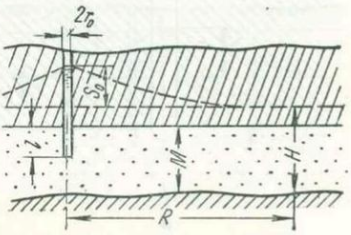


Рис. XII-43. Налив и нагнетание в несовершенную скважину в напорном горизонте.

Несовершенная скважина

Этот случай представлен на рис. XII-43. Коэффициент фильтрации определяется по формуле М. Маскета [1949], предусматривающей движение воды из скважины, подчиняющееся закону Дарси

$$K = 0{,}366 \frac{Q}{MS_0}\left[\frac{1}{2a}\left(2 \lg \frac{4M}{r_0} - A\right) - \lg \frac{4M}{R}\right], \qquad \text{(XII-115)}$$

где $a = \frac{l}{M}$,

R — радиус влияния скважины;

A — определяется по графику рис. XII-13 в зависимости от a.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-43.

Пример. При наливе в одиночную несовершенную скважину диаметром 200 *мм* установлено следующее: при расходе $Q = 1{,}15$ *л/сек* радиус влияния $R = 50$ *м*. Превышение уровня воды в скважине над естественным пьезометрическим уровнем $S_0 = 6{,}0$ *м*, мощность водоносного горизонта, сложенного крупнозернистыми песками, $M = 8{,}0$ *м*; забой скважины находится ниже кровли водоносного горизонта на величину $l = 4{,}0$ *м*. Определить коэффициент фильтрации.

Предварительно находим $a = \frac{l}{M} = \frac{4{,}0}{8{,}0} = 0{,}5$. По графику рис. XII-13 при $a = 0{,}5$ $A = 1{,}25$.

Подставляя $Q = 1{,}15$ *л/сек* $= 100$ *м³/сутки* и остальные величины, выраженные в метровой размерности, в формулу (XII-115) находим

$$K = \frac{0{,}366 \cdot 100}{8{,}0 \cdot 6{,}0}\left[\frac{1}{2 \cdot 0{,}5}\left(2 \lg \frac{4{,}0 \cdot 8{,}0}{0{,}1} - 1{,}25\right) - \lg \frac{4{,}0 \cdot 8{,}0}{50}\right] = 3 \text{ м/сутки}.$$

Налив в шурфы и шахтные колодцы

При наливе в колодец или шурф, вскрывающий напорный водоносный горизонт, если дно шурфа имеет сферическую форму, как это показано на рис. XII-44а, по формуле Ф. Форхгеймера [1935]

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{r_0 S_0}. \qquad \text{(XII-116)}$$

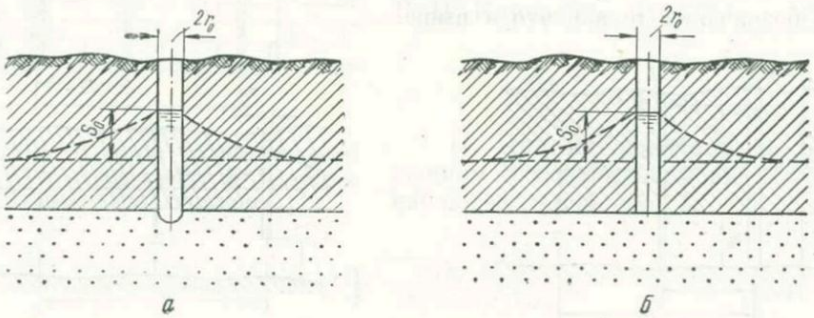


Рис. XII-44. Налив в шурф или колодец, вскрывающий напорный горизонт.

Если дно шурфа плоское (рис. XII 44б), то по формуле Л. С. Лейбензона [1947]

$$K = \frac{0{,}25\,Q}{r_0 S_0}. \qquad \text{(XII-117)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-44а и XII-44б.

Наливы и нагнетания в безнапорный горизонт

Совершенная скважина

Если налив в скважину происходит в условиях, при которых движение воды подчиняется закону Дарси, определение коэффициента фильтрации производится по формулам Дюпюи (рис. XII-45).

По данным для одиночной скважины

$$K = \frac{0{,}733\,Q \lg \dfrac{R}{r_0}}{h_0^2 - H^2}, \qquad \text{(XII-118)}$$

где Q — расход, поглощаемый скважиной в период налива;

R — радиус влияния;

H и h_0 — соответственно естественный уровень и горизонт воды в скважине, отсчитываемые от водоупора;

r_0 — радиус скважины.

При наблюдениях над центральной опытной и наблюдательной скв. 1

$$K = \frac{0{,}733\,Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{h_0^2 - h_1^2}, \qquad \text{(XII-119)}$$

где r_1 — расстояние от центральной скважины до наблюдательной скв. 1;
h_1 — глубина воды в ней, как показано на рис XII-45.

Остальные обозначения — те же, что и выше.

Если производится нагнетание в водоносный горизонт, причем предполагается, что имеет место турбулентное движение, подчиняющееся закону А. А. Краснопольского [1912], то при наблюдениях в одиночной скважине

$$K_m = \frac{0{,}276\,Q}{\sqrt{r_0\,(h_0^3 - H^3)}}. \qquad \text{(XII-120)}$$

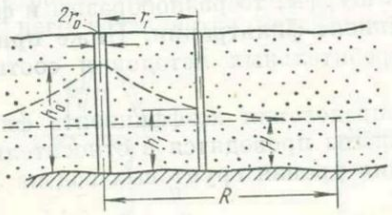


Рис. XII-45. Налив в совершенную скважину в безнапорном горизонте.

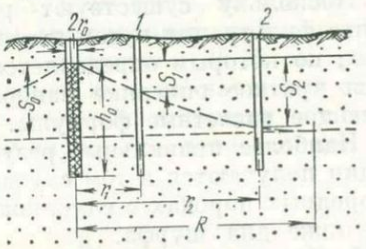


Рис. XII-46. Налив в несовершенную скважину в безнапорном горизонте.

Несовершенная скважина

Коэффициент фильтрации определяется по формулам К. И. Добровольского [1932]. При наблюдениях в одной центральной скважине

$$K = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{R}{r_0}}{h_0 S_0}, \qquad \text{(XII-121)}$$

где R — радиус влияния.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-46.

При наблюдениях в центральной скважине и наблюдательной скв. 1

$$K = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{h_0 S_1}; \qquad \text{(XII-122)}$$

при двух наблюдательных скв. 1 и 2

$$K = \frac{0{,}366\,Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{h_0\,(S_2 - S_1)}. \qquad \text{(XII-123)}$$

В формулах (XII-122) и (XII-123) r_1 и r_2 — расстояния от центральной скважины до наблюдательных скв. 1 и 2, S_1 и S_2 — превышение горизонта воды в тех же скважинах над естественным уровнем грунтовых вод.

Остальные обозначения ясны из рис. XII-46.

При наливе в скважину, пройденную в «сухой» породе, при сравнительно коротких интервалах налива, — коэффициент фильтрации может быть определен по формуле В. М. Насберга [1950]

$$K = 0{,}423 \frac{Q}{h_0^2} \lg \frac{2h_0}{r_0}. \qquad \text{(XII-124)}$$

Обозначения те же, что и на рис. XII-46. Формула (XII-124) справедлива при соотношении

$$12{,}5 < \frac{h_0}{r_0} < 50.$$

Наливы в шурфы и шахтные колодцы

Поскольку существуют различные методы определения коэффициента фильтрации путем налива воды в шурфы, то разнообразны и формулы, по которым определяется коэффициент фильтрации. Ниже приводится краткое описание наиболее употребительных методов и соответствующие расчетные формулы.

Наиболее правильные результаты определения коэффициента фильтрации получаются в том случае, если опыты проводятся в относительно однородных породах с глубиною залегания уровня грунтовых вод на 3—5 *м* ниже дна шурфа.

I. Способ А. К. Болдырева.

Как видно из рис. XII-47, на дне шурфа устраивается зумпф диаметром примерно 0,5 *м*, глубиною $h = 0{,}15$—$0{,}25$ *м*. Дно зумпфа тщательно планируется и засыпается чистым гравием толщиной примерно 2 *см*. В зумпфе поддерживается уровень воды высотой 10 *см* путем налива из сосуда, установленного на поверхности земли. Постоянство уровня воды в зумпфе контролируется при помощи рейки. Обычно с течением времени количество фильтрующейся воды уменьшается, а в некоторый момент времени фильтрационный расход можно считать практически установившимся. Для определения этого момента удобно вести запись изменения фильтрационного расхода в зумпфе по следующей форме:

№ отсчета	Время замера часы, минуты	Промежуток между замерами, минуты	Поглощенный объем воды, $см^3$	Расход, $см^3/мин$

Данные этой таблицы следует представить в виде графика, образец которого приведен на рис. XII-48. На оси ординат наносится расход Q, на оси абсцисс — время с начала опыта. Обычно на графике отчетливо устанавливается расход $Q_{уст}$, соответствующий установившемуся режиму инфильтрации из шурфа. Рекомендуется заканчивать опыт в том случае, если замеренные через 30 минут расходы отличаются от среднего за последние 2 часа не более чем на 10%. Средняя продолжительность опыта в скальных и гравелисто-галечных грунтах и песках 10—12 часов, в супесях и суглинках — 24—48 часов.

Коэффициент фильтрации

$$K = \frac{Q_{уст}}{\omega} \text{ см/мин}, \qquad \text{(XII-125)}$$

где $Q_{уст}$ — установившийся расход, $см^3/мин$;

$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь зумпфа, диаметром d, $см$, в том случае, если стенки зумпфа закреплены и фильтрация через его стенки отсутствует.

Если же стенки зумпфа не закреплены и возможна фильтрация, помимо дна зумпфа, также и через его стенки, то $\omega = \frac{\pi d^2}{4} + \pi d h$, где h — глубина в зумпфе.

II. Способ Г. Н. Каменского [1943].

По этому способу, как видно из рис. XII-49а и 49б, на дне выработки устраивается зумпф диаметром около 40 *см*, глубиною примерно 10 *см*; в него вставляется металлическое кольцо диаметром 35,75 *см*, высотою около 20 *см*. С наружной стороны кольцо изолируется от стенок зумпфа. Это делается для того,

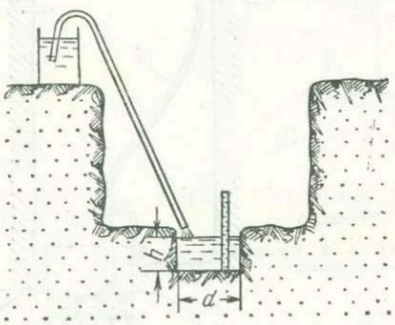


Рис. XII-47. Схемы опытного устройства при определении коэффициента фильтрации по способу А. К. Болдырева.

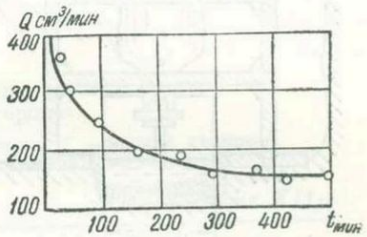


Рис. XII-48. График к определению коэффициента фильтрации по способу А. К. Болдырева.

чтобы вода, инфильтрующаяся в грунт, не растекалась бы с поверхности, а имела бы в своем движении вертикальное направление. Над зумпфом на специальной деревянной подставке устанавливается наполненная водою бутыль емкостью 3—5 *л*, закрытая пробкой и снабженная выводною трубкою. Как видно из рис. XII-49а, бутыль устанавливается в перевернутом состоянии, так, чтобы конец трубки был погружен под уровень предварительно налитой в зумпф воды. В связи с инфильтрацией в грунт горизонт воды в зумпфе будет снижаться, обнажать конец выводной трубки, и вода из бутыли будет выливаться в зумпф. Таким образом, горизонт воды в зумпфе будет находиться во время опыта практически на постоянной отметке. При значительных поглощениях воды более удобной является установка, изображенная на рис. XII-49б.

Запись поглощаемых объемов воды и времени надлежит вести точно так же, как и в способе А. К. Болдырева.

Так как диаметр металлического кольца $d = 35{,}75$ *см*, а площадь его $\omega = 1000$ $см^2$, то по формуле (XII-125)

$$K = 0{,}001\, Q \text{ см/мин}, \qquad \text{(XII-126)}$$

Q — расход воды, $см^3/мин$.

Область применения способа Г. Н. Каменского такая же, как и способа А. К. Болдырева.

III. Способ Н. С. Нестерова.

Как видно из рис. XII-50, способ Н. С. Нестерова заключается в том, что на дне опытного шурфа вдавливаются в грунт два стальных цилиндра высотою 20 *см*, диаметром 25 и 50 *см* концентрично один относительно другого. Во внешнее (кольцевое) и внутреннее (круговое) пространство вода поступает раздельно из перевернутых бутылей так же, как и в опыте по способу Г. Н. Каменского (см. выше). Поступление воды в грунт из двух областей — наружной (кольцевой) и внутренней (круговой) — предусматривает, что из кольцевого пространства вода будет в грунте преимущественно растекаться в стороны, из средней же, круговой части,

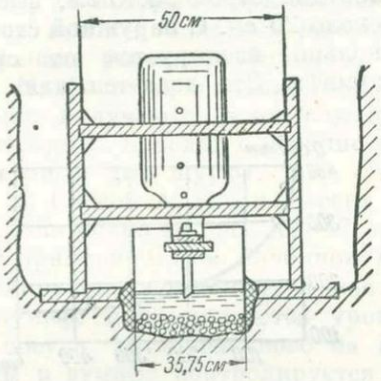


Рис. XII-49а. Схемы опытного устройства при определении коэффициента фильтрации по способу Г. Н. Каменского.

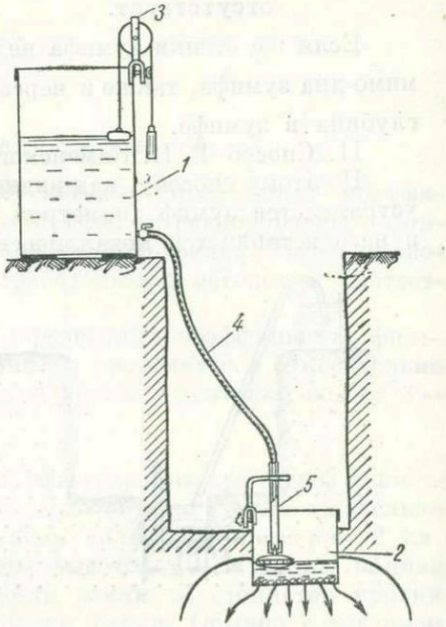


Рис. XII-49б. Установка для опытного налива по способу Г. Н. Каменского с автоматическим регулятором (по Е. В. Симонову):

1 — мерный бачок; *2* — стальное кольцо; *3* — ленточный уровнемер; *4* — резиновый шланг; *5* — автоматический регулятор уровня воды.

фильтрация будет иметь вертикальное направление. Этот метод уместно применять в супесчаных и суглинистых грунтах, где существенное значение имеют капиллярные силы. Опыт производится так же, как и по способу Г. Н. Каменского. Запись расходов воды ведется по той же форме; при этом учитывается лишь расход, поступающий во внутреннее круговое пространство.

Коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$K = \frac{Q_{уст} \cdot h}{\frac{\pi d^2}{4}(H_к + l + h)}, \qquad \text{(XII-127)}$$

где $Q_{уст}$ — установившийся фильтрационный расход в *см*³/*мин*;

h — глубина воды в шурфе (во внутреннем кольце);

$H_к$ — капиллярная высота в условиях инфильтрации в «сухой» грунт;

l — глубина просачивания воды.

Величины h, $H_к$, l подставляются в формулу (XII-127) в сантиметрах. Глубина l определяется сразу же после опыта. Для этого в середине шурфа и в расстоянии нескольких метров от него пробуриваются скважины глубиною 3—5 *м*. Из скважин отбираются образцы через каждые 0,3—0,5 *м* и определяется влажность. Сопоставляя влажность образцов, взятых в обоих скважинах на одинаковых отметках, можно установить l — глубину просачивания воды во время опыта.

Значения капиллярного поднятия, по данным Н. Н. Биндемана [1947], приводятся в табл. XII-5.

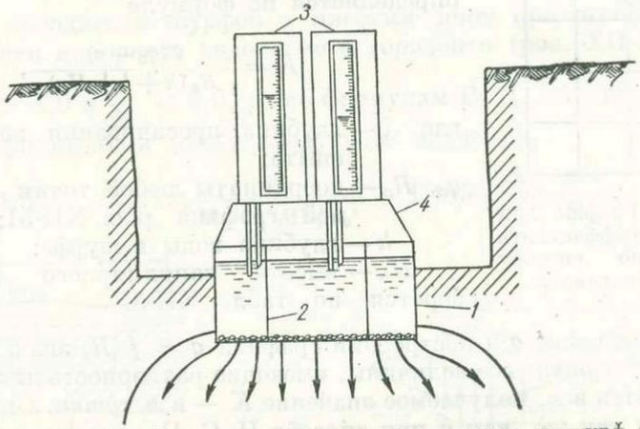


Рис. XII-50. Установка для опытного налива в шурф по способу Н. С. Нестерова:

1 — внешнее кольцо; *2* — внутреннее кольцо; *3* — мерные съемные бачки; *4* — установочная рамка.

Таблица XII-5

Наименование грунтов	$H_к$, *м*
Суглинок тяжелый	1,0
» легкий	0,8
Супесь тяжелая	0,6
» легкая	0,4
Песок мелкозернистый глинистый	0,3
» мелкозернистый чистый	0,2
» среднезернистый	0,1
» крупнозернистый	0,05

IV. Способ Н. Я. Денисова — Н. Н. Биндемана [1947].

По этому способу рекомендуется вырыть на опытном участке не менее четырех шурфов диаметром 0,25, 0,50, 0,75 и 1,0 *м* с расстоянием между ними не менее 5 *м*. Налив в шурфы и наблюдение за величиною установившихся расходов производится так же, как и в опыте А. К. Болдырева. Деля полученный установившийся расход на площадь дна шурфа, получаем приведенные расходы

$$q_1 = \frac{Q'_{уст}}{\frac{\pi d_1^2}{4}}, \quad q_2 = \frac{Q''_{уст}}{\frac{\pi d_2^2}{4}}, \quad q_3 = \frac{Q'''_{уст}}{\frac{\pi d_3^2}{4}}, \quad \text{и т. д.,}$$

где $Q'_{уст}$, $Q''_{уст}$ — установившиеся расходы соответственно для шурфов 1, 2 и т. д. (рис. XII-51);

d_1, d_2, d_3 — диаметры этих шурфов.

Имея величины q_1, q_2, q_3 и q_4 строим график $q = f(R)$, где $R = \frac{d}{4}$ — гидравлический радиус дна шурфа. Этот график представлен на рис. XII-51. Проводя осредняющую прямую, отсекаем на оси абсцисс величину «с», характеризующую растекание воды в стороны. Коэффициент фильтрации определяется по формуле

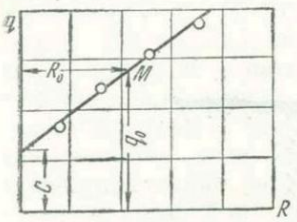


Рис. XII-51. График для определения коэффициента фильтрации по способу Денисова—Биндемана.

$$K = \frac{l(q_0 - c)}{R_0(h + l + H_к)}, \qquad \text{(XII-128)}$$

где l — глубина просачивания воды к концу опыта;

q_0, R_0 — координаты любой точки M на прямой графика рис. XII-51;

h — глубина воды в шурфе;

$H_к$ — высота капиллярного поднятия — берется по табл. XII-5.

При вычислении q и построении графика $q = f(R)$ значение Q определяются в *м³/сутки*; все величины, имеющие размерность длины — l, h, $H_к$, выражаются в *м*, получаемое значение K — в *м/сутки*. Определение l производится так же, как и при способе Н. С. Нестерова.

§ 5. ОТКАЧКИ ИЗ ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ И ШУРФОВ

Откачки из колодцев и шурфов при безграничной мощности напорного водоносного горизонта (рис. XII-52а, 52б)

По исследованиям В. Д. Бабушкина [1952], если мощность водоносного горизонта M по крайней мере в 10 раз более радиуса колодца r_0 и в то же время $\frac{R}{M} < 10$, где R — радиус влияния колодца при откачке,

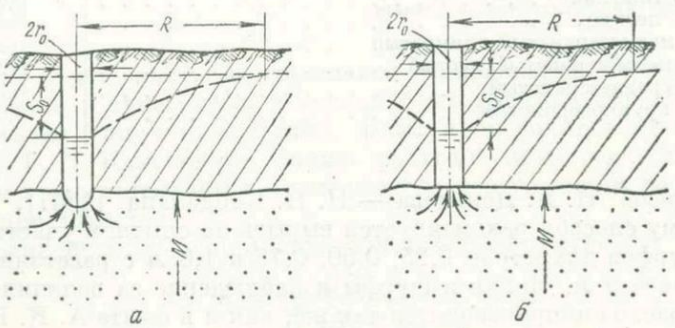


Рис. XII-52. Приток в шурф или колодец, вскрывающий напорный водоносный горизонт безграничной мощности.

то по формулам Ф. Форхгеймера [1935] коэффициент фильтрации определяется следующим образом,

При наличии полусферической формы дна колодца (рис. XII-52а)

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{r_0 S_0}. \qquad \text{(XII-129)}$$

При наличии плоского дна колодца (рис. XII-52б)

$$K = \frac{0{,}08\,Q}{r_0 S_0}. \qquad \text{(XII-130)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-52.

Откачки из колодцев и шурфов с плоским дном при ограниченной мощности напорного водоносного горизонта (рис. XII-53)

Если $\frac{R}{M} > 4{,}0$ и $\frac{r_0}{M} < 1{,}0$, то по формулам В. Д. Бабушкина [1952] коэффициент фильтрации имеет следующее значение

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{S_0 r_0}\left(1{,}57 + 2\arcsin\frac{r_0}{M+\sqrt{M^2+r_0^2}} + 1{,}185\,\frac{r_0}{M}\lg\frac{R}{4M}\right). \qquad \text{(XII-131)}$$

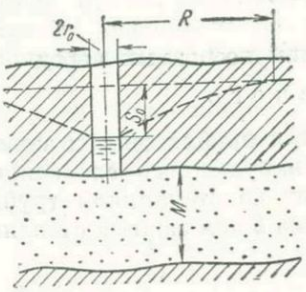


Рис. XII-53. Приток в шурф или колодец, вскрывающий напорный водоносный горизонт ограниченной мощности.

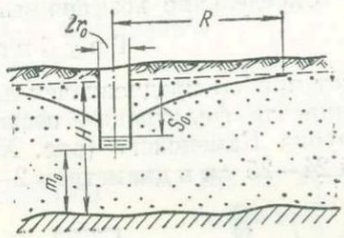


Рис. XII-54. Приток в шурф или колодец с плоским дном в безнапорном водоносном горизонте при ограниченной его мощности.

Если $\frac{r_0}{M} < 0{,}5$, то

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{S_0 r_0}\left[1{,}57 + \frac{r_0}{M}\left(1 + 1{,}185\lg\frac{R}{4M}\right)\right]. \qquad \text{(XII-132)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-53.

Откачки из колодцев и шурфов с плоским дном в безнапорном водоносном горизонте при ограниченной его мощности (рис. XII-54)

По формулам В. Д. Бабушкина [1952]: если $1{,}0 > \frac{r_0}{m_0} > 0{,}5$, то

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{S_0 r_0}\left[1{,}57 + 2\arcsin\frac{r_0}{m_0+\sqrt{m_0^2+r_0^2}} + 1{,}185\lg\frac{R}{4H}\right]; \qquad \text{(XII-133)}$$

если $\frac{r_0}{m} < 0{,}5$, то

$$K = \frac{0{,}16\,Q}{S_0 r_0}\left[1{,}57 + \frac{r_0}{m_0}\left(1 + 1{,}185\lg\frac{R}{4H}\right)\right]. \qquad \text{(XII-134)}$$

Обозначения ясны из рис. XII-54.

При откачках из шурфов квадратного сечения в формулы (XII-129)—(XII-134) вместо r_0 надлежит подставлять $0{,}55\,a$, где a — сторона квадрата сечения шурфа.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Коэффициент фильтрации в лабораторных условиях может быть определен с помощью специальных приборов на образцах несвязных и связных пород с нарушенным или естественным сложением. В зависимости от конструкции применяемых приборов коэффициент фильтрации определяют:

а) без учета влияния нагрузки на породу (трубка Каменского и трубка СПЕЦГЕО — Знаменского, приборы: Тима, Каменского и Копецкого);

б) с учетом влияния нагрузки на породу в пределах от 0 до 10—12 *кг/см*^{2} (компрессионно-фильтрационные приборы конструкции Захарьева, Маслова, Гуменского, Троицкой и др.).

Определение коэффициента фильтрации несвязных пород

Трубка Каменского

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

Трубка Каменского (рис. XII-55) состоит из стеклянной трубки *1* длиной 24—25 *см* и диаметром 2—4 *см*, штатива *2* для зажима стеклянной

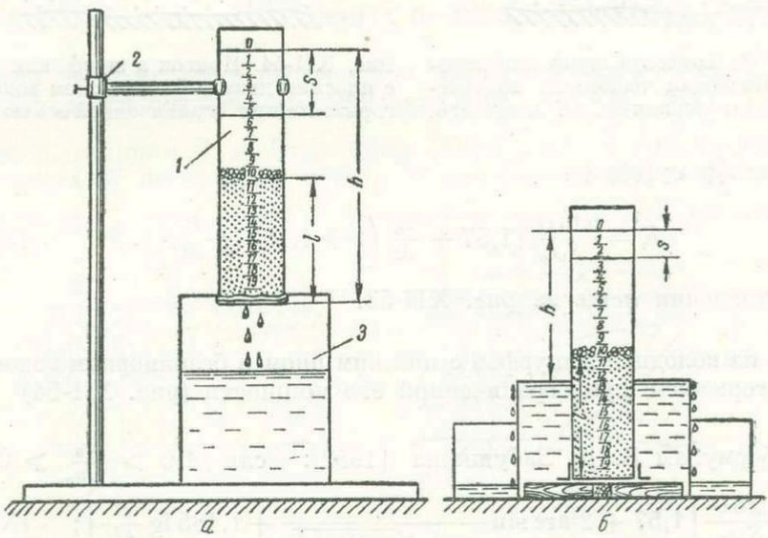


Рис. XII-55. Трубка Каменского.

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 стакана 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).

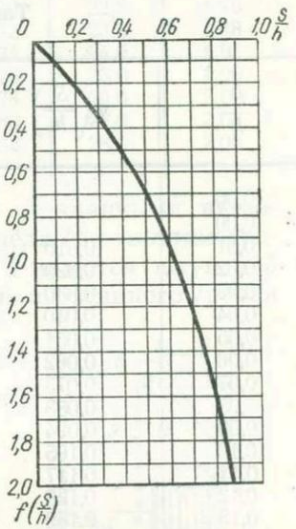


Рис. XII-56. График значений $\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$.

Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле

$$K = \frac{l}{t}\,\varphi\left(\frac{S}{h}\right), \qquad \text{(XII-135)}$$

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 *см/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. XII-6 или по графику (рис. XII-56).

Для крупнозернистых песков опыт проводят с меньшим гидравлическим градиентом (см. рис. XII-55, б). 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

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

Для приведения результатов опыта к искомой температуре пользуются формулой

$$K_{\text{иск}} = \frac{K_{\text{факт}} \cdot ТП_{\text{иск}}}{ТП_{\text{факт}}},$$

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

Таблица XII-6

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

$\frac{S}{h}$	$\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$	$\frac{S}{h}$	$\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$	$\frac{S}{h}$	$\varphi\left(\frac{S}{h}\right)$
0,00		0,33	0,400	0,67	1,109
0,00		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 сокращения вычислений по упомянутой формуле обычно пользуются таблицами поправок для различных температур (табл. XII-7).

Прибор Тима

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

Прибор Тима (рис. XII-57) 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

Таблица XII-7

Температурные поправки (*ТП*) по Пуазейлю.

t° C	*ТП*	*t*°C	*ТП*	*t*°C	*ТП*	*t*°C	*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

посредством резиновых трубок соединены с тремя стеклянными пьезометрами *4a*, *4b* и *4c*, 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 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*.

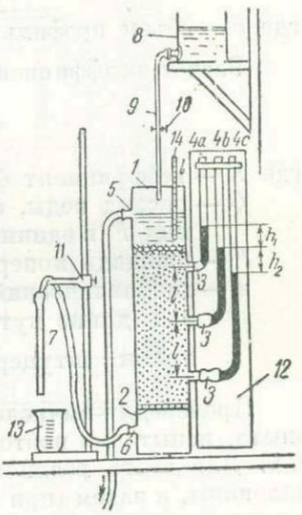


Рис. XII-57. Прибор Тима.

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.

Убедившись в исправности прибора, приступают к проведению опыта, для чего резиновую регулирующую трубку *7* устанавливают на высоте половины верхней трети испытуемого 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 беспрерывного 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 по пьезометрам 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.

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 в нижнем пьезометрах.

Расход Q вычисляют по формуле

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

где v — объем профильтровавшейся воды за время t сек.

Расчет коэффициента фильтрации производят по формуле

$$K = \frac{Q}{FI}, \qquad \text{(XII-136)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *см/сек*;
Q — расход воды, фильтрующейся через площадь поперечного сечения F в единицу времени, замеренный в процессе опыта, *см³/сек*;
F — площадь поперечного сечения прибора, *см²*;
I — гидравлический градиент, равный отношению среднего напора h к длине пути фильтрации l, равной расстоянию между центрами штуцеров, *см* $\left\| \text{т. е. } I = \frac{h}{l} \right\|$.

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).

Определение коэффициента фильтрации связных пород

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. XII-58) состоит из фильтрационной трубки и специального винтового телескопического приспособле-

ния, 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.

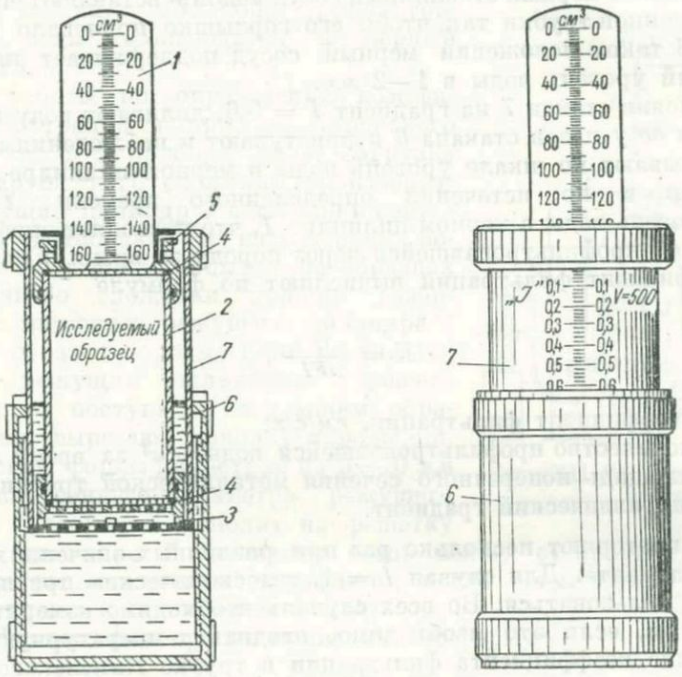


Рис. XII-58. Трубка СПЕЦГЕО — Знаменского (прибор «КФ»):

а) прибор в рабочем положении (в разрезе); *б*) прибор в рабочем положении (общий вид).

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 деления 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 сложения, то на фильтрационную трубку *2* надевают донышко

3 с латунной сеткой *4* и заполняют ее породой через верх. [1] 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*, одевают 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 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 время t секунд.

Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле

$$K = \frac{Q}{tFI}, \qquad \text{(XII-137)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *см/сек*;

Q — количество профильтровавшейся воды, $см^3$ за время t сек.;

F — площадь поперечного сечения металлической трубки;

I — гидравлический градиент.

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

Прибор Каменского

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

Прибор Каменского (рис. XII-59) 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* снабженно 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 посредством болтов закрепляют режущий цилиндр. В цилиндр *1* впаяны штуцеры *8* и *9*. Штуцер *9* резиновой трубкой соединяется с пьезометром 10*а*,

[1] 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 трамбочкой. В обоих случаях необходимо определять объемный вес породы.

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*.

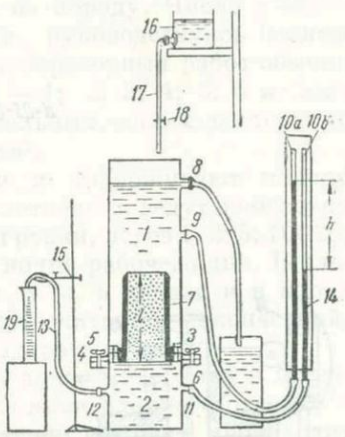


Рис. XII-59. Прибор Каменского.

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 режущего 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

$$K = \frac{Q}{EI}, \qquad \text{(XII-138)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *см/сек*;

Q — расход воды, замеренный в процессе опыта, *см³/сек*;

F — площадь сечения грунта, через который фильтруется вода, *см²*;

I — гидравлический градиент, равный отношению среднего напора h к длине пути фильтрации, l т. е. $I = \frac{h}{l}$.

Компрессионно-фильтрационный прибор Маслова

Прибор конструкции Н. Н. Маслова предназначен для исследования глинистых пород как нарушенного, так и естественного сложения. Он позволяет определять коэффициент фильтрации при различных удельных нагрузках, что особенно важно при оценке физико-механических свойств исследуемых пород.

Прибор Маслова (рис. XII-60) имеет следующее устройство. Он состоит из базы *1*, представляющей собой круглую латунную пластину, в верхней стороне которой находится круглое углубление. По дну углубления проходят кольцевые канавки, соединяющиеся между со-

бой и с двумя отверстиями, расположенными с двух противоположных сторон базы; эти отверстия заканчиваются штуцерами *2*. В углубление базы (сверху кольцевых канавок) вставлен вкладыш из пористого камня или металлическая решетка *3*. С четырех сторон базы находятся четыре выступа с прижимными винтами *4*. На базе *1* установлен цилиндр *5*, внутренний диаметр которого 7 *см*, а высота 6 *см*. Цилиндр *5* разъемный, его нижняя часть (высотою 2 *см*) отвинчивается и служит рабочим кольцом *6* для исследуемой породы. На цилиндр надевается кольцо *7*, с помощью которого винтами *4* цилиндр *5* закрепляется на базе *1*. Внутрь цилиндра вставлен штамп *8* с металлической решеткой или пористым камнем, шток которого *9* выступает выше цилиндра. На цилиндр *5* надета крышка *10*, через направляющее отверстие крышки *11* пропущен шток поршня *9*. Шток поршня внутри полый, а в верхней части имеет боковое отверстие *12*. На шток надевается муфта *13*, посредством которой укрепляется мессура *14*. К базе прибора на штуцер *2* надета резиновая трубка *15*, которая соединяется с стеклянной пьезометрической трубкой *16*, укрепленной на панели *17* с миллиметровой шкалой. Пьезометрическая трубка служит для питания прибора водой и для измерения действующего напора.

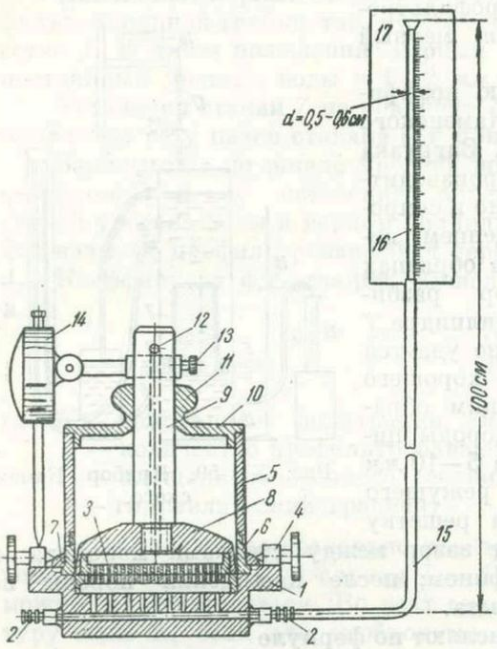


Рис. XII-60. Компрессионно-фильтрационный прибор Маслова.

Из монолита породы вырезается образец посредством специального режущего приспособления, навинченного на кольцо прибора *6*. Вырезав образец, режущее приспособление снимают с кольца прибора, а породу подрезают вровень с краями кольца *6*. Сверху и снизу на породу в кольце накладывают влажную фильтровальную бумагу, а затем кольцо соединяют с цилиндром *5*. Базу прибора *1* заливают водой через пьезометрическую трубку *16*. На цилиндр *5* надевают кольцо *7*, устанавливают его на базу прибора *1* и закрепляют винтами *4*, а затем в цилиндр вставляют штамп *8* и опускают его на породу. В цилиндр заливают воду и закрывают его крышкой *10*. На шток *9* закрепляют муфту с мессуром.

При проведении опыта с породами нарушенного сложения воздушно-сухую породу размельчают и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 *мм*. За одни сутки до загрузки прибора из породы с водой приготовляют грунтовое тесто консистенции ниже предела текучести. Если же перевод породы в воздушно-сухое состояние нежелателен, то непосредственно из породы естественной влажности приготовляется грунтовое тесто вышеуказанной консистенции. Далее, так же как и при подготовке прибора для испытания породы естественного сложения, из него вырезают образец посредством режущего приспособления и кольца прибора, а затем поступают так, как было указано выше.

Прибор устанавливают под пресс, рычаг которого закрепляют упорным винтом неподвижно для предотвращения разбухания породы в приборе. Породу в приборе при закрепленном рычаге выдерживают в течение пяти-шести суток до полного насыщения ее водой. Одновременно с установкой прибора под пресс ножку мессура ставят на выступ и производят запись показаний мессура.

При определении коэффициента фильтрации в компрессионно-фильтрационном приборе сущность опыта состоит в установлении скорости фильтрации воды через породу по понижению уровня воды в пьезометрической трубке при различных нагрузках на породу. Число и величину нагрузок устанавливают до начала опыта, руководствуясь целями и задачами исследований породы. В практике лабораторных работ обычно испытания проводят при нагрузках от 0,5 — 1; 2; 3; 4; 5; 6 *кг/см*²; в ряде случаев при решении некоторых специальных вопросов нагрузку увеличивают до 10—12, а иногда и до 20 *кг/см*².

Прикладывают первую ступень нагрузки и выдерживают породу до стабилизации уплотнения; наблюдения за уплотнением ведут по мессуру в следующем порядке: в момент приложения нагрузки, через 1, 2; 5; 10; 20; 30 минут и в дальнейшем через каждый час до конца рабочего дня. В следующие дни наблюдения производят дважды, т. е. в начале и в конце рабочего дня. Стабилизация уплотнения породы считается законченной, если последние три отсчета по мессуру были одинаковыми.

После стабилизации уплотнения породы от данной нагрузки в пьезометрическую трубку наливают воду на 50—70 *см* выше сливного отверстия прибора и создают тем самым напор, под действием которого происходит фильтрация воды из пьезометрической трубки в прибор и в приборе снизу вверх через слой исследуемой породы. Далее, по истечении 10—15 минут производят наблюдения за скоростью падения уровня воды в пьезометрической трубке, для чего отсчеты по пьезометру производят не реже, чем через 6—8 часов. При каждом замере уровня воды в пьезометрической трубке замеряют температуру фильтрующейся воды. Необходимо подчеркнуть, что коэффициент фильтрации получается тем точнее, чем больше было сделано наблюдений за уровнем воды в пьезометрической трубке. В процессе опыта необходимо поддерживать горизонт воды в приборе на уровне сливного отверстия. Если же расход воды, фильтрующейся через породу, будет меньше потерь на испарение, то необходимо доливать воду через верхнюю крышку прибора.

Коэффициент фильтрации породы вычисляют по данным опыта, исходя из условий, что уровень воды в пьезометрической трубке при первом отсчете через время t_1 (часов или секунд) от начала наблюдения понизился на S_1 *см* от первоначального уровня, через время t_2 на S_2 *см*; через время t_3 на S_3 *см*; через время t_n на S_n *см* и т. д. откуда по формуле Дарси

$$K_1 = \frac{q_1}{FI_1t_1},\quad K_2 = \frac{q_2}{FI_2t_2},\quad K_3 = \frac{q_3}{FI_3t_3},\quad K_n = \frac{q_n}{FI_nt_n} \text{ и т. д., (XII-139)}$$

где K_1, K_2, K_3 и K_n — коэффициенты фильтрации, *см/час* или *см/сек*;

q_1, q_2, q_3 и q_n — количества воды, *см*³, профильтровавшиеся через слой пород за время t_1, t_2, t_3 и t_n, и т. д. определенные по формулам

$$q_1 = \frac{\pi d^2}{4}S_1;\quad q_2 = \frac{\pi d^2}{4}(S_2 - S_1);\quad q_3 = \frac{\pi d^2}{4}(S_3 - S_2);\quad q_n = \frac{\pi d^2}{4}(S_n - S_{n-1}),$$

где d — диаметр пьезометрической трубки, *см*;

I_1, I_2, I_3 и I_n — гидравлические градиенты в моменты t_1, t_2, t_3 и t_n, равные:

$$I_1 = \frac{h_1}{l}; I_2 = \frac{h_2}{l}; I_3 = \frac{h_3}{l}; I_n = \frac{h_n}{l},$$

где l — толщина испытуемого слоя породы в *см* к моменту окончания стабилизации осадки от той или иной ступени нагрузки;

h_1, h_2, h_3, h_n — средние действующие напоры за время t_1, t_2, t_3, t_n, вычисленные по формулам

$$h_1 = H - \frac{S_1}{2}; h_2 = H - \frac{S_2 - S_1}{2}; h_3 = H - \frac{S_3 - S_2}{2};$$

$$h_n = H - \frac{S_n - S_{n-1}}{2},$$

где H — начальный напор, *см*;

F — площадь поперечного сечения кольца прибора, *см*^{2}.

Средний коэффициент фильтрации за время опыта при первой ступени нагрузки составит:

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + \ldots K_n}{n}, \qquad \text{(XII-140)}$$

где n — число наблюдений.

Коэффициент фильтрации может быть определен по формуле Каменского

$$K = \frac{2{,}3dl}{F} \cdot \frac{\lg \frac{H}{h}}{t}, \qquad \text{(XII-141)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *см/час* или *см/сек*;

d — площадь сечения пьезометрической трубки, *см*^{2};

l — мощность слоя испытуемой породы, *см*;

F — площадь сечения кольца прибора с породой, *см*^{2};

H — начальный напор, *см*;

h — напор в *см*, отсчитанный по пьезометрической трубке в момент t от начала опыта.

Рекомендуется вычислять коэффициент фильтрации не менее чем для трех различных напоров для каждой ступени нагрузки. Произведя вычисления коэффициента фильтрации при первой ступени нагрузки, опыт продолжают после стабилизации уплотнения породы от второй, третьей и последующих ступеней нагрузки.

В заключение отметим, что для изучения водо- и газопроницаемости сцементированных и несцементированных горных пород, проходимых скважинами при разведке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и создании подземных газохранилищ, применяются другие фильтрационные приборы, например: УИПК-IV, ВКДВ, ГК-5 и др., позволяющие определять водо- и газопроницаемость пород нормально и параллельно их напластованию, при различных перепадах давления.

Описание этих приборов и методов расчета коэффициента водо- и газопроницаемости можно найти в специальных инструкциях по изучению кернов и руководствах по физике нефтяного пласта (см. К. Г. Оркин, П. К. Кучинский, 1953, 1955; Ф. И. Котяхов, 1955 и др.).

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ФОРМУЛАМ

По данным гранулометрического состава и пористости можно приближенно рассчитать коэффициент фильтрации для рыхлых несвязных пород, пользуясь эмпирическими формулами Хазена, Слихтера, Замарина, Крюгера, Терцаги, Цункера и Зауербрея, а также по способу Мосволгостроя, который позволяет определять коэффициент фильтрации и для глинистых пород (по данным пористости и числу пластичности).

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.

Формула Хазена

$$K = cd_{10}^2 (0{,}7 + 0{,}03\,t), \qquad \text{(XII-142)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
c — эмпирический коэффициент, изменяющийся от 400 (глинистый песок) до 1200 (чистый песок);
d_{10} — действующий (эффективный) диаметр зерна, *мм*;
t — температура воды, °С;
$(0{,}7 + 0{,}03\,t)$ — температурная поправка.

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

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

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 зерна которых колеблется в пределах от 0,1 до 3,0, а коэффициент неоднородности — от 1 до 5.

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

$$K_{10} = d_{10}^2 \text{ см/сек}. \qquad \text{(XII-143)}$$

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. XII-8.

Вычисление коэффициента фильтрации по формуле Хазена, а также и по другим, приведенным ниже, может быть ускорено при пользовании специальными номограммами [Биндеман, 1945].

Таблица XII-8

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	1 087	1270	1450
0,010	67	174	290	384	610	830	1030	12 20	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

$$K = Ad_{10}^2 m \frac{1}{\mu}, \qquad \text{(XII-144)}$$

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. XII-9);

μ — коэффициент вязкости воды, зависящий от температуры (находится по табл. XII-10).

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

Формула Замарина

$$K = 4100 \frac{n^3 a^2}{(1-n)} d_{10}^2, \qquad \text{(XII-145)}$$

где K — коэффициент фильтрации при температуре воды 0°, *м/сутки*;

n — пористость породы в долях единицы;

a — коэффициент, вычисляемый из выражения $a = 1{,}275 - 1{,}5\,n$;

d_{10} — действующий диаметр смеси зерен.

Действующий диаметр определяется из выражения:

$$\frac{1}{d_{10}} = A_1 \Delta g_1 + A_2 \Delta g_2 + \ldots + A \Delta g_n,$$

где A_1, A_2 и т. д. — находятся по табл. XII-11 в зависимости от диаметра фракций породы;

Δg_1, Δg_2 и т. д. — доли участия соответствующих фракций породы в гранулометрическом составе.

Таблица XII-9

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	0,01350	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	0,02356	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	0,03473	0,47	0,08455

Таблица XII-10

Зависимость коэффициента μ от температуры

Температура, °С	μ	Температура, °С	μ	Температура, °С	μ	Температура, °С	μ
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		

Таблица XII-11

Фракции, *мм*	Значения A	Фракции, *мм*	Значения 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
0,05 - 0,25	8,05	3,00—5,00	0,25
0,10—0,25	6,07	5,00—7,00	0,17
0,25—0,50	2,76	7,00—10,00	0,11

Таблица XII-12

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

Формула Крюгера

$$K_{18} = 1{,}44 \cdot 10^6 \frac{n}{v}, \qquad \text{(XII-146)}$$

где K_{18} — коэффициент фильтрации при температуре воды 18°, *м/сутки*;
n — пористость породы в долях единицы;
v — удельная поверхность частиц, вычисляемая по формуле

$$v = 6(1-n)\sum \frac{p}{d} \; см^2/см^3,$$

где p — процентное содержание фракций в долях единицы;
d — средний диаметр фракций;
$\sum \frac{p}{d}$ — сумма отношений $\frac{p}{d}$.

Средний диаметр фракций определяется как среднее арифметическое предельных диаметров фракций, т. е. $d = \frac{d_x + d_y}{2}$.

Формула Терцаги

$$K_0 = \frac{C}{\mu_t}\left[\frac{n-0{,}13}{\sqrt[3]{(1-n)}}\right] d_{10}^2, \qquad \text{(XII-147)}$$

где K_0 — коэффициент фильтрации при $t = 0°$, *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 собою вязкость воды; при $t = 0°$ вязкость $\mu_0 = 0{,}0178$ (табл. XII-10);
d_{10} — действующий диаметр зерна, *см*;
n — пористость породы в долях единицы.

Для пересчета коэффициента фильтрации на другую температуру фильтрующейся воды необходимо учитывать температурную поправку Пуазейля (см. § 6).

Формула Терцаги во многих случаях дает результаты, сходные с экспериментальными данными.

Формула Цункера

$$K_0 = C\left(\frac{n}{1-n}\right)^2 \frac{1}{v^2}(1 + 0{,}034\,t), \qquad \text{(XII-148)}$$

где K_0 — коэффициент фильтрации при $t = 0°$, *м/сутки*;
C — числовой коэффициент, зависящий от формы и однородности зерен (находится по табл. XII-12);
n — пористость породы в долях единицы;
v — удельная поверхность частиц; вычисляется для одной фракции по формуле:

$$v = \frac{\frac{1}{d_y} - \frac{1}{d_x}}{\lg d_x - \lg d_y},$$

где d_x и d_y — диаметры частиц, ограничивающие фракцию;
t — температура фильтрующейся воды, °С.

Формула Цункера может давать отклонение в ту и другую сторону от истинного значения примерно на 15—20%.

Формула Зауербрея

$$K_{10} = \beta \frac{n^3}{(1-n)^2} d_{17}^2, \qquad \text{(XII-149)}$$

где K_{10} — коэффициент фильтрации при $t = 10°$, *м/сутки*;

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

n — пористость песка в долях единицы;

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

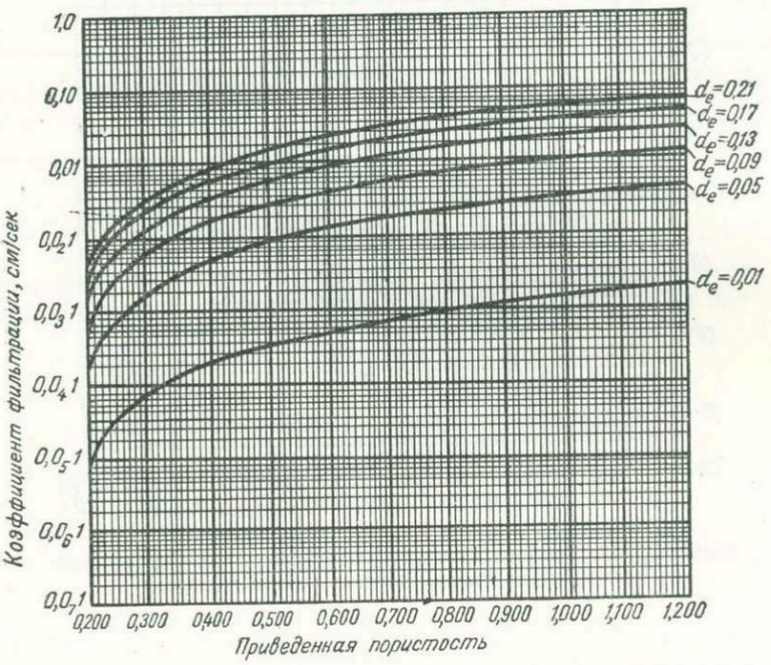


Рис. XII-61. График Арканова для определения коэффициента фильтрации пород.

Способ Мосволгостроя.

Инж. Б. С. Арканов предложил график (рис. XII-61), по которому можно определять коэффициенты фильтрации песков, действующий диаметр которых лежит в пределах от 0,01 до 0,21 *мм*.

На оси абсцисс графика отыскивается значение приведенной пористости и восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей действующему диаметру породы. Перпендикуляр, опущенный из точки пересечения на ось ординат, укажет искомый коэффициент фильтрации. Промежуточные значения действующего диаметра (не на-

несенные на рис. XII-61) находятся путем интерполяции по вертикали.

Коэффициент фильтрации связных пород может быть приближенно определен по графику Маслова-Нестерова (рис. XII-62), при наличии

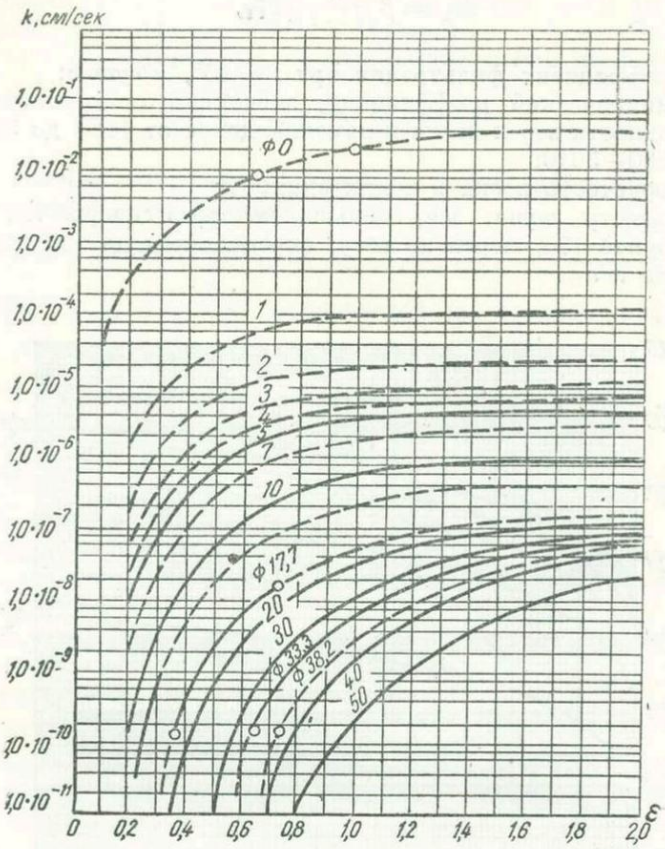


Рис. XII-62. График Маслова—Нестерова для определения коэффициента фильтрации связных пород.

данных о коэффициенте пористости и числе пластичности исследуемых пород. На оси абсцисс графика отыскивается значение коэффициента пористости ε и восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой, характеризующей число пластичности F данного грунта. Из точки пересечения перпендикуляра с кривой до оси ординат проводится горизонтальная линия. В точке пересечения этой линии с осью ординат и будет находиться искомый коэффициент фильтрации. Вычисления коэффициента фильтрации по графику по сравнению с лабораторными данными дают отклонения $\pm 20-40\%$.

Приближенные значения коэффициентов фильтрации. Для ориентировочных расчетов коэффициентов фильтрации пород и гравелистых строительных материалов можно пользоваться данными, приведенными в табл. XII-13 и XII-14.

Таблица XII-13

Приближенные значения коэффициентов фильтрации гравелистых материалов (по В. С. Истоминой)

Средний диаметр частиц (по весу) d_{50}, *мм*	35,0	21,0	10,0	14,0	5,8	3,0	2,9
Коэффициент неоднородности $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	2,7	2,0	2,0	6,3	5,9	3,5	2,7
Пористость, n	0,38	0,40	0,40	0,33	0,33	0,38	0,38
Коэффициент фильтрации (при температуре $t = 10°$) K, *см/сек*	20,0	20,0	10,0	5,0	3,3	0,8	0,8

Таблица XII-14

Коэффициенты фильтрации пород

Наименование породы	Коэффициенты фильтрации K, *см/сек*	Наименование породы	Коэффициенты фильтрации K, *см/сек*
Глина	$\leqslant 1 \cdot 10^{-7}$	Мелкозернистый песок	$1 \cdot 10^{-4}$—$1 \cdot 10^{-3}$
Суглинок	$1 \cdot 10^{-7}$—$1 \cdot 10^{-5}$	Среднезернистый песок	$1 \cdot 10^{-3}$—$1 \cdot 10^{-2}$
Супесь	$1 \cdot 10^{-5}$—$1 \cdot 10^{-3}$	Крупнозернистый песок	$1 \cdot 10^{-2}$—$1 \cdot 10^{-1}$
Иловатые породы .	$1 \cdot 10^{-3}$—$1 \cdot 10^{-2}$	Гравий и галька . . .	$1 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10$
Торфянистые породы	$1 \cdot 10^{-4}$—$1 \cdot 10^{-3}$		

Глава XIII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА ДЕПРЕССИИ (РАДИУСА ВЛИЯНИЯ)

Размеры и форма депрессионной воронки, образующейся при откачке из буровых скважин, колодцев и других выработок, зависят от целого ряда факторов. Наибольшее значение имеют: условия питания водоносного горизонта, связь его с поверхностными водоемами или другими водоносными горизонтами, водопроницаемость пород, а также расход воды при откачке и площадь поперечного сечения водозабора.

В реальных условиях депрессионная воронка почти всегда асимметрична и обычно не имеет резких границ. Поэтому большинство зависимостей для расчета радиуса депрессии позволяет определить только величину приведенного радиуса депрессии, отвечающего наиболее простой схеме колодца, расположенного в центре круга, заменяющего более сложные условия, наблюдаемые в действительности. Приведенный радиус депрессии является также параметром формул Дюпюи для определения притока воды к колодцу.

Размеры депрессионной воронки первоначально возрастают в зависимости от времени, после этого во многих случаях увеличение депрессионной воронки прекращается.

Радиус депрессии, возрастающей в зависимости от времени, отвечающий неустановившемуся притоку подземных вод к колодцу, называется неустановившимся. Радиус депрессии при установившемся движении подземных вод, т. е. после прекращения роста депрессионной воронки, называется установившимся.

Расчетные зависимости и таблицы для определения радиуса депрессии дают в большинстве случаев приближенные его значения и во многих случаях лишь порядок этой величины. Значительно более точные данные могут быть получены при проведении опытных кустовых откачек или наблюдений над уровнем подземных вод вокруг эксплуатационных скважин или других водозаборов.

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА ДЕПРЕССИИ ПО ДАННЫМ ОПЫТНОЙ КУСТОВОЙ ОТКАЧКИ

Радиус депрессии может быть определен по преобразованным формулам Дюпюи.

Для напорных вод

$$\lg R^* = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2}. \qquad \text{(XIII-1)}$$

Для безнапорных вод

$$\lg R^* = \frac{S_1 (2H - S_1) \lg r_2 - S_2 (2H - S_2) \lg r_1}{(S_1 - S_2)(2H - S_1 - S_2)}, \qquad \text{(XIII-2)}$$

где R^* — радиус депрессии (фактический, а не приведенный);
S_1 и S_2 — понижение уровня в двух наблюдательных скважинах, расположенных на одном луче;
r_1 и r_2 — расстояния указанных наблюдательных скважин от центральной;
H — мощность безнапорного водоносного горизонта

В формулах (XIII-1) и (XIII-2) величина S_1 может быть заменена значением S_0 — понижение уровня в центральной скважине, а также соответственно величина r_1 значением r_0 — радиус центральной скважины. При этом для определения R^* достаточно одной наблюдательной скважины, но результаты могут быть ошибочными за счет входных потерь напора.

Радиус депрессии для откачки с расходом воды значительно бо́льшим, чем при опытной откачке (например, при притоке воды к горным выработкам), лучше всего определять на основании зависимости между расходом воды и радиусом депрессии, устанавливаемой опытным путем при тщательном проведении откачки. Кроме того, можно пользоваться следующими формулами (дающими, однако, менее надежные результаты) [Е. Е. Керкис, 1955]

$$R = R_1 \sqrt{\frac{Q}{Q_1}}; \qquad \text{(XIII-3)}$$

$$R = R_1 \frac{Q}{Q_1}, \qquad \text{(XIII-4)}$$

где R_1 — радиус депрессии при опытной откачке с расходом Q_1;
R — радиус депрессии при откачке с расходом Q.

Зависимость радиуса депрессии от расхода определяется рядом факторов, часть которых обычно с трудом поддается учету. Поэтому формулы (XIII-3) и (XIII-4) являются грубо ориентировочными. При пользовании этими формулами следует учитывать, что первая из них (XIII-3) отвечает условиям питания водоносного горизонта за счет инфильтрации на площади депрессионной воронки, вторая же (XIII-4) — откачке из потока подземных вод, причем она не имеет достаточно строгих теоретических обоснований.

При связи водоносного горизонта, из которого производится откачка, с реками или другими водоемами и пополнении количества откачиваемой воды за счет фильтрации из них радиус депрессии не зависит от расхода воды при откачке. При возможности притока воды из других сильно водообильных водоносных горизонтов радиус депрессии также мало зависит от расхода воды при откачке.

§ 2. РАДИУС ДЕПРЕССИИ ПРИ ОТКАЧКЕ ИЗ КОЛОДЦА, РАСПОЛОЖЕННОГО БЛИЗ БЕРЕГА РЕКИ ИЛИ ДРУГОГО ВОДОЕМА

По Ф. Форхгеймеру

$$R = 2a_p, \qquad \text{(XIII-5)}$$

где R — приведенный радиус депрессии;
a_p — расстояние от центра колодца до реки.

Для выработок значительного поперечного сечения, во избежание получения завышенных значений R, лучше пользоваться формулой:

$$R = 2a_p - r_0, \qquad \text{(XIII-6)}$$

где r_0 — приведенный радиус выработки.

Формула XIII-5 при небольших значениях r_0 и хорошей связи между поверхностными и подземными водами дает точные результаты. Формула (XIII-6) может применяться для «большого колодца», т. е. для выработок со значительной площадью поперечного сечения, по форме сильно не отличающихся от круга. Значения R по этой формуле получаются несколько преуменьшенные, в то время как формула (XIII-5) для большого колодца дает преувеличенные значения R.

§ 3. РАДИУС ДЕПРЕССИИ ПРИ ОТКАЧКЕ ИЗ ПОТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

По А. А. Краснопольскому, С. В. Троянскому [1932] и др.

$$R = \frac{eQ}{2KHI} \text{ или } R = \frac{eQ}{2KMI}. \qquad \text{(XIII-7)}$$

Видоизмененная формула (XIII-7) для напорных вод

$$R(\lg R - \lg r_0) = \frac{1{,}36\, eS_0}{I}. \qquad \text{(XIII-8)}$$

Видоизмененная формула (XIII-7) для безнапорных вод

$$R(\lg R - \lg r_0) = \frac{0{,}68\, eS_0(2H - S_0)}{HI} \qquad \text{(XIII-9)}$$

По В. С. Ильину для напорных вод [1935]

$$R = \frac{S_0}{I}. \qquad \text{(XIII-10)}$$

По В. С. Ильину для безнапорных вод

$$R = \frac{S_0(2H - S_0)}{3HI}. \qquad \text{(XIII-11)}$$

Обозначения в формулах (XIII-7) — (XIII-11):

R — приведенный радиус депрессии (влияния);
Q — расход воды;
K — коэффициент фильтрации;
I — уклон зеркала грунтовых вод или пьезометрической поверхности напорных вод до откачки;
S_0 — понижение уровня в колодце при откачке;
H — мощность безнапорного водоносного горизонта;
M — мощность напорного водоносного горизонта;
r_0 — радиус колодца или приведенный радиус для водозаборов некруглого поперечного сечения;
e — отношение приведенного радиуса депрессии к половине ширины зоны питания колодца при откачке; обычно величина e колеблется от 1,3 до 4.

Формулы (XIII-7), (XIII-8) и (XIII-9) дают часто преувеличенные значения R, особенно при малом уклоне свободной или пьезометрической поверхности. Формулы В. С. Ильина (XIII-10) и (XIII-11) применимы только для буровых скважин.

Формулы (XIII-7) — (XIII-11) дают величину установившегося радиуса депрессии. При пробных откачках радиус депрессии нередко не достигает этой величины, почему рекомендуется принимать для расчетов меньшие значения R.

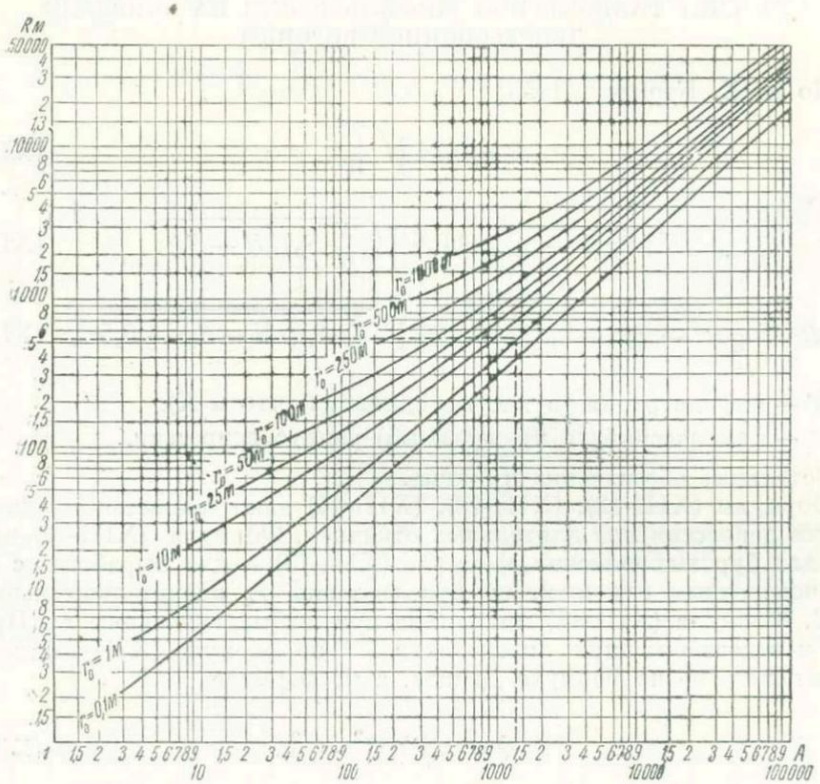


Рис. XIII-1. График для определения приведенного радиуса депрессии по формуле $R(\lg R - \lg r_0) = A$.

Определение R по формулам (XIII-8) и (XIII-9) производится подбором. Для облегчения расчетов может служить график рис. XIII-1.

Пример. Определить величину R при следующих исходных данных.

Водоносный горизонт напорный; уклон пьезометрической поверхности $I = 0{,}005$. Понижение уровня при откачке из колодца $S_0 = 2{,}5$ *м*; радиус колодца $r_0 = 1$ *м*. Величину e принимаем равной 2.

Рассчитываем величину правой части формулы (XIII-8), обозначая ее через A.

$$R(\lg R - \lg r_0) = \frac{1{,}36\, eS_0}{I},$$

$$A = \frac{1{,}36 \cdot 2{,}5 \cdot 2}{0{,}005} = 1360.$$

На графике (рис. XIII-1) находим на оси абсцисс точку, где $A = 1360$ и проводим через нее линию, перпендикулярную оси абсцисс, до пересечения с кривой, отвечающей значению $r_0 = 1$ *м*. Радиус влияния равен величине ординаты точки пересечения.

Согласно масштабу оси ординат, $R \approx 510$ *м*.

§ 4. РАДИУС ДЕПРЕССИИ ПРИ ПИТАНИИ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА ЗА СЧЕТ РАВНОМЕРНОЙ ИНФИЛЬТРАЦИИ НА ПЛОЩАДИ ДЕПРЕССИОННОЙ ВОРОНКИ

По Е. Е. Керкису [1955]

$$R = 0{,}34\sqrt{\frac{Q}{W}}, \qquad \text{(XIII-12)}$$

$$R\sqrt{\lg R - \lg r_0} = 0{,}4\sqrt{\frac{K}{W}S_0(2H - S_0)}; \qquad \text{(XIII-13)}$$

$$R^*\sqrt{\lg R^* - \lg r_0 - 0{,}217} = 0{,}66\sqrt{\frac{K}{W}S_0(2H - S_0) - 0{,}5r_0^2}, \qquad \text{(XIII-14)}$$

где W — инфильтрация (в тех же единицах, что и K);

R^* — фактический (не приведенный) радиус депрессии.

Остальные обозначения прежние.

Формулы (XIII-12), (XIII-13), (XIII-14) дают правильные значения радиуса депрессии при длительных откачках. Формула (XIII-12) применима для буровых скважин, формула (XIII-13) — для выработок с большим поперечным сечением, но при величине r_0 значительно меньшей, чем R. Формула (XIII-14) применима при любых значениях r_0. Приток воды к водозабору при определении R^* по формуле (XIII-14) следует рассчитывать не по формуле Дюпюи, а по формуле

$$Q = \pi W(R^{*2} - r_0^2). \qquad \text{(XIII-15)}$$

Если при пользовании формулами (XIII-12), (XIII-13), (XIII-14) принимать среднюю годовую величину инфильтрации, то радиус депрессии и водоприток получаются также близкими к среднегодовым значениям. Если же принять значение W для периода наиболее интенсивного питания водоносного горизонта, то рассчитанные значения радиуса депрессии будут несколько меньше фактического минимального значения этой величины, а значение Q, определенное по формуле (XIII-15), будет несколько больше фактической максимальной величины Q в период наиболее интенсивной инфильтрации.

Определение R и R^* по формулам (XIII-13) и (XIII-14) производится путем подбора. Для облегчения расчетов может служить график рис. XIII-2. При пользовании графиком на оси абсцисс откладывается величина A_1 — численное значение правой части формулы (XIII-14) или формулы (XIII-13), умноженное на 1,65.

Пример. Определить величины R и R^* при следующих исходных данных. Водоносный горизонт безнапорный, питание водоносного гори-

зонта за счет инфильтрации на площади депрессии. Радиус колодца $r_0 = 1$ *м*. Коэффициент фильтрации $K = 10$ *м/сутки*. Инфильтрация $W = 0{,}002$ *м/сутки*. Понижение уровня при откачке $s_0 = 5$ *м*. Мощность водоносного горизонта $H = 20$ *м*.

Рассчитываем величину правой части формулы (XIII-14), обозначая ее через A_1:

$$R^* \sqrt{\lg R^* - \lg r_0 - 0{,}217} = 0{,}66 \sqrt{\frac{K}{W} S_0 (2H - S_0) - 0{,}5 r_0^2} = A_1,$$

$$A_1 = 0{,}66 \sqrt{\frac{10}{0{,}002} \cdot 5 (2 \cdot 20 - 5) - 0{,}5 \cdot 1^2} = 617.$$

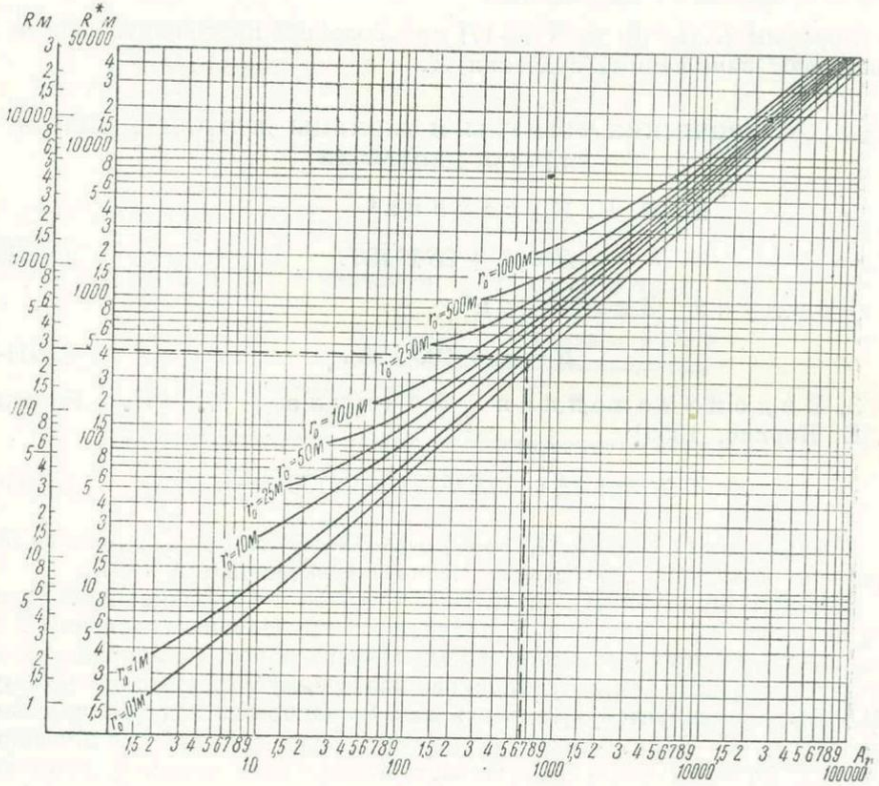


Рис. XIII-2. График для определения радиуса депрессии по формуле

$$R^* \sqrt{\lg R^* - \lg r_0 - 0{,}217} = A_1.$$

На графике (рис. XIII-2) находим на оси абсцисс точку, где $A_1 = 617$, и проводим через нее перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения с кривой, отвечающей величине $r_0 = 1$ *м*. Радиус депрессии R^* равен ординате точке пересечения. Согласно масштабам оси ординат $R^* \approx 400$ *м* и $R \approx 260$ *м* (поскольку величина r_0 мала, определение значения R по второй шкале допустимо).

§ 5. НЕУСТАНОВИВШИЙСЯ РАДИУС ДЕПРЕССИИ ПРИ ОТКАЧКЕ ИЗ БАССЕЙНА ГРУНТОВЫХ ВОД (ПРИ ОТСУТСТВИИ ПИТАНИЯ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА)

По видоизмененной формуле И. П. Кусакина

$$R = \sqrt{r_0^2 + \frac{4KHt}{\varphi}}; \qquad \text{(XIII-16)}$$

при малом r_0

$$R = 2\sqrt{\frac{KHt}{\varphi}}, \qquad \text{(XIII-17)}$$

где t — продолжительность откачки;
φ — коэффициент водоотдачи.

Формулы (XIII-16) и (XIII-17) при большой продолжительности откачки дают завышенные значения R.

§ 6. ЭМПИРИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ И ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСА ДЕПРЕССИИ

Формула И. П. Кусакина[1]

$$R = r_0 + 2S\sqrt{KH}. \qquad \text{(XIII-18)}$$

Формула Зихардта[1]

$$R = r_0 + 10S\sqrt{K}. \qquad \text{(XIII-19)}$$

3. Видоизмененная формула И. П. Кусакина [Е. Е. Керкис, 1955]

$$R = \sqrt{r_0^2 + 30KHS(1 + 0{,}00015r_0^2)}. \qquad \text{(XIII-20)}$$

В формулах (XIII-18), (XIII-19) и (XIII-20) величина K должна быть выражена в *м/сутки*, остальные величины выражаются в *м*.

Формулы применимы для рыхлых грунтов с коэффициентом водоотдачи порядка 0,3. Значения R получаются грубо ориентировочные; для котлованов, горных выработок и водопонизительных установок они значительно меньшие, чем установившийся радиус депрессии. Формулу (XIII-18) рекомендуется применять для безнапорных вод при значениях r_0 не свыше 40—50 *м*; формула (XIII-19) обычно применяется для напорных вод, формула (XIII-20) отвечает безнапорным водам и применима для выработок с большим поперечным сечением (открытые горные выработки, котлованы и пр.) и при значительных понижениях.

Величина радиуса депрессии при опытных откачках из буровых скважин и колодцев с понижением уровня на несколько метров может (по литературным данным) колебаться примерно в следующих пределах:

Пески	*м*
Мелкозернистые	от 25 до 200
Среднезернистые	» 100 » 500
Крупнозернистые	» 400 » 1000

[1] Формулы даются в преобразованном виде, отвечающем измерению K в *м/сутки*, а не *м/сек*; кроме того, введена величина r_0.

Вероятные значения радиуса депрессии для рыхлых пород при откачках из вертикальных выработок при понижении уровня на несколько метров и продолжительности откачек не менее 5—8 суток, по Д. И. Щеголеву [1948], приведены в табл. XIII-1.

Таблица XIII-1

Наименование породы	Размеры преобладающих частиц, *мм*	*R*, *м*
Песок тонкозернистый	0,05—0,1	25—50
» мелкозернистый	0,1—0,25	50—100
» среднезернистый	0,25—0,5	100—200
» крупнозернистый	0,5—0,1	300—400
» грубозернистый	1,0—2,0	400—500
Гравий мелкий	2—3	400—600
» средний	3—5	500—1500
» крупный	5—10	1500—3000

По С. А. Колю [1940], при подобных откачках из буровых скважин радиус депрессии зависит от удельной депрессии и, следовательно, от удельного дебита и имеет значения, указанные в табл. XIII-2.

Таблица XIII-2

Удельный дебит, *л/сек* на 1 *м*	*R*, *м*
>2,0	300—500
2,0—1,0	100—300
1,0—0,5	50—100
0,5—0,33	25—50
0,33—0,2	10—25
<0,2	<10

Приведенные таблицы позволяют установить лишь порядок величин *R*, так как только приблизительно отражают влияние водопроницаемости пород или водообильности водоносного горизонта на размеры депрессионной воронки.

Глава XIV

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ К ВОДОЗАБОРНЫМ СООРУЖЕНИЯМ

Водозаборным называется такое сооружение, с помощью которого эксплуатируются подземные воды для водоснабжения и других целей (извлечение из недр минеральных, промышленных вод и пр.).

Водозаборы для использования подземных вод проектируются гидрогеологами и строителями-водоснабженцами. В связи с этим различают два взаимосвязанных между собой вида проектирования водозаборов: гидрогеологическое и строительное.

Проектирование ведется на основе гидрогеологических исследований, которые обычно предшествуют строительству водозабора и проводятся по трем стадиям: для проектного задания; для технического проекта и рабочего проектирования.

При простых гидрогеологических условиях с хорошей изученностью водоносных горизонтов и при несложном техническом оборудовании водозабора проектирование ведется по двум стадиям — первой и третьей.

Кроме того, иногда (войсковое, сельское водоснабжение, проектирование водозаборов при составлении генеральных схем планирования городов и пр.) водозаборы проектируются внестадийно. Перечень задач и вопросов, решаемых в каждой стадии проектирования, приводится в инструкции, изданной Государственным комитетом Совета Министров СССР по строительству [1952].

Основными типами водозаборов являются:

1) вертикальные водозаборы:
2) горизонтальные водозаборы;
3) инфильтрационные водозаборы;
4) каптажи источников подземных вод.

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ К ВЕРТИКАЛЬНЫМ ВОДОЗАБОРАМ

К вертикальным водозаборным сооружениям относятся буровые скважины и шахтные колодцы. Первые широко применяются при эксплуатации подземных вод, связанных с безнапорными и напорными водоносными горизонтами, залегающими на различных глубинах от поверхности земли (от 5 до 1000 *м* и более). Типы и конструкции водозаборных скважин, а равно и способы их устройства определяются конкретными гидрогеологическими условиями (число, характер и мощность водоносных горизонтов, литологический состав горных пород и др.), их глубиной и местными условиями (табл. XVI-1).

Таблица XIV-1

Данные для предварительного выбора способа бурения скважин и бурового оборудования
[С. К. Абрамов и др., 1956]

Максимальная глубина скважины, *м*	Диаметр скважины по обсадным трубам, *мм*		Характеристика преобладающих пород	Буровое оборудование (см. гл. XXVI)
	начальный	конечный		
10	50	50	Исключительно мягкие породы	Комплект абиссинского колодца
15	75	75	То же	Ручной комплект $3^1/_2''$
25	150	150	Мягкие породы с небольшими прослоями пород средней твердости	Ручной буровой комплект 6″
50	200	150	То же	То же, 8″
75	350	150		Механизированный ручной комплект с приводной лебедкой
100	200	150	Разнообразные породы	Самоходный станок для вращательного роторного бурения АВБ-3-100 на автомашине ЗИС-5
125	300	150	Породы мягкие и средней твердости	Передвижной станок ударно-канатного бурения УА-75-III и 75-V с мачтой
150	200	100	Преимущественно твердые породы	Буровой станок вращательного колонкового бурения КАМ-500, СБУ-150-ЗИВ
250	400	150	Породы мягкие и средней твердости с небольшими прослоями твердых пород	Станок ударного бурения 150-III. Станок ударного бурения № 3 «Красная ваганка»
250	400	150	Разные породы	Передвижной станок ударно-канатного бурения УКС-20 с мачтой или УКС-22 с мачтой
250	400	150	То же	Передвижной станок ударно-канатного бурения БУ-20-2 с мачтой
300	250	150		Самоходные буровые установки роторного бурения УРБ-ЗАМ и АВБ-400

Продолжение табл. XIV-1

Максимальная глубина скважины, *м*	Диаметр скважины по обсадным трубам, *мм*		Характеристика преобладающих пород	Буровое оборудование (см. гл. XXVI)
	начальный	конечный		
300	300	150		Передвижная установка роторного бурения УБВ-300
400	300	200		Передвижной станок роторного бурения БА-40 «Восток» с мачтой БА-40М, БУ-40
400	600	200		Передвижной буровой станок ударно-канатного бурения УКС-3
800	300	200	Разные породы	Передвижная буровая установка БА-40 «Восток» для роторного бурения, БА-40М, БУ-40
1200	400	200	То же	Полупередвижная буровая установка роторного бурения БУ-40
1500	450 650	200 200		Стационарная буровая установка вращательного бурения

В зависимости от характера горных пород, слагающих водоносные горизонты, водоприемная часть водозаборных скважин закрепляется фильтрами разнообразных типов и конструкций (см. гл. XXX).

Шахтные колодцы сооружаются для эксплуатации малопроизводительных водоносных горизонтов при глубине их залегания не более 50—60 *м* для водоснабжения небольших населенных пунктов, мелких предприятий и особенно колхозов, РТС и других сельскохозяйственных объектов (см. гл. XXIV).

Расчеты дебита водозаборных скважин

Дебит водозаборных скважин определяется по различным формулам, разнообразие которых обусловливается:

1) гидравлическими свойствами водоносных горизонтов (напорные, безнапорные горизонты);

2) режимом движения подземных вод (ламинарный, турбулентный);

3) взаимодействием скважин между собой или отсутствием такового;

4) гидродинамическим совершенством скважин (совершенные, — пройденные на всю мощность, несовершенные скважины по степени или характеру вскрытия водоносного горизонта);

5) близостью рек и водоемов к эксплуатационным скважинам и их влиянием на последние;

6) стадией проектирования водозабора (на стадии проектного задания расчеты производятся по аналитическим формулам; на стадии техни-

ческого проекта — по результатам опытных или опытно-эксплуатационных откачек).

Ниже приводятся аналитические формулы для определения дебита одиночных скважин.

Совершенные скважины

Безнапорные воды

Ламинарное движение

I. Для скважины с круговым контуром питания (рис. XII-1), по Дюпюи

$$Q = 1{,}36\,\frac{K\,(2H - S_0)\,S_0}{\lg\dfrac{R}{r_0}}, \qquad \text{(XIV-1)}$$

где Q — дебит, *м*³/*сутки*;
K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
H — мощность водоносного горизонта, *м*;
S_0 — понижение уровня воды в скважине при откачке, *м*;
R — радиус депрессии, *м*;
r_0 — радиус скважины, *м*.

II. Для скважины, расположенной между контурами питания и дренажа (рис. XII-2), по А. В. Романову

$$Q = 1{,}36\,\frac{K\,(H^2 - h_0^2)}{\lg\left[\dfrac{2L}{\pi r_0}\cos\dfrac{\pi\,(l_1 - l_2)}{2L}\right]}, \qquad \text{(XIV-2)}$$

где l_1 и l_2 — соответственно расстояния от скважины до контура питания и дренажа, *м*;
L — расстояние между этими контурами, *м*;
h_0 — высота столба воды в скважине, *м*.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (XIV-1).

III. Для скважины, расположенной близ реки или водоема (рис. XII-6)

$$Q = 1{,}36\,\frac{K\,(H^2 - h_0^2)}{\lg\dfrac{2a}{r_0}}, \qquad \text{(XIV-3)}$$

где a — расстояние скважины от реки или водоема, *м*.

Остальные обозначения те же, что и в формулах (XIV-1) и (XIV-2).

Формула (XIV-3) применима при $a < 0{,}5\,R$, где R — радиус депрессии.

Турбулентное движение

Для скважины с круговым контуром питания (рис. XII-41), по А. А. Краснопольскому — Г. Н. Каменскому

$$Q = 6{,}28\,K_m H\sqrt{r_0 S_0}, \qquad \text{(XIV-4)}$$

где Q — дебит, *м³/сутки*;
K_m — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
H — мощность водоносного горизонта, *м*;
r_0 — радиус скважины, *м*;
S_0 — понижение уровня воды в скважине, *м*.

Напорные воды

Ламинарное движение

I. Для скважины с круговым контуром питания (рис. XII-7), по Дюпюи

$$Q = 2{,}73 \frac{KMS_0}{\lg \frac{R}{r_0}}, \qquad \text{(XIV-5)}$$

где Q — дебит, *м³/сутки*;
K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
M — мощность водоносного горизонта, *м*;
S_0 — понижение уровня воды в скважине, *м*;
R — радиус депрессии, *м*;
r_0 — радиус скважины, *м*.

II. Для скважины, расположенной между контурами питания и дренажа (рис. XII-2), по А. В. Романову.

$$Q = 2{,}73\, K \frac{MS_0}{\lg \left[\frac{2L}{\pi r_0} \cos \frac{\pi (l_1 - l_2)}{2L} \right]}, \qquad \text{(XIV-6)}$$

где обозначения те же, что и в формулах (XIV-2) и (XIV-5).

Турбулентное движение

I. Для скважины с круговым контуром питания (рис. XII-40), по А. А. Краснопольскому — Г. Н. Каменскому

$$Q = 6{,}28\, K_m M \sqrt{\frac{Rr_0S_0}{R - r_0}}, \qquad \text{(XIV-7)}$$

где Q — дебит, *м³/сутки*;
K_m — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
M — мощность водоносного горизонта.

Другие обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

II. Так как r_0 значительно меньше R, то при расчетах обычно пользуются формулой

$$Q = 6{,}28\, K_m M \sqrt{r_0 S_0}, \qquad \text{(XIV-8)}$$

Напорно-безнапорный режим (при ламинарном движении)

Для скважины с круговым контуром питания (рис. XII-9)

$$Q = 1{,}36\, K \frac{(2H - M) M - h_0^2}{\lg \frac{R}{r_0}}, \qquad \text{(XIV-9)}$$

где H — высота пьезометрического уровня от подошвы водоносного горизонта, *м*;

M — мощность водоносного горизонта, *м*;

h_0 — высота столба воды в скважине, *м*.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Несовершенные скважины

Безнапорные воды (при ламинарном движении)

I. Для скважины, удаленной от реки или водоема при безграничной мощности водоносного горизонта и незатопленном фильтре (рис. XII-11), по В. Д. Бабушкину

$$Q = 1{,}36\,KS_0\left(\frac{l+S_0}{\lg\frac{R}{r_0}} + \frac{l}{\lg\frac{0{,}66\,l}{r_0}}\right), \qquad \text{(XIV-10)}$$

где l — длина рабочей части фильтра, *м*.

Другие обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Формула (XIV-10) применима при $l<0{,}3H$, где H — мощность водоносного горизонта.

II. Если $l>0{,}3H$ (рис. XII-12), тогда дебит скважины определяется по формуле

$$Q = 1{,}36\,KS_0\left[\frac{l+S_0}{\lg\frac{R}{r_0}} + \frac{2m_0}{\frac{m_0}{2l}\left(2\lg\frac{4m_0}{r_0} - A\right) - \lg\frac{4m_0}{R}}\right], \qquad \text{(XIV-11)}$$

где $m_0 = H - S_0 - \frac{l}{2}$.

A — коэффициент, определяемый по графику рис. XII-13 в зависимости от $a = \frac{l}{m_0}$.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

III. Для скважины, расположенной близ реки или водоема при безграничной мощности водоносного горизонта и незатопленном фильтре (рис. XII-15), по В. Д. Бабушкину

$$Q = 1{,}36\,KS_0\left[\frac{l+S_0}{\lg\frac{2a}{r_0}} + \frac{l}{\lg\frac{0{,}66\,l}{r_0} - 0{,}22\,\operatorname{arsh}\frac{0{,}44\,l}{a}}\right], \qquad \text{(XIV-12)}$$

где a — расстояние скважины от реки или водоема, *м*.

Остальные обозначения те же, что и выше.

Формулой (XIV-12) можно пользоваться при $a>l$.

IV. Если $a<l$, тогда дебит скважины определяется по формуле

$$Q = 1{,}36\,KS_0\left[\frac{l+S_0}{\lg\frac{2a}{r_0}} + \frac{l}{\lg\frac{0{,}66\,l}{r_0} - 0{,}11\,\frac{l}{a}}\right]. \qquad \text{(XIV-13)}$$

Обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

V. Для скважины, расположенной близ реки или водоема при ограниченной мощности водоносного горизонта (рис. XII-16), по В. Д. Бабушкину

$$Q = 1{,}36\,KS_0\left[\frac{l+S_0}{\lg\frac{2a}{r_0}} + \frac{l}{\lg\frac{0{,}66\,l}{r_0} + 0{,}25\frac{l}{m_0}\lg\frac{a^2}{m_0^2 - 0{,}14\,l^2}}\right], \qquad \text{[XIV-14)}$$

Обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Формула (XIV-14) применима при $a > \frac{m_0}{2}$.

VI. Для скважины, удаленной от реки или водоема, причем водоприемная часть фильтра затоплена (рис. XII-17), по В. Д. Бабушкину

$$Q = \frac{KlS_0}{0{,}183\left(B - 2\lg\frac{r_0}{C}\right)}, \qquad \text{(XIV-15)}$$

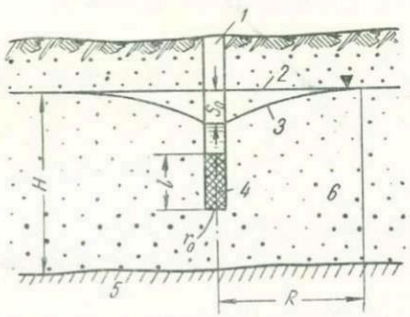


Рис. XIV-17. Расчетная схема притока воды в несовершенную скважину, пройденную в безнапорном водоносном горизонте:

1 — скважина; *2* — статический уровень; *3* — депрессионная кривая; *4* — фильтр, не примыкающий к депрессии; *5* — водоупор; *6* — водоносный горизонт.

где $B = f\left(\frac{C+l}{C}\right)$, определяется по графику рис. (XII-18);

Остальные обозначения показаны на рис. XII-17.

Формула (XIV-15) применима при $l_0 < \frac{H}{2}$, где l_0 — глубина заложения скважины, а H — мощность водоносного горизонта.

VII. Если $l_0 > \frac{H}{2}$, тогда дебит скважины определяется по формуле

$$Q = 2{,}73\,\frac{KS_0}{\left(\frac{1}{Б+D}\right)}, \qquad \text{(XIV-16)}$$

где

$$Б = \frac{m_1}{\frac{1}{2a_1}\left(2\lg\frac{4m_1}{r_0} - A_1\right) - \lg\frac{4m_1}{R}}, \qquad \text{(XIV-17)}$$

$$D = \frac{m_2}{\frac{1}{2a_2}\left(2\lg\frac{4m_2}{r_0} - A_2\right) - \lg\frac{4m_2}{R}}. \qquad \text{(XIV-18)}$$

Здесь A_1 и A_2 определяются в зависимости от α_1 и α_2 по графику рис. (XII-13), причем $\alpha_1 = \frac{0{,}5\,l}{m_1}$ и $\alpha_2 = \frac{0{,}5\,l}{m_2}$, где l, m_1 и m_2 ясны из рис. XII-17.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

VIII. Для скважины с фильтром, не примыкающим к депрессионной кривой (рис. XIV-1), по С. К. Абрамову

$$Q_н = Q_с\frac{l}{H}\left\{1 - 7\left[2{,}3\lg\left(\frac{l}{H}\right)\sqrt{\frac{r_0}{H}}\right]\right\}, \qquad \text{(XIV-19)}$$

где $Q_н$ — дебит несовершенной скважины, *м³/сутки*;
$Q_с$ — дебит совершенной скважины, *м³/сутки*, рассчитанной по формуле (XIV-1);
l — длина фильтра, *м*;
H — мощность водоносного горизонта, *м*;
r_0 — радиус скважины, *м*.

Формула (XIV-19) применяется для приближенных расчетов.

Напорные воды (при ламинарном движении)

1. Для скважины с фильтром, примыкающим к кровле водоносного горизонта в условиях кругового контура питания (рис. XII-22), по М. Маскету

$$Q = 2{,}73\frac{KMS_0}{\left[\frac{1}{2\alpha}\left(2\lg\frac{4M}{r_0}-A\right)-\lg\frac{4M}{R}\right]}, \qquad \text{(XIV-20)}$$

где $\alpha = \frac{l}{M}$;
A — величина, определяемая по графику рис. XII-13 в зависимости от α.

Остальные обозначения те же, что и выше.
Формула (XIV-20) применима при $l > 0{,}3\ M$.
II. Если $l < 0{,}3\ M$, тогда дебит скважины определяется по формуле Н. К. Гиринского

$$Q = 2{,}73\frac{KlS_0}{\lg\frac{1{,}6l}{r_0}}, \qquad \text{(XIV-21)}$$

где l — длина рабочей части фильтра.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.
III. Для скважины с фильтром, не примыкающим к кровле водоносного горизонта в условиях кругового контура питания (рис. XII-23), по В. Д. Бабушкину

$$Q = 2{,}73\frac{KS_0}{\frac{1}{Б+D}}, \qquad \text{(XIV-22)}$$

где

$$Б = \frac{M_1}{\frac{1}{2\alpha_1}\left(2\lg\frac{4M_1}{r_0}-A_1\right)-\lg\frac{4M_1}{R}}, \qquad \text{(XIV-23)}$$

$$D = \frac{M_2}{\frac{1}{2\alpha_2}\left(2\lg\frac{4M_2}{r_0}-A_2\right)-\lg\frac{4M_2}{R}}. \qquad \text{(XIV-24)}$$

Здесь A_1 и A_2 определяются по графику рис. XII-13 в зависимости от α_1 и α_2, причем $\alpha_1 = \frac{0{,}5\ l}{M_1}$ и $\alpha_2 = \frac{0{,}5\ l}{M_2}$.

Остальные обозначения показаны на рис. XII-23.

Формула (XIV-22) применима при

$$C+l>0{,}5\,M,$$

где C — расстояние от верхней части фильтра до верхнего водоупора;

l — длина фильтра.

IV. Для скважины, расположенной близ реки или водоема с фильтром, примыкающим к кровле водоносного горизонта безграничной мощности, при питании только со стороны реки или водоема, по В. Д. Бабушкину

$$Q=\frac{KlS_0}{0{,}16\left(\ln\frac{1{,}32\,l}{r_0}-\frac{l}{2a}\right)}, \qquad \text{(XIV-25)}$$

где a — расстояние скважины от реки или водоема, *м*.

Остальные обозначения те же, что и выше.

Формула (XIV-25) применима при $a>2l$.

V. Если это условие не сохраняется, тогда

$$Q=\frac{KlS_0}{0{,}16\left(\ln\frac{1{,}32\,l}{r_0}-0{,}5\,\operatorname{arsh}\frac{0{,}88\,l}{a}-\frac{0{,}06\,l}{a}\right)}. \qquad \text{(XIV-26)}$$

Обозначения те же, что и выше.

VI. Для скважины, расположенной близ реки или водоема с фильтром, не примыкающим к кровле водоносного горизонта безграничной мощности (рис. XII-28), по В. Д. Бабушкину

$$Q=\frac{KlS_0}{0{,}16\left(1{,}15\,B+\ln\frac{C}{r_0}-0{,}5\,\frac{l}{a}\right)}, \qquad \text{(XIV-27)}$$

где B — величина, определяемая по графику рис. XII-18 в зависимости от отношения $\frac{C+l}{l}$.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Формула (XIV-27) применима при $a>l+c$.

VII. Если $a<l+c$, тогда дебит скважины определяется по более сложной формуле

$$Q=\frac{KlS_0}{0{,}08\left[2{,}3\,B+2\ln\frac{C}{r_0}-\left(\operatorname{arsh}\frac{0{,}87\,l}{2a}+\operatorname{arsh}\frac{0{,}13\,l}{2a}+\right.\right.}\times$$

$$\left.\left.\times\frac{1}{+\left(\operatorname{arsh}\frac{2C+1{,}87\,l}{2a}-\operatorname{arsh}\frac{2C+0{,}87\,l}{2a}\right)}\right)\right]. \qquad \text{(XIV-28)}$$

Обозначения те же, что и выше.

Формула (XIV-28) применима при $a\geqslant 20r_0$.

VIII. Для скважины, расположенной близ реки или водоема с фильтром, примыкающим к кровле водоносного горизонта ограниченной мощности

$$Q = 2{,}73\frac{KlS_0}{\lg\frac{1{,}32l}{r_0}+\frac{l}{2M}\lg\frac{a^2}{M^2-0{,}56\,l^2}}, \qquad \text{(XIV-29)}$$

где M — мощность водоносного горизонта.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

IX. Для скважины, расположенной близ реки или водоема с фильтром, не примыкающим к кровле водоносного горизонта ограниченной мощности

$$Q = 2{,}73\times$$

$$\times\frac{KlS_0}{\lg\frac{0{,}66l}{r_0}+\frac{1}{2}\lg\frac{C+0{,}94l}{C+0{,}44l}+\frac{l}{2M}\lg\frac{a^2}{(M-C-0{,}87\,l)(M+C+0{,}87\,l)}}. \qquad \text{(XIV-30)}$$

Обозначения те же, что и выше.

Формулы (XIV-29) и (XIV-30) применимы при $a > M$.

X. Для скважины с фильтром, не примыкающим к верхнему водоупору (рис. XII-23), по С. К. Абрамову

$$Q_н = Q_с\frac{l}{M}\left\{1-7\left[2{,}3\lg\left(\frac{l}{M}\right)\sqrt{\frac{r_0}{M}}\right]\right\}, \qquad \text{(XIV-31)}$$

где M — мощность напорного водоносного горизонта.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (XIV-19).

Формула (XIV-31) применяется для приближенных расчетов.

Кроме рассмотренных аналитических формул, применяемых для предварительных расчетов, дебит одиночных скважин определяется по формулам, учитывающим данные опытных и опытно-эксплуатационных откачек.

К этим формулам, выражающим зависимость дебита скважины от понижения уровня воды в ней, относятся формулы Дюпюи, Тима, Келлера, Смрекера и Альтовского.

Формулы Дюпюи (для напорных вод)

$$Q = \frac{S}{S_1}, \qquad \text{(XIV-32)}$$

$$S = \frac{Q}{Q_1}S_1, \qquad \text{(XIV-33)}$$

где Q — проектный дебит скважины;
S — необходимое понижение уровня воды в скважине для получения проектного дебита;
Q_1 — дебит скважины при откачке;
S_1 — понижение уровня воды в скважине при откачке.

Формулы (XIV-32) и (XIV-33) применяются для приближенных расчетов при $S \leqslant 1{,}5\,S_{max}$, где S_{max} — максимальное понижение уровня воды в скважине при откачке.

Формулы Тима (для безнапорных вод)

$$Q = Q_1 \frac{(2H - S)}{(2H - S_1)\,S_1}, \tag{XIV-34}$$

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{Q_1} S_1 (2H - S_1)}, \tag{XIV-35}$$

где H — мощность водоносного горизонта.

Остальные обозначения те же, что и в формулах (XIV-32) и (XIV-33). Эти формулы применимы также при $S \leqslant 1{,}5\,S_{max}$.

Формулы Келлера (для напорных и безнапорных вод)

$$Q = \frac{\sqrt{a^2 + 4bS} - a}{2b}, \tag{XIV-36}$$

$$S = aQ + bQ^2, \tag{XIV-37}$$

где a и b — параметры, определяемые по данным откачки следующим путем:

$$a = S_0'' - bQ_1, \tag{XIV-38}$$

$$b = \frac{S_0'' - S_0'}{Q_2 - Q_1}. \tag{XIV-39}$$

Здесь

$$S_0' = \frac{S_1}{Q_1}, \tag{XIV-40}$$

$$S_0'' = \frac{S_2}{Q_2}, \tag{XIV-41}$$

где Q_1 — дебит скважины при первом понижении;
Q_2 — дебит скважины при втором понижении;
S_1 — первое понижение;
S_2 — второе понижение;
S_0' и S_0'' — удельные понижения.

Формулы (XIV-36) и (XIV-37) применимы при $S \leqslant 1{,}75 - 2{,}0\,S_{max}$.

Формулы Смрекера (для напорных вод)

$$Q = n\sqrt[m]{S}, \tag{XIV-42}$$

$$S = \left(\frac{Q}{n}\right)^m, \tag{XIV-43}$$

где m и n — параметры, определяемые по формулам

$$m = \frac{\lg S_2 - \lg S_1}{\lg Q_2 - \lg Q_1}, \tag{XIV-44}$$

$$\lg n = \lg Q - \lg \frac{S_1}{m}. \tag{XIV-45}$$

Обозначения те же, что и выше.

Формулы (XIV-42) и (XIV-43) применимы при $S \leqslant 1{,}75 - 2{,}0\ S_{max}$.

Формулы М. Е. Альтовского (для напорных, реже безнапорных вод)

$$Q = a + b \lg S, \tag{XIV-46}$$

$$\lg S = \frac{Q - a}{b}, \tag{XIV-47}$$

где a и b — параметры, определяемые по формулам

$$b = \frac{Q_2 - Q_1}{\lg S_2 - \lg S_1}, \tag{XIV-48}$$

$$a = Q_1 - b \lg S_1. \tag{XIV-49}$$

Здесь Q_1, Q_2, S_1 и S_2 имеют те же смысловые значения, что и выше.

Формулы (XIV-46) и (XIV-47) применимы при $S \leqslant 1{,}75 - 2{,}0\ S_{max}$.

Для суждения о том, насколько результаты опытной или опытно-эксплуатационной откачки соответствуют той или иной приведенной формуле, С. К. Абрамов и др. [1956] рекомендуют руководствоваться следующим:

а) при откачках с одним понижением в условиях напорных вод следует пользоваться формулой Дюпюи, при безнапорных водах — формулой Тима;

б) при откачках с несколькими понижениями для выбора расчетной формулы строят график $Q = f(S)$, который получается в результате преобразования каждой формулы (табл. XIV-2).

Методика пользования графиками I и II, показанными в табл. XIV-2, не требует пояснения.

При сложной зависимости $Q = f(S)$ (графики III—VIII) для выбора расчетной формулы результаты опытной или опытно-эксплуатационной откачки необходимо свести в дополнительную табл. XIV-3 и затем построить графики: $S_0 = f(Q)$, $\lg Q = f(\lg S)$ и $Q = f(\lg S)$.

После построения приведенных в табл. (XIV-2) графиков выбор расчетной формулы производят, руководствуясь следующими положениями

1. Если $S_0 = f(Q)$ — прямая, применяется формула Келлера.
2. Если $\lg Q = f(\lg S)$ — прямая, применяется формула Смрекера.
3. Если $Q = f(\lg S)$ — прямая, применяется формула Альтовского.

В условиях откачки при двух понижениях и криволинейной зависимости $Q = f(S)$ расчет производится для напорных вод по формулам Келлера, Смрекера и Альтовского, для безнапорных — по формулам Тима.

Расчеты дебита взаимодействующих водозаборных скважин производятся по более сложным формулам (см. гл. XV).

Таблица XIV-2

Формула, применяемая для расчета дебита и понижения	Графическое изображение зависимости	
	основной	преобразованной
Дефектная откачка (I) Расчеты производить нельзя Формула Дюпюи $Q=Q_1\frac{S}{S_1}$. Т. к. $\frac{Q_1}{S_1}=q$, то $Q=qS$, где q — удельный дебит Уравнение выражается прямой $Q=f(S)$ (II)	I Q Q=f(S) 0 S II Q Q=f(S) 0 S	Если откачка проведена при двух понижениях, то о наличии прямой можно судить по факту прохождения ее через начало координат Если эта прямая не проходит через начало координат, то, следовательно, опытная зависимость является криволинейной
Формула Келлера $S=aQ+bQ^2$ (III) Разделив обе части уравнения на Q, получим $S_0=a+bQ$, где $S_0=\frac{S}{Q}$ — удельное понижение Уравнение может быть выражено прямой $S_0=f(Q)$ (IV)	III Q Q=f(S) 0 S	IV S_0 $S_0=f(Q)$ a Q
Формула Смрекера $S=\left(\frac{Q}{n}\right)^m$ (V) логарифмируется; получим: $\lg S=m(\lg Q-\lg n)$ или $\lg Q=\lg n+\frac{1}{m}\lg S$ Уравнение может быть выражено прямой $\lg Q=f(\lg S)$ (VI)	V Q Q=f(S) 0 S	VI lgQ lgQ=f(lgS) lgn 0 lgS
Формула М. Е. Альтовского $Q=a+b\lg S$ (VII) Уравнение может быть выражено прямой $Q=f(\lg S)$ (VIII)	VII Q Q=f(S) 0 S	VIII Q Q=f(lgS) a 1 0 lgS

Таблица XIV-3

Понижения	S	Q	$\frac{S}{Q}=S_0$	$\lg S$	$\lg Q$
1-е	S_1	Q_1	S_0'	$\lg S_1$	$\lg Q_1$
2-е	S_2	Q_2	S_0''	$\lg S_2$	$\lg Q_2$
3-е	S_3	Q_3	S_0'''	$\lg S_3$	$\lg Q_3$

Расчеты дебита шахтных колодцев

На дебит шахтных колодцев оказывают влияние многие гидрогеологические факторы (фильтрационные свойства горных пород, слагающие водоносные горизонты; мощность водоносных горизонтов; величина понижения уровня воды в колодце; радиус действия колодца при отборе из него воды; гидравлические свойства водоносных горизонтов — напорные, безнапорные и пр.) и конструктивные его особенности (размеры колодца, форма поперечного сечения; форма дна; возможность поступления воды только через дно или стенки, или одновременно через дно и стенки колодца).

Ниже приводятся формулы для определения дебита колодцев с учетом влияния на дебит перечисленных выше факторов.

Колодцы с полусферическим дном

I. Для колодца, вскрывающего напорный водоносный горизонт (рис. XII-52)

$$Q=\frac{6{,}28Kr_0S_0}{1+\frac{r_0}{M}\left(1+1{,}185\lg\frac{R}{4M}\right)}, \qquad \text{(XIV-50)}$$

где Q — дебит, *м*³/*сутки*;
K — коэффициент фильтрации, *м*/*сутки*;
r_0 — радиус колодца, *м*;
S_0 — понижение уровня воды в колодце при откачке, *м*;
M — мощность горизонта, *м*;
R — радиус депрессии, *м*.

II. Для колодца, вскрывающего напорный водоносный горизонт (рис. XII-52), по Форхгеймеру

$$Q=6{,}28Kr_0S_0, \qquad \text{(XIV-51)}$$

где обозначения те же, что и выше.

Формула (XIV-50) применима при $\frac{R}{M}<10$, где R — радиус депрессии колодца при откачке.

Колодцы с плоским дном

Безнапорные воды (при ламинарном движении)

I. Для колодца, эксплуатирующего безнапорный горизонт ограниченной мощности (рис. XII-54), по В. Д. Бабушкину

$$Q=\frac{6{,}28Kr_0S_0}{1{,}57+2\arcsin\frac{r_0}{m_0+\sqrt{m_0^2+r_0^2}}+1{,}185\lg\frac{R}{4H}}, \qquad \text{(XIV-52)}$$

где m_0 — расстояние от водоупора до дна колодца;
H — мощность водоносного горизонта.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Формула (XIV-52) применима при $1{,}0 > \frac{r_0}{m_0} > 0{,}5$.

II. Если $\frac{r_0}{m_0} \leqslant \frac{1}{2}$, тогда дебит колодца определяется по формуле

$$Q = \frac{6{,}28 K r_0 S_0}{1{,}57 + \frac{r_0}{m}\left(1 + 1{,}185 \lg \frac{R}{4H}\right)}, \qquad \text{(XIV-53)}$$

Обозначения те же, что и выше.

Напорные воды (при ламинарном движении)

I. Для колодца, вскрывающего напорный горизонт (рис. XIV-52), по Форхгеймеру

$$Q = 4 K r_0 S_0, \qquad \text{(XIV-54)}$$

Обозначения те же, что и выше.

II. Для колодца, вскрывающего напорный горизонт ограниченной мощности (рис. XII-53), по В. Д. Бабушкину

$$Q = \frac{6{,}28 K r_0 S_0}{1{,}57 + 2 \arcsin \frac{r_0}{M + \sqrt{M^2 + r_0^2}} + 1{,}185 \frac{r_0}{M} \lg \frac{R}{4M}}, \qquad \text{(XIV-55)}$$

где M — мощность горизонта.

Остальные обозначения те же, что и выше.

Формула (XIV-55) применима при $\frac{r_0}{M} < 1{,}0$.

III. Если $\frac{r_0}{M} < 0{,}5$, тогда

$$Q = \frac{6{,}28 K r_0 S_0}{1{,}57 + \frac{r_0}{M}\left(1 + 1{,}185 \lg \frac{R}{4M}\right)}, \qquad \text{(XIV-56)}$$

Обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Совершенные колодцы, работающие стенками

Для колодца в условиях напорно-безнапорных вод (рис. XIV-2),

$$Q = 1{,}36 \frac{K (2S_0 - M) M}{\lg \frac{R}{r_0}}, \qquad \text{(XIX-57)}$$

где M — мощность напорного водоносного горизонта.

Остальные обозначения те же, что и выше.

Расчет дебита совершенных колодцев, работающих стенками в условиях безнапорных и напорных вод производитя по формулам (XIV-I) и (XIV-5).

Колодцы, работающие дном и стенками

Для колодца в безнапорном горизонте при ламинарном движении (рис. XIV-3)

$$Q = \pi K S_0 \left[\frac{2h - S_0}{2{,}3 \lg \frac{R}{r_0}} + \frac{2r_0}{\frac{\pi}{2} + \frac{r_0}{m_0}\left(1 + 1{,}185 \lg \frac{R}{4m_0}\right)} \right], \qquad \text{(XIV-58)}$$

где h — высота уровня воды над дном колодца;

m_0 — расстояние от дна колодца до водоупора.

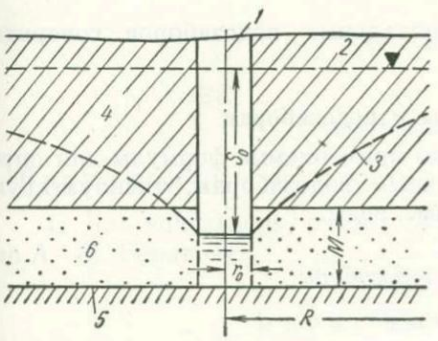


Рис. XIV-2. Расчетная схема притока воды к колодцу, работающему в условиях напорно-безнапорных вод:

1 — колодец; *2* — статический уровень; *3* — депрессионная кривая; *4* — верхний водоупор; *5* — нижний водоупор; *6* — водоносный горизонт.

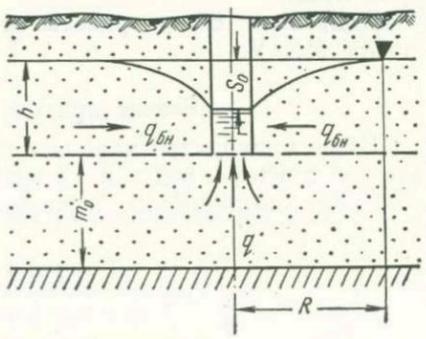


Рис. XIV-3. Расчетная схема притока воды к колодцу, работающему дном и стенками в безнапорном водоносном горизонте.

Остальные обозначения те же, что и выше.

В приведенных формулах r_0 соответствует радиусу круглого сечения колодцев. При квадратном и прямоугольном сечении вместо r_0 соответственно подставляются $a\sqrt{\frac{1}{\pi}}$ и $\sqrt{\frac{ab}{\pi}}$, где a и b — стороны сечений колодцев.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ К ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ВОДОЗАБОРАМ

Горизонтальные водозаборы применяются при неглубоком залегании водоносных горизонтов и небольшой мощности последних. Строительство горизонтальных водозаборов оправдывает себя в трещиноватых и закарстованных горных породах для перехвата отдельных струй подземных вод, в речных долинах при большой ширине аллювиальных подрусловых потоков и небольшой их мощности, а также для перехвата водоносных горизонтов близ областей их разгрузки на склонах оврагов, балок, речных и морских террас.

Различают три типа горизонтальных водозаборов:

1) траншейные водозаборы (каменно-щебенчатые и трубчатые);

2) галерейные водозаборы (водосборные галереи и штольни);

3) кяризы — комбинированные водозаборы, состоящие из водосборной штольни и шахтных колодцев.

Горизонтальные водозаборы обычно сооружаются при организации мелкого и среднего водоснабжения, особенно сельского, реже — крупного водоснабжения, причем выбор типа водозабора определяется глубиной залегания подземных вод, количеством требуемой воды и ее назначением,

Каменно-щебенчатые водозаборы строятся для захвата подземных вод, залегающих в 2—3 *м* от поверхности земли, для временного водоснабжения; трубчатые водозаборы — для постоянного водоснабжения при глубине залегания подземных вод 4—5 *м*, реже более; водозаборные галереи сооружаются при глубине залегания подземных вод 5—8 *м* для постоянного и сравнительно крупного водоснабжения; и, наконец, водосборные штольни проходятся, при залегании подземных вод на глубине более 8 *м*.

Кяризы применяются главным образом для сельского водоснабжения в полупустынных районах с невыдержанным залеганием водоносных горизонтов.

Подробнее об устройстве горизонтальных водозаборов говорится в главе XXIV.

Расчет притока воды к водозаборам

Ниже приводятся наиболее широко применяемые формулы для определения притока воды к горизонтальным водозаборам, эксплуатирующим чаще безнапорные, реже напорные воды.

Совершенные водозаборы

Безнапорные воды

Ламинарное движение

I. Для водозабора, расположенного нормально потоку (рис. XIV-4), по Дюпюи

$$Q = LK\frac{H^2 - h^2}{2R}, \qquad \text{(XIV-59)}$$

где Q — расход водозабора, *м*³/*сек* или *м*³/*сутки*;
K — коэффициент фильтрации, *м*/*сек* или *м*/*сутки*;
L — длина водозабора, *м*;
H — мощность водоносного горизонта, *м*;
h — толщина слоя воды в водозаборе, *м*;
R — радиус влияния водозабора, *м*.

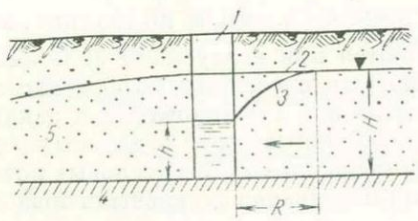


Рис. XIV-4. Расчетная схема одностороннего притока воды к совершенному горизонтальному водозабору.

1 — горизонтальный водозабор; *2* — статический уровень; *3* — депрессионная кривая; *4* — водоупор; *5* — безнапорный водоносный горизонт.

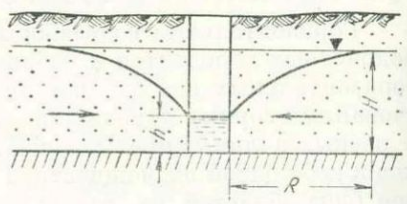


Рис. XII-5. Расчетная схема двустороннего притока воды к совершенному горизонтальному водозабору.

II. Для водозабора, расположенного параллельно потоку (рис. XIV-5), по Дюпюи

$$Q = LK\frac{H^2 - h^2}{R}, \qquad \text{(XIV-60)}$$

Турбулентное движение[1]

I. Для водозабора, расположенного нормально потоку подземных вод,

$$Q = LK_m\sqrt{\frac{H^3 - h^3}{3R}}, \qquad \text{(XIV-61)}$$

где K_m — коэффициент фильтрации.

II. Остальные обозначения те же, что и выше.
Для водозабора, расположенного параллельно потоку подземных вод,

$$Q = 2LK_m\sqrt{\frac{H^3 - h^3}{3R}}. \qquad \text{(XIV-62)}$$

Несовершенные водозаборы

Безнапорные воды (при ламинарном движении)

I. Для водозабора, расположенного нормальном потоку (рис. XIV-6), по А. В. Романову

$$Q = L(q_1 + q_2 + q_3). \qquad \text{(XIV-63)}$$

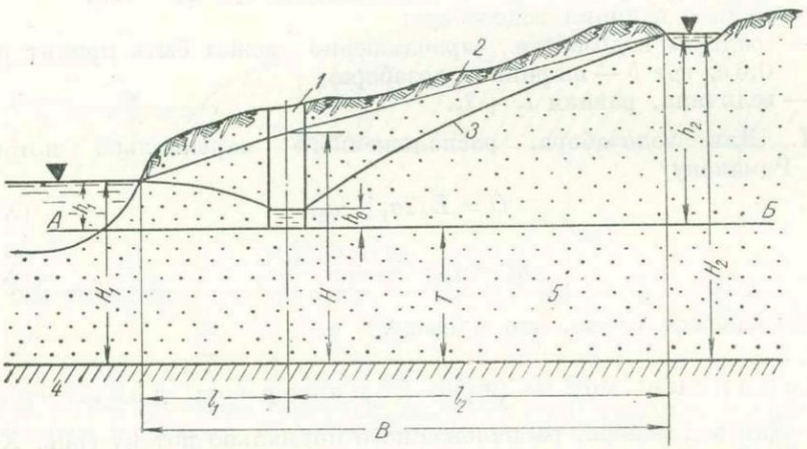


Рис. XIV-6. Расчетная схема притока воды к горизонтальному несовершенному водозабору, устроенному в безнапорном водоносном горизонте нормально по оку:

1 — горизонтальный водозабор; *2* — статический уровень; *3* — депрессионная кривая; *4* — водоупор; *5* — безнапорный водоносный горизонт.

Здесь

$$q_1 = \frac{K(h_1^2 - h_0^2)}{2l_1}, \qquad \text{(XIV-64)}$$

$$q_2 = \frac{K(h_2^2 - h_0^2)}{2l_2}, \qquad \text{(XIV-65)}$$

$$q_3 = \frac{\pi K(H - h_0 - T)}{\ln\dfrac{T}{\pi r} + \dfrac{\pi l_1 l_2}{TB}}, \qquad \text{(XIV-66)}$$

[1] Формулы применимы при условии распространения турбулентного движения на весь радиус влияния водозабора.

где
$$h_1 = H_1 - T,$$
$$h_2 = H_2 - T,$$
$$H = \sqrt{\frac{l_1}{B}\left(H_2^2 - H_1^2\right) + H_1^2}$$

В приведенных формулах приняты следующие обозначения:

Q — расход водозабора;

K — коэффициент фильтрации;

L — длина водозабора;

H — мощность горизонта в месте расположения водозабора, считая от водоупора;

h_0 — толщина слоя воды в водозаборе, считая от условной линии $A—Б$ (обычно $h_0 = 0$);

T — расстояние от водоупора до линии $A—Б$;

H_1 — напор на расстоянии l_1 вниз по потоку подземных вод;

H_2 — напор на расстоянии l_2 вверх по потоку подземных вод;

l_1 — расстояние от водозабора вниз по потоку до некоторой точки, где влияние водозабора на понижение уровня подземных вод уже не сказывается, приближенно может быть равным $R + IR$, где I — естественный уклон подземного потока.

l_2 — то же, вверх по потоку (приближенно $l_2 = R - IR$);

R — радиус влияния водозабора;

r — «радиус» водозабора (приближенно может быть принят равным $0{,}6\,b$, где b — ширина водозабора);

B — величина, равная $l_1 + l_2$.

II. Для водозабора, расположенного параллельно потоку, по А. В. Романову
$$Q = L(2q_1 + q_3), \qquad \text{(XIV-67)}$$
$$q_1 = q_2 = \frac{K(h_1^2 - h_0^2)}{2R}. \qquad \text{(XIV-68)}$$

Обозначения те же, что и выше.

Напорные воды (при ламинарном движении)

I. Для водозабора, расположенного нормально потоку (рис. XIV-7), по А. В. Романову
$$Q = L\frac{\pi KS}{\ln\frac{M}{\pi r} + \frac{\pi l_1 l_2}{BM}}, \qquad \text{(XIV-69)}$$

где S — понижение пьезометрического уровня подземных вод при работе водозабора в месте его расположения;

M — мощность горизонта.

Остальные обозначения те же, что и в формулах (XIV-64) — (XIV-66).

II. Для водозабора, расположенного параллельно потоку, по А. В. Романову
$$Q = L\frac{\pi KS}{\ln\frac{M}{\pi r} + \frac{\pi B}{M}}. \qquad \text{(XIV-70)}$$

Обозначения те же, что и выше.

Кроме определения притока воды к горизонтальному водозабору, принятые размеры последнего сопоставляются с водозахватной способностью его по формулам В. В. Ведерникова (1939)

$$q_{1\text{захв}} = \frac{Kd}{0{,}525}, \qquad \text{(XIV-71)}$$

$$q_{2\text{захв}} = \frac{2Kd}{0{,}525}, \qquad \text{(XIV-72)}$$

где q_1 — расход водозабора на 1 *пог. м* его длины (при одностороннем питании);

q_2 — расход водозабора на 1 *пог. м* его длины (при двустороннем питании);

d — диаметр водозабора или высота его водоприемной части;

K — коэффициент фильтрации фильтрующей обсыпки, примыкающей к водоприемной части водозабора (высота фильтрующей обсыпки принимается $= 0{,}3 - 0{,}4\,H$ в водозаборах, сооружаемых траншейным способом, где H — мощность водоносного горизонта; в водозаборах устраиваемых закрытым способом, обсыпка производится по всей высоте водозабора).

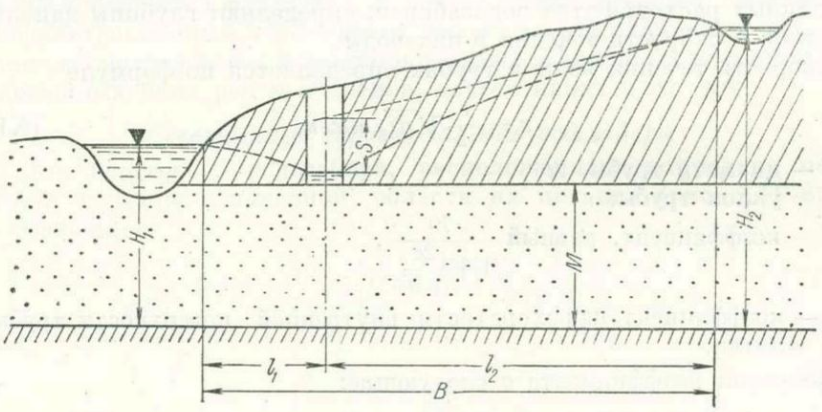


Рис. XIV-7. Расчетная схема притока воды к горизонтальному несовершенному водозабору, вскрывающему напорный горизонт нормально потоку.

Расчет водоотводящей способности водозаборов

Гидравлические расчеты водоотводящей способности горизонтальных водозаборов производятся в полном соответствии с типами последних.

В траншейных каменно-щебенчатых водозаборах скорость движения воды определяется по формуле С. В. Избаша

$$v_{\text{ист}} = Sn\sqrt[m]{\nu^{m-2}D^{m-3}i}\ \text{см/сек}, \qquad \text{(XIV-73)}$$

где S — обобщающий коэффициент

$$S = 20 - \frac{14}{D};$$

D — действующий диаметр материала фильтрующей обсыпки, *см*;
n — пористость фильтрующей обсыпки в долях единицы;
i — уклон водозабора;
v_0 — кинематический коэффициент вязкости воды, зависящий от температуры, *см²/сек*;
m — показатель степени, равный $2 - \frac{0{,}34}{D \cdot 2}$.

По скорости движения воды в фильтрующей обсыпке водозабора определяется водоотводящая способность его по формуле

$$Q = v_{\text{ист}} n \cdot F \ м^3/сек, \qquad \text{(XIV-74)}$$

где F — площадь поперечного сечения водозабора (задается при проектировании), $м^2$.

Величина Q должна превышать приток воды (или быть равной ему), рассчитанный в зависимости от конкретных условий по одной из формул, приведенных на стр. 338—340.

Гидравлические расчеты траншейных водозаборов трубчатого типа сводятся к определению их диаметра, степени наполнения водой и проверке допустимой скорости течения воды в них (максимальной и минимальной).

При проектировании водозаборов галерейного типа и каризов, исходя из заданных расходов этих водозаборов, определяют глубины наполнения их лотков и скорости течения в них воды.

Скорость течения воды в трубах определяется по формуле

$$v = \frac{c}{2}\sqrt{di} \ м/сек, \qquad \text{(XIV-75)}$$

где d — диаметр трубы, *м*
i — уклон трубы;
C — коэффициент, равный $\frac{70}{1+\frac{2a}{\sqrt{d}}}$,

где a — коэффициент шероховатости внутренней поверхности трубы или лотка.

Значения коэффициента a следующие:

Для гончарных и керамиковых труб	0,10
» бетонных труб и лотков	0,12
» асбестоцементных труб	0,12
» деревянных труб и лотков	0,12
» мощеных лотков	0,50

Допустимые скорости течения воды в трубчатых водозаборах заключены в границах 0,15—1,0 *м/сек*, причем скорость меньше 0,15 *м/сек* недопустима вследствие опасности заиления водозабора, а больше 1 *м/сек* — во избежание возможного размыва.

Скорость течения воды в лотках рассчитывается по известной формуле Шези

$$v = c\sqrt{Ri} \ м/сек, \qquad \text{(XIV-76)}$$

где R — гидравлический радиус потока;
i — уклон дна лотка;
C — коэффициент, равный $\frac{70}{1+\frac{a}{\sqrt{R}}}$.

Водоотводящая способность труб и лотков определяется по формуле

$$Q = v\omega \ м^3/сек, \tag{XIV-77}$$

где ω — площадь поперечного сечения лотка или трубы, занятая водой, $м^3$.

Здесь также величина Q должна соответствовать расходу водозабора или превышать его, при этом в трубчатых водозаборах максимальная пропускная способность имеет место при заполнении труб водой на 0,95 d, а наибольшие скорости течения — при заполнении их на 0,81 d.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ К ИНФИЛЬТРАЦИОННЫМ ВОДОЗАБОРАМ

Инфильтрационные водозаборы сооружаются для использования фильтрационных вод, рек, озер и водохранилищ. Располагаются они или параллельно берегам рек и водоемов (береговые водозаборы), или под руслами рек и водоемов (подрусловые водозаборы).

Береговые водозаборы могут быть вертикальными (скважины и колодцы) и горизонтальными (галереи и штольни), а также комбинированными. Подрусловые водозаборы также могут быть как вертикальными, так и горизонтальными.

Ниже приводятся формулы для расчета притока воды к горизонтальным инфильтрационным водозаборам. Расчет дебита одиночных береговых скважин рассмотрен выше, в § 1 данной главы, а линейных рядов скважин, расположенных близ рек и водоемов, дается ниже, в гл. XV.

Совершенные горизонтальные водозаборы

I. Для берегового водозабора, расположенного нормально потоку подземных вод при отдаленной области их питания (рис. XIV-8), по С. Ф. Аверьянову

$$Q_0 = \frac{2a_1}{(1+a_1)}\left[Q_2 + \frac{KT_0(H-h_0)}{l_1}\right]. \tag{XIV-78}$$

Здесь

$$a_1 = \frac{1}{1+\frac{h_0}{l_1}A}; \tag{XIV-79}$$

$$A = 1{,}47 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi b}{2h_0}}. \tag{XIV-80}$$

В этих формулах приняты следующие обозначения:

Q_0 — приток на 1 $м$ длины водозабора;

h_0 — превышение уровня воды в водозаборе над водоупором;

l_1 — расстояние водозабора от береговой линии водоема;

b — ширина водозабора, включая и фильтрующую обсыпку;

Q_2 — расход потока подземных вод, притекающих со стороны водораздела на 1 $м$;

K — коэффициент фильтрации;

T_0 — величина, равная $\frac{H+h_0}{2}$ (средняя мощность фильтрационного потока на участке от водоема до водозабора);

H — высота напора в водоеме над водоупором;

A — коэффициент, определяемый по табл. XIV-4.

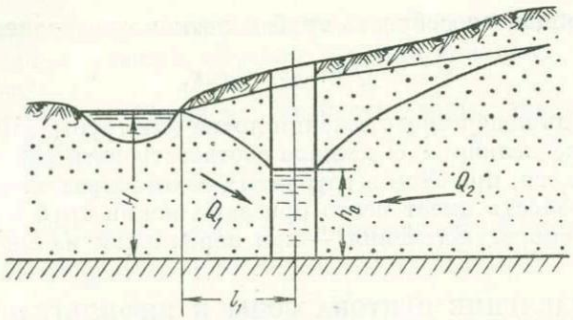


Рис. XIV-8. Расчетная схема притока воды к совершенному горизонтальному инфильтрационному водозабору при отдаленной области питания подземных вод.

Таблица XIV-4

Значения коэффициента A

$\frac{b}{h_0}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16
A	2,64	2,20	1,95	1,76	1,62	1,51	1,41	1,32	1,25	1,18	1,07	0,97	0,89
$\frac{b}{h_0}$	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
A	0,81	0,75	0,61	0,50	0,41	0,34	0,28	0,22	0,14	0,07	0,03	0,01	0,00

II. Для берегового водозабора, расположенного между двумя водоемами нормально потокам воды из них (рис. XIV-9), по Дюпюи

$$Q = L(q_1 + q_2). \tag{XIV-81}$$

Здесь

$$q_1 = \frac{K(h_1^2 - h_0^2)}{2l_1}, \tag{XIV-82}$$

$$q_2 = \frac{K(h_2^2 - h_0^2)}{2l_2}, \tag{XIV-83}$$

где Q — дебит водозабора.

Остальные обозначения те же, что и в формулах (XIV-64) и (XIV-65).

III. Для подруслового водозабора (рис. XIV-10) по В. И. Аравину и С. Н. Нумерову

$$Q = LKq_r. \tag{XIV-84}$$

Здесь

$$q_r = \frac{H - H_0}{0{,}73 \lg \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{8} \cdot \frac{d}{T}\right)}, \tag{XIV-85}$$

где Q — дебит водозабора;
K — коэффициент фильтрации;
d — диаметр водозабора;

H — высота напора над кровлей водозабора, считая от уровня воды в водоеме;

H_0 — величина напора в водозаборе, соответствующая избыточному в нем давлению (при атмосферном давлении $H_0 = 0$);

T — расстояние от дна водоема до водоупора;

$q_т$ — приток на 1 *м* длины водозабора.

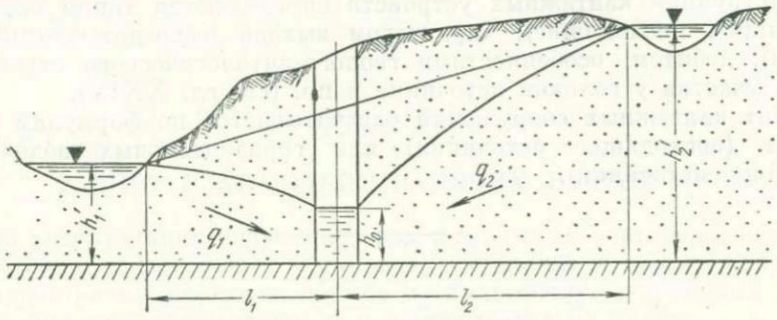


Рис. XIV-9. Расчетная схема притока воды к совершенному горизонтальному водозабору, расположенному между двумя водоемами.

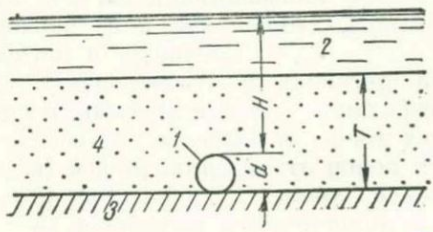


Рис. XIV-10. Расчетная схема притока воды к подрусловому водозабору:

1 — водозабор; *2* — водоем; *3* — водоупор; *4* — подрусловый водоносный горизонт.

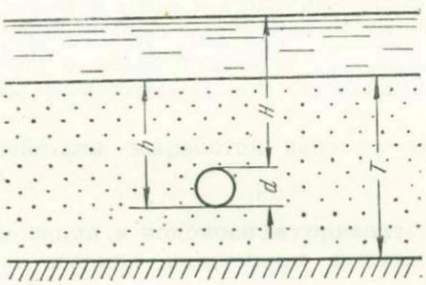


Рис. XIV-11. Расчетная схема притока воды к подрусловому несовершенному водозабору.

Несовершенные горизонтальные водозаборы

I. Для водозабора, расположенного между двумя водоемами, расчет производится по формулам (XIV-63) — (XIV-66) согласно рис. XIV-6.

II. Для подруслового водозабора (рис. XIV-11), по В. И. Аравину и С. Н. Нумерову

$$Q = LKq_т. \tag{XIV-86}$$

Здесь

$$q_т = \frac{H - H_0}{0{,}37 \lg\left[\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{8}\,\frac{4h - d}{T}\right)\operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{8}\,\frac{d}{T}\right)\right]}. \tag{XIV-87}$$

При глубоком залегании водоупора $T = \infty$; тогда

$$q_т = \frac{H - H_0}{0{,}37 \lg\left(4\,\frac{h}{d} - 1\right)}, \tag{XIV-88}$$

где h — глубина заложения водозабора.

Другие обозначения те же, что и в формулах (XIV-84) и (XIV-85).

В заключение отметим, что подземные воды, как указывалось ранее (гл. VI), выходят на дневную поверхность в виде источников, которые часто захватываются так называемыми каптажными сооружениями, предохраняющими воду от загрязнения и создающими условия для более концентрированного выхода подземных вод.

Конструкции каптажных устройств определяются типом источника (восходящие, нисходящие), характером выхода (сосредоточенный, рассеянный), дебитом, особенностями геолого-литологического строения и рельефа участка у головки источника и пр. (см. гл. XXIV).

Дебит каптажных сооружений рассчитывается по формулам дебита колодцев (восходящие источники) или горизонтальных водозаборов (нисходящие источники).

Глава XV

РАСЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫРАБОТОК

При эксплуатации подземных вод и нефтяных месторождений и особенно в водопонизительных установках скважины и другие искусственные выработки применяются обычно не в одиночку, а группами. В этих случаях они взаимодействуют, т. е. влияют друг на друга.

Расчеты взаимодействия выработок в общем случае состоят из определения их дебита и динамического уровня подземных вод. Взаимное влияние (интерференция) выработок выражается либо в снижении дебитов (по сравнению с дебитами одиночно работающих тех же выработок при тех же динамических уровнях), либо в снижении динамических уровней (при неизменных дебитах), либо в одновременном изменении дебитов и уровней.

Интенсивность и характер взаимодействия выработок зависят от естественных и искусственных факторов.

Естественные факторы.

а) водопроницаемость пород и ее изменения в водоносном горизонте;

б) направление, уклон, мощность и ширина подземного потока;

в) положение водоупорного ложа;

г) режим движения подземных вод;

д) условия питания и разгрузка водоносного горизонта и его связи со смежными водоносными горизонтами;

е) очертания контуров питания и разгрузки.

Искусственные факторы:

а) количество и взаимное расположение выработок;

б) удаленность выработок от контуров питания и разгрузки;

в) размеры и конструкции водоприемной части выработок;

г) соотношения водоотбора и естественных ресурсов водоносного горизонта.

При расчетах взаимодействия выработок следует принимать во внимание также влияние гидродинамического совершенства выработок как по степени, так и по характеру вскрытия водоносного горизонта.

Учитывая влияние сразу нескольких факторов, проектный расчет контурных и линейных установок приходится производить методом подбора, причем рекомендуется его выполнять в следующем порядке.

1) исходя из условий строительства (или эксплуатации), определить площадь, в пределах которой в водоносном горизонте уровень должен быть снижен на определенную заранее заданную величину;

2) по приводимым ниже формулам или по методу «большого колодца» определить в первом приближении общий приток к защищаемой территории, при котором обеспечивается заданное необходимое понижение;

3) задаваясь некоторым числом выработок, установить наиболее выгодное расположение их в плане на данной территории;

4) рассчитать дебит каждой взаимодействующей выработки при выбранном их числе и необходимом понижении в них. Радиус выработок и прочие их размеры принимаются обычно по конструктивным соображениям;

5) произвести проверку сниженного уровня в характерных точках защищаемой территории. В случае недостаточного понижения уровня изменить число и взаимное расположение проектируемых выработок, а также понижения в них и произвести повторную проверку снижения уровня;

6) окончательно уточнить дебит проектируемой группы взаимодействующих выработок при установленном их взаимном расположении, а также по водозахватной способности и построить депрессионные кривые по соответствующим направлениям;

7) в условиях безнапорных вод определить величину «скачка» — разницу в уровнях воды за внешней стенкой фильтра и в самой выработке.

Наиболее часто встречающиеся в данной главе обозначения следующие:

Q — дебит или приток воды к одиночно работающей выработке, *м*^{3}/*сутки*;

Q' — дебит или приток воды к одной выработке при взаимодействии ее с остальными, *м*^{3}/*сутки*;

K — усредненный коэффициент фильтрации для всего участка расположения взаимодействующих выработок и окружающей их зоны влияния (в данном водоносном горизонте), *м*/*сутки*;

M — средняя мощность напорного водоносного горизонта, *м*;

H — средняя мощность безнапорного водоносного горизонта или высота пьезометрического уровня при напорном водоносном горизонте, *м*;

h_A — напор в некоторой точке A, *м*;

S_0 — понижение уровня в выработке, *м*;

l — вскрытая выработкой часть водоносного горизонта, *м*;

n — число взаимодействующих выработок;

a — расстояние между ближайшими (смежными) взаимодействующими выработками, *м*;

r_0 — радиус водоприемной части выработки, *м*;

r — радиус кругового контура расположения выработок или приведенный радиус (эквивалентный круговому контуру) при неправильном (в плане) расположении взаимодействующих выработок, *м*;

ϱ_{1-i} — расстояние от внешней поверхности водоприемной части выработки № 1 до оси какой-либо другой (i-й) взаимодействующей выработки. Для скважин и прочих выработок с малым радиусом это расстояние практически принимается равным расстоянию между выработками;

R — расстояние от группы взаимодействующих выработок до кругового контура питания или радиус депрессии (радиус влияния) при радиальном потоке, *м*;

B — расстояние от группы взаимодействующих выработок до прямолинейного контура питания или ширина зоны депрессии (влияния) при плоском потоке, *м*; если имеются два прямолинейных

контура питания на различных расстояниях от выработок, то они обозначаются B_1 и B_2.

При ясно выраженном потоке подземных вод расстояние до прямолинейного контура питания обозначается $B_п$ и до области разгрузки $B_р$.

Ниже рассматриваются наиболее простые из расчетных формул для дебита и понижения уровня взаимодействующих выработок, учитывающие основные из перечисленных выше естественных и искусственных факторов.

При составлении данной главы использованы работы С. К. Абрамова [1955, 1957, С. К. Абрамов и В. Д. Бабушкин, 1955], С. Ф. Аверьянова [1948, 1949], М. Е. Альтовского [1947], В. И. Аравина [В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, 1953, 1955], П. П. Аргунова [1950], Г. Н. Каменского [1943], И. П. Кусакина [1935], Л. С. Лейбензона [1934], М. Маскета [1949], А. В. Романова [1952] Ф. Форхгеймера [1935], И. А. Чарного [1946, 1956], В. Н. Щелкачева [В. Н. Щелкачев и Г. Б. Пыхачев, 1939; В. Н. Щелкачев и Б. Б. Лапук, 1949] и др. Формулы указанных авторов для унификации и удобства расчетов частично преобразованы.

§ 1. ГРУППА ВЫРАБОТОК, РАСПОЛОЖЕННЫХ БЕЗ ОПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ПЛОЩАДИ

Этот случай наиболее общий, так как учитывает произвольное число n как угодно расположенных выработок (рис. XV-1) при неодинаковых дебитах, понижениях и радиусах водоприемной части каждой из них.

I. Значения дебитов находятся по методу Форхгеймера — Чарного путем решения следующей системы n уравнений первой степени:

$$\left.\begin{aligned}
&Q_1' \lg R_1 + Q_2' \lg \frac{R_2}{\varrho_{1-2}} + Q_3' \lg \frac{R_3}{\varrho_{1-3}} + \ldots + \\
&\quad + Q_n' \lg \frac{R_n}{\varrho_{1-n}} = D_1 + Q_1' \lg r'_{o_1}; \\
&Q_1' \lg \frac{R_1}{\varrho_{2-1}} + Q_2' \lg R_2 + Q_3' \lg \frac{R_3}{\varrho_{2-3}} + \ldots + \\
&\quad + Q_n' \lg \frac{R_n}{\varrho_{2-n}} = D_2 + Q_2' \lg r'_{o_2}; \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&Q_1' \lg \frac{R_1}{\varrho_{i-1}} + Q_2' \lg \frac{R_2}{\varrho_{i-2}} + \ldots + Q_i' \lg R_i + \\
&\quad + \ldots + Q_n' \lg \frac{R_n}{\varrho_{i-n}} = D_i + Q_i' \lg r'_{o_i}; \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&\quad Q_1' \lg \frac{R_1}{\varrho_{n-1}} + Q_2' \lg \frac{R_2}{\varrho_{n-2}} + Q_3' \lg \frac{R_3}{\varrho_{n-3}} + \\
&\quad + \ldots + Q_n' \lg R_n = D_n + Q_n' \lg r'_{o_n}.
\end{aligned}\right\} \qquad \text{(XIV-1)}$$

Входящие в правые части этих уравнений выражения r_{o_i}' и D_i имеют следующий смысл.

1. Для гидродинамически совершенных выработок r'_{0_i} это действительный радиус выработки ($r'_{0_i} = r_0$), а для несовершенных — приведенное его значение, равное

а) при напорном движении $r'_{0_i} = r_{0i} e^{-c_м}$,

где e — основание натуральных логарифмов.

$$c_м = \frac{M - l_i}{l_i} \lg \frac{4M}{r_{0i}} - \frac{M}{2l_i} \lg \varphi \left(\frac{l_i}{M} \right); \qquad \text{(XV-2)}$$

б) при безнапорном движении $r'_{0_i} = r'_{0_i} e^{-c_н}$,

где

$$c_н = \frac{H_s - l_i}{l_i} \lg \frac{4H_s}{r_{0i}} - \frac{H_s}{2l_i} \lg \varphi \left(\frac{l_i}{H_s} \right). \qquad \text{(XV-3)}$$

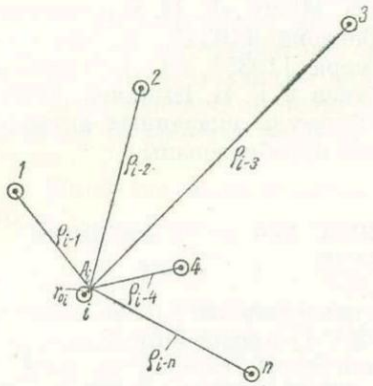


Рис. XV-1. Группа взаимодействующих выработок, расположенных без определенной системы на площади.

При значениях $\frac{l}{M}$ и $\frac{l}{H_s}$ в пределах от 0,3 до 0,95 без особой погрешности допустимо пользоваться упрощенной формулой для коэффициента c

$$c_м = \frac{M}{l} \lg \frac{M}{4r_0} - \lg \frac{M}{3r_0}, \qquad \text{(XV-2')}$$

$$c_н \approx \frac{H_s}{l} \lg \frac{H_s}{4r_0} - \lg \frac{H_s}{3r_0}. \qquad \text{(XV-3')}$$

Так как значения r'_{0_i} во всех видоизменениях системы уравнений (XV-1) стоят под знаком логарифма, то удобнее пользоваться для них следующими выражениями:

$$\lg (r_{0_i} e^{-c_м}) = \frac{M - 1{,}3\, l_i}{2{,}3\, l_i} \lg r_{0i} - 0{,}434 \left(\frac{M}{l_i} - 1 \right) \lg 4M + 0{,}217 \frac{M}{l_i} \lg \varphi \left(\frac{l_i}{M} \right), \qquad \text{(XV-4)}$$

$$\lg (r_{0_i} e^{-c_н}) = \frac{H_s - 1{,}3\, l_i}{2{,}3\, l_i} \lg r_{0i} - 0{,}434 \left(\frac{H_s}{l_i} - 1 \right) \lg 4H_s + 0{,}217 \frac{H_s}{l_i} \lg \varphi \left(\frac{l_i}{H_s} \right). \qquad \text{(XV-5)}$$

В обоих выражениях функции $\lg\varphi \frac{l_i}{M}$ и $\lg\varphi \frac{l_i}{H_s}$ находятся по вспомогательному графику (рис. XV-2).

Если несовершенство выработок во всех рассматриваемых ниже случаях проявляется не только по степени вскрытия, но и по характеру вскрытия водоносной породы, то величина c состоит из двух слагаемых c_1 и c_2, где c_1 определяется по формуле (XV-2) или (XV-3), а c_2 находится по графикам В. И. Щурова [1954], приведенным в приложении XII.

2. Величина D_i в уравнениях (XV-1) меняется в зависимости от характера движения и совершенства выработок:

а) при напорном движении как для совершенных, так и для несовершенных выработок.

$$D_i = 2{,}73\,KMS_{0_i} \qquad \text{(XV-6)}$$

б) при безнапорном движении для случая совершенной выработки

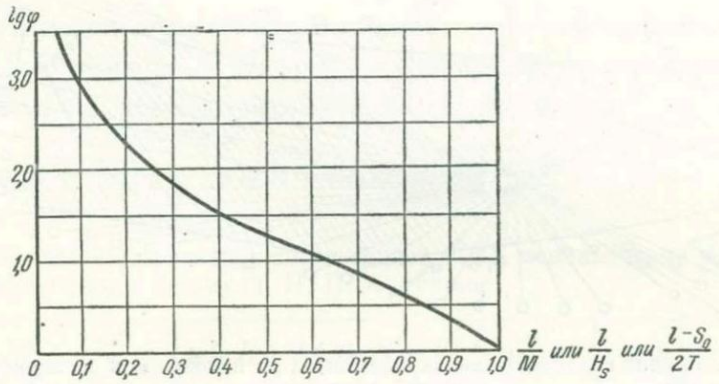
$$D_i = 1{,}36\,K\,(2H_s - S_{0_i})\,S_{0_i}\,, \qquad \text{(XV-7)}$$

а для случая несовершенной выработки

$$D_i = 2{,}73\,KH_s\left(1 - \frac{S_{0_i}}{2l_i}\right). \qquad \text{(XV-8)}$$

в) при безнапорно-напорном движении как для совершенных, так и для несовершенных выработок

$$D_i = 1{,}36\,K\,[(2H_s - S_{0_i})S_{0_i} - (H_s - M)^2]. \qquad \text{(XV-9)}$$



[Рис. XV-2. График для определения функции $\lg \varphi$.

II. В практике гидрогеологических расчетов контур питания часто рассматривают как окружность, значительно удаленную от группы выработок, при этом допускают, что $R_1 = R_2 = \ldots = R_n = R$. Тогда решение системы уравнений (XV-1) несколько упрощается.

III. После определения дебитов могут быть найдены величины сниженных напоров или уровней в разных частях водоносного горизонта и построены депрессионные поверхности. Ниже приводятся необходимые формулы для определения сниженных напоров и уровней.

Совершенные выработки

1. Для напорного движения при круговом контуре питания (с постоянным значением H на всем контуре) применяется формула Ф. Форхгеймера

$$h_A = H - \frac{0{,}366}{KM}\left(Q_1' \lg \frac{R_1}{\varrho_1} + Q_2' \lg \frac{R_2}{\varrho_2} + Q_3' \lg \frac{R_3}{\varrho_3} + \right.$$

$$\left. + \ldots + Q_n' \lg \frac{R_n}{\varrho_n}\right), \qquad \text{(XV-10)}$$

где h_A — напор в некоторой точке A_i водоносного горизонта (см. рис. XV-3);

$\varrho_1, \varrho_2 \ldots \varrho_i$ — расстояния от точки A_i до соответствующих выработок.

В случае $Q_1' = Q_2' = Q_3' \ldots = Q_n' = Q'$ и $R_1 = R_2 = R_3 \ldots = R_i = R$ формула (XV-10) упрощается и принимает вид

$$h_A = H - \frac{nQ'}{2{,}73KM}\left[\lg R - \frac{1}{n}\lg(\varrho_1 \cdot \varrho_2 \cdot \varrho_3 \ldots \varrho_n)\right]. \qquad \text{(XV-11)}$$

При приближенном определении сниженного уровня в центре контурной установки может служить формула «большого колодца»

$$h_{\text{ц}} = H - \frac{nQ' \lg \frac{R}{r}}{2{,}73KM}. \qquad \text{(XV-12)}$$

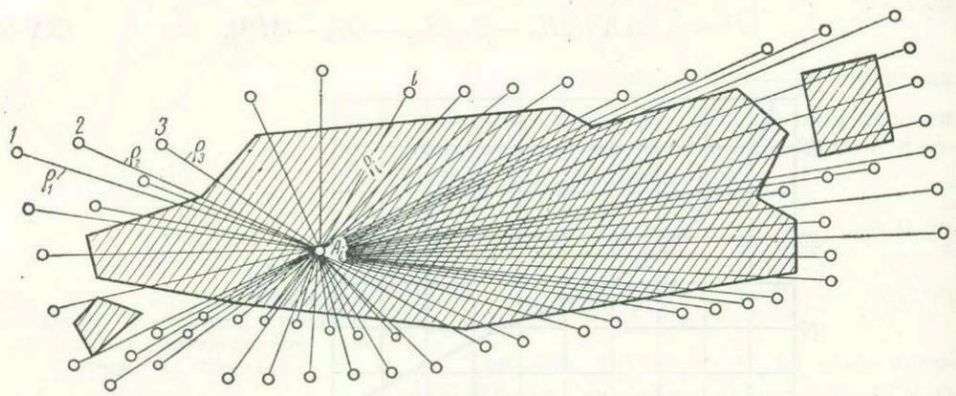


Рис. XV-3. Группа водопонижающих выработок, расположенных по периферии защищаемой территории.

Кружками отмечены водопонижающие выработки разных типов. Заштрихована защищаемая территория при водопонижении; A_i — некоторая точка на защищаемой территории, для которой определяется понижение;
ϱ_i — расстояние до точки A_i от действующих выработок.

2. Для безнапорного движения используется формула

$$h_A = \sqrt{H^2 - \frac{0{,}733}{K}\left(Q_1' \lg \frac{R_1}{\varrho_1} + Q_2' \lg \frac{R_2}{\varrho_2} + Q_3' \lg \frac{R_3}{\varrho_3} + \ldots + Q_n' \lg \frac{R_n}{\varrho_n}\right)}. \qquad \text{(XV-13)}$$

В случае $Q_1' = Q_2' = Q_3' = Q_n' = Q'$ и $R_1 = R_2 = R_3 \ldots = R_n = R$,

$$h_A = \sqrt{H^2 - \frac{nQ'}{1{,}36K}\left|\lg R - \frac{1}{n}\lg(\varrho_1 \cdot \varrho_2 \cdot \varrho_3 \ldots \varrho_n)\right|}. \qquad \text{(XV-14)}$$

При приближенном определении сниженного уровня в центре установки может служить формула

$$h_{\text{ц}} = \sqrt{H^2 - \frac{nQ'(\lg R - \lg r)}{1{,}36K}}. \qquad \text{(XV-15)}$$

Несовершенные выработки

1. Для напорного движения при круговом контуре питания применяется видоизмененная формула П. П. Аргунова

$$h_A = H - \frac{1}{2{,}73\,KM}\left[\sum_1^n Q_i' \cdot \lg R + 0{,}434 \sum_1^n Q_i' \frac{M - l_i}{l_i} \times \right.$$

$$\left. \times \left(\operatorname{arsh} \frac{l_i}{\varrho_i} - \operatorname{arsh} \frac{l_i}{R}\right) - \sum_1^n Q_i' \lg \varrho_i \right] \qquad \text{(XV-16)}$$

В случае $Q_1' = Q_2' = \ldots = Q'$ и $l_1 = l_2 = \ldots = l$, формула (XV-16) принимает вид

$$h_A = H - \frac{n\,Q' \lg R + 0{,}434\,Q' \frac{M - l}{l}\left(\sum_1^n \operatorname{arsh} \frac{l}{\varrho_i} - n \operatorname{arsh} \frac{l}{R}\right) - Q' \sum_1^n \lg \varrho_i}{2{,}73\,KM}. \qquad \text{(XV-17)}$$

При расположении точки A_i на расстояниях ϱ_i (от действующих выработок) более $2{,}5\,l$ можно полагать $\operatorname{arsh} \frac{l}{\varrho_i} \approx \frac{l}{\varrho_i}$ и пренебречь величиной $\operatorname{arsh} \frac{l}{R}$ как весьма малой, тогда формула еще более упрощается

$$h_A = H - \frac{Q'}{2{,}73\,KM}\left[n \lg R + 0{,}434\,(M - l) \sum_1^n \varrho_i^{-1} - \sum_1^n \lg \varrho_i\right]. \qquad \text{(XV-18)}$$

2. Для безнапорного движения может быть использована аналогичная видоизмененная формула П. П. Аргунова

$$h_A = \sqrt{H^2 - \frac{Q'}{1{,}36\,K}\left[n \lg R + 0{,}434\,(H - l') \sum_1^n \varrho_i^{-1} - \sum_1^n \lg \varrho_i\right]}. \qquad \text{(XV-19)}$$

где $l' = l - S_0$.

§ 2. ОДНОКОНТУРНЫЕ ГРУППЫ ВЫРАБОТОК

1. Если выработки однотипны по конструкции и расположены по какому-либо не очень вытянутому замкнутому контуру, то условия притока к ним однообразны, и в расчетах принимают, что дебиты выработок (при одних и тех же понижениях) одинаковы, что значительно облегчает расчеты по сравнению с уравнениями XV-1.

Совершенные выработки

1. Для напорного движения — формула Ф. Форхгеймера

$$Q_1' = 2{,}73\,KM \frac{S_0}{\lg R - \frac{1}{n} \lg (r_0 \cdot \varrho_{1-2} \cdot \varrho_{1-3} \cdots \varrho_{1-n})}. \qquad \text{(XV-20)}$$

2. Для безнапорного и безнапорно-напорногодвижения в этой формуле член $2{,}73\,KMS_0$ заменяется соответственно на $1{,}36\,K\,(2H - S_0)S_0$ и $1{,}36\,K\,[(2H - S_0)\,S_0 - (H - M)^2]$.

В этих формулах S_0 и r_0 — соответственно понижение и радиус водоприемной части какой-либо выработки, от которой взяты расстояния ϱ_{1-2}, ϱ_{1-3} ϱ_{1-i} до всех остальных выработок.

II. Расчет одноконтурных групп выработок может быть еще более упрощен, если действительный их контур привести к равновеликому кругу радиуса r. Способов такого приведения существует несколько.

1. При контурах, расположенных в виде вытянутых прямоугольников, используется формула Н. К. Гиринского

$$r = \eta \frac{L+b}{4}, \qquad \text{(XV-21)}$$

где L — длина прямоугольника,
b — его ширина;
η — коэффициент, зависящий от отношения $\frac{b}{L}$ находится по табл. XV-1.

Таблица XV-1

b/L	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6 и более
η	1,05	1,08	1,12	1,144	1,16	0,174	1,18

Как крайний случай при $\frac{L}{b} \gg 10$ принимают $r = 0{,}25\,L$

2. При неправильных в плане контурах и $\frac{L}{b} > 3$

$$r = \frac{P}{2\pi}, \qquad \text{(XV-22)}$$

где P — периметр контура.

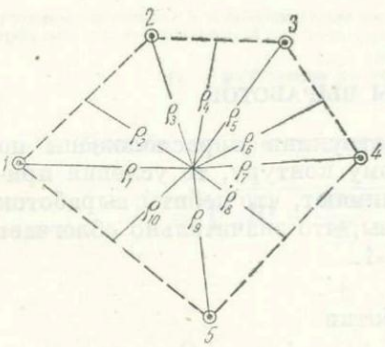


Рис. XV-4. Определение приведенного радиуса r при расположении выработок по вершинам многоугольника.

3. При расположении выработок в форме многоугольника В. М. Шестаков рекомендует определять r по следующей формуле:

$$r = \sqrt[2n]{\varrho_1 \cdot \varrho_2 \cdot \varrho_3 \ldots \varrho_{2n}}, \qquad \text{(XV-23)}$$

где ϱ_1, ϱ_2, ϱ_3, ... ϱ_n — расстояния от выработок и от середины каждой из сторон многоугольника до центра тяжести контура (рис. XV-4);
n — число выработок.

4. Широко применяется также формула

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 0{,}565\sqrt{F}, \qquad \text{(XV-24)}$$

где F — площадь контура установки из n выработок.

Используя значение приведенного радиуса, расчет дебита производят так же, как для круговой установки. Формулы для круговых и неправильных в плане замкнутых контурных установок приводятся ниже.

5. Для напорного движения — формула В. Н. Щелкачева

$$Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{n\lg R-(n-1)\lg r-\lg nr_0}. \qquad \text{(XV-25)}$$

6. Для безнапорного и безнапорно-напорного движения член $2{,}73\,KMS_0$ в формуле XV-25 заменяется соответственно на $1{,}36K(2H-S_0)S_0$ и $1{,}36\ K\ [(2H-S_0)S_0-(H-M)^2]$.

Несовершенные выработки

В большинстве случаев существующие формулы для несовершенных выработок сложны по вычислениям. Наиболее простыми являются формулы с применением так называемого коэффициента несовершенства, выражающего отношение дебита несовершенной выработки к совершенной. По С. К. Абрамову этот коэффициент несколько преобразованный, имеет следующий вид:

для напорных вод

$$\alpha = \frac{l}{M}\left(1+\sqrt{\frac{260\,r_0}{M}}\lg\frac{M}{l}\right); \qquad \text{(XV-26)}$$

для безнапорных вод величина M заменяется H_s, при этом удовлетворительные результаты получаются, если $S_0 \leqslant 0{,}4H_s$.

Используя коэффициент несовершенства α и формулы для совершенных выработок, например XV-20,25 и др., получим соответствующие расчетные формулы для несовершенных выработок. В частности, при безнапорно-напорном движении

$$Q = 1{,}36\,K\,\frac{l\,[(2H_s-S_0)\,S_0-(H_s-M)^2]\left(1+\sqrt{\frac{260\,r_0}{H_s}}\lg\frac{H_s}{l}\right)}{H_s\,[n\lg R-(n-1)\lg r-\lg nr_0]}. \qquad \text{(XV-27)}$$

В практике получили распространение также формулы Чарного — Абрамова.

1. Для напорного движения

$$Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{\frac{M}{l}\left[\lg\frac{4M}{r_0}-\lg\varphi\left(\frac{l}{M}\right)\right]+n\lg R-(n-1)\lg r-\lg 4Mn}. \qquad \text{(XV-28)}$$

2. Для безнапорного движения

$$Q' = 1{,}36\,KS_0\left\{\frac{l}{\lg\frac{R^n}{nr^{n-1}r_0}}+\right.$$

$$\left.+\frac{2T}{\frac{T}{l-S_0}\left[2\lg\frac{4T}{r_0}-\lg\varphi\left(\frac{l-S_0}{2T}\right)\right]+\lg\frac{R^n}{4Tnr^{n-1}}}\right\}, \qquad \text{(XV-29)}$$

где $T = H-\frac{S_0+l}{2}$.

Функции $\lg\varphi\left(\frac{l}{M}\right)$ и $\lg\varphi\left(\frac{l-S_0}{2T}\right)$ находят по вспомогательному графику (рис. XV-2).

Кроме того, при несовершенных выработках в контурных установках может быть использован способ, указанный в начале данной главы: определяют приведенный радиус несовершенной выработки по формуле (XV-2) или (XV-3) и подставляют его в формулы для совершенных выработок.

3. Для отдельных частных случаев расположение выработок для расчета дебита и понижения даются только некоторые из имеющихся формул. Для группы из трех совершенных выработок, расположенных по углам равностороннего треугольника, в условиях напорного движения по формуле Форхгеймера — Маскета

$$Q' = 2{,}73\,KM\frac{S_0}{3\lg R - 2\lg a - \lg r_0}, \qquad \text{(XV-30)}$$

$$S_A = S_0 - \frac{Q'}{2{,}73}\lg\frac{\varrho_1\varrho_2\varrho_3}{a^2 r_0}. \qquad \text{(XV-31)}$$

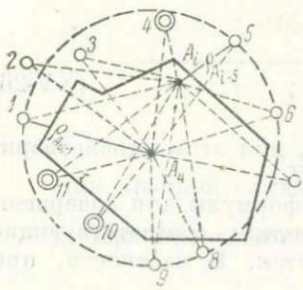


Рис. XV-5. Группа выработок, располагаемых по круговому контуру, или приводимому к окружности. Кружками отмечены водопонижающие выработки разных типов;

A_i, $A_ц$ — некоторые точки на защищаемой территории, где проверяется созданное понижение S; $\varrho_{A_{i-5}}$ — расстояние до точки A_i от действующих выработок, в частности от выработки № 5; $\varrho_{A_{ц-1}}$ — расстояние до точки A (центр водопонижения) от действующих выработок, в частности от выработки № 1.

Аналогичный результат дает и формула Л. С. Лейбензона [1934]. Для группы из четырех совершенных выработок, расположенных по вершинам квадрата по формуле М. Маскета

$$Q' = 2{,}73\,KM\frac{S_0}{4\lg R - 3\lg a - \lg r_0 - 0{,}15}, \qquad \text{(XV-32)}$$

$$S_A = S_0 - \frac{Q'}{2{,}73\,KM}\lg\frac{\varrho_1\varrho_2\varrho_3\varrho_4}{\sqrt{2}\,a^3 r_0}. \qquad \text{(XV-33)}$$

При безнапорном и безнапорно-напорном движении в формулах (XV-30) и (XV-32) член $2{,}73\,KM$ заменяется соответственно выражением

$$1{,}36\,K\,(2H - S_0)\,S_0 \text{ и } 1{,}36\,K\,[(2H - S_0)\,S_0 - (H - M)^2]$$

Если же выработки несовершенные, то к различным видоизменениям этих формул вводится еще соответствующий коэффициент несовершенства.

4. После определения дебитов выработок могут быть найдены положения динамических уровней в любой точке депрессионной поверхности и в центре установки A_i и $A_ц$ на рис. XV-5. При этом для группы выработок, расположенных по круговому контуру или приводящемуся к окружности, можно пользоваться при напорном движении формулами (XV-11) и (XV-12), а при безнапорном движении — формулами (XV-14) и (XV-15).

Для случаев расположения выработок по треугольнику и квадрату формулы для определения понижений в любой точке депрессионной поверхности уже приведены (см. формулы XV-31 и XV-33).

§ 3. МНОГОКОНТУРНЫЕ СИСТЕМЫ ВЫРАБОТОК

Расчеты дебитов выработок, входящих в многоконтурные системы, производятся приближенно по способу «большого колодца» с учетом взаимодействия отдельных групп. Каждая одноконтурная группа выработок может рассматриваться как «большой колодец» с радиусом r и с понижением уровня в центре «большого колодца» — S. Ниже приведены отдельные случаи для небольшого числа контурных групп.

Две группы выработок с круговой областью питания (рис. XV-6)

1. Для напорного движения по формуле А. В. Романова

$$Q'' = 2{,}73\,KM\frac{S_0}{2\lg R - \lg ar} \qquad \text{(XV-34)}$$

где Q'' — суммарный дебит одной установки (группы), состоящей из n однотипных выработок.

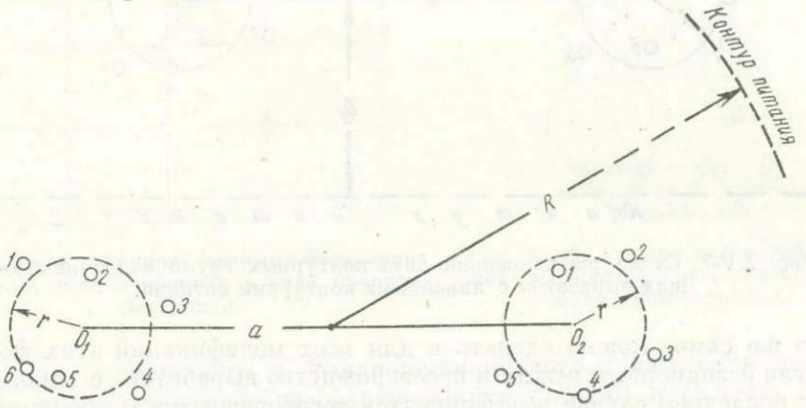


Рис. XV-6. Схема расположения двух контурных групп водопонижающих выработок при круговом контуре питания.

Дебит одной выработки, взаимодействующей со всеми остальными, составит

$$Q' = \frac{Q''}{n}.$$

2. Для безнапорного движения член $2{,}73\,KMS$ заменяется $1{,}36\,K\,(2H - S)S$

Две контурные группы выработок с линейными контурами областей питания (рис. XV-7)

Расчет дебита для совершенных выработок производится по формуле А. В. Романова

$$Q'' = \frac{0{,}5\,A}{\lg\dfrac{2(B_1+B_2)}{\pi\sqrt{ar}} + \lg\cos\dfrac{\pi}{2}\dfrac{(B_1-B_2)}{(B_1+B_2)}}, \qquad \text{(XV-35)}$$

в которой при напорном движении $A = 2{,}73\,KMS$, при безнапорном движении $A = 1{,}36\,K\,(2H - S)\,S$.

При несовершенных выработках следует применять коэффициент несовершенства α (по С. К. Абрамову), который в данном случае выражает отношение суммарного дебита группы несовершенных выработок к суммарному дебиту группы совершенных выработок.

Дебиты для выработок в три и четыре группы могут быть рассчитаны аналогично случаям, приведенным для двух контурных групп. Например, если группы расположены по углам треугольника или квадрата, то в формулах XV-30 и XV-32 значения r_0 и S_0 заменяются значениями r и S.

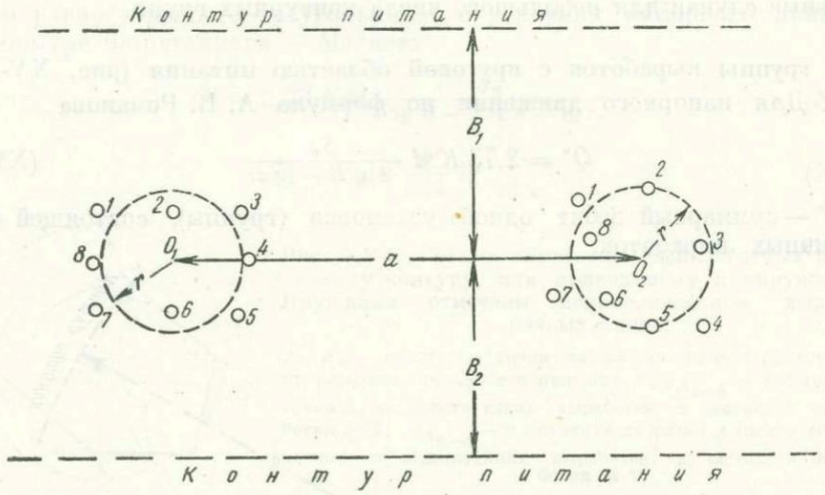


Рис. XV-7. Схема расположения двух контурных групп водопонижающих выработок с линейными контурами питания.

То же самое можно сделать и для всех модификаций этих формул, учитывая безнапорный режим и несовершенство выработок, с использованием в последнем случае коэффициентов несовершенства α либо значений приведенных радиусов r_0' для несовершенных выработок (формулы XV-2 и XV-3).

Для определения величины снижения напора и уровня подземных вод (внутри и вне контура группы, но в пределах радиуса депрессии) могут быть применены уравнения Форхгеймера:

1) для напорного движения формула (XV-11);

2) для безнапорного движения формула (XV-14), где под nQ' понимается суммарный дебит многоконтурных групп, состоящих из n однотипных выработок, а ϱ_1, ϱ_2, ϱ_n — расстояния от заданной точки до центра каждой контурной группы выработок; R — общий радиус депрессии для групп выработок.

§ 4. СИСТЕМЫ ОДНОТИПНЫХ ВЫРАБОТОК, РАСПОЛОЖЕННЫХ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ПРАВИЛЬНОЙ СЕТКЕ

В гидрогеологической практике такие случаи редки, поэтому ниже приводятся формулы дебита для наиболее простых случаев (по М. Маскету).

1. Для совершенных выработок, расположенных в виде правиль-

ных рядов, при круговом контуре питания и напорном движении (рис. XV-8)

$$Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{\lg\left(\mathrm{sh}^4\frac{\pi b}{2a}\,\mathrm{sh}^3\frac{\pi b}{2a}\right) - \lg\left(\mathrm{sh}^2\frac{\pi r_0}{a}\,\mathrm{sh}^3\frac{\pi b}{a}\right)}, \qquad \text{(XV-36)}$$

где a — расстояние между выработками в ряду;
b — расстояние между рядами выработок.

2. Для совершенных выработок, расположенных в шахматном порядке, при круговом контуре питания и напорном движении (рис. XV-9).

$$Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{2\lg\frac{a}{r_0} - 1{,}14}. \qquad \text{(XV-37)}$$

Имеются также формулы М. Маскета [1937] для 9 и 16 выработок, расположенных по квадратной сетке.

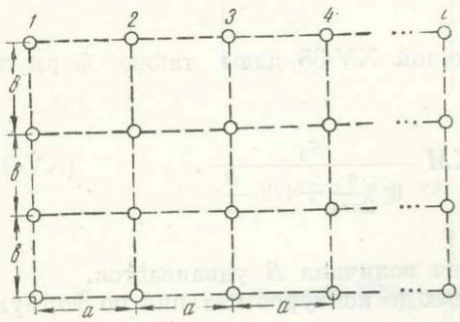


Рис. XV — 8. Группа взаимодействующих выработок, расположенных в виде правильных рядов.

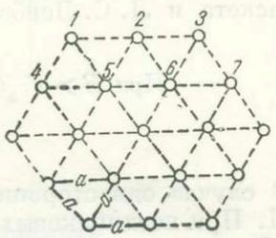


Рис. XV-9. Группа взаимодействующих выработок, расположенных в шахматном порядке.

3. Для безнапорного и безнапорно-напорного движения и несовершенных выработках преобразование формул (XV-36) и (XV-37) производится аналогично рассмотренным ранее случаям.

4. Определение величины сниженного напора и уровня воды приближенно может быть выполнено для напорного движения по формуле (XV-11) и для безнапорного — по формуле (XV-14).

§ 5. ЛИНЕЙНЫЕ РЯДЫ ВЫРАБОТОК

Определение дебита выработок, расположенных в виде ряда, является задачей, довольно часто встречающейся. Обычные формулы для расчета линейных рядов предполагают наличие в ряду большого числа выработок.

Ниже приводятся более простые формулы для случаев, когда дебиты, понижения и радиусы выработок в ряду одинаковы, а контуры питания и разгрузки имеют прямолинейные очертания.

Эти формулы исходят из нормального расположения ряда по отношению к направлению движения подземных вод. Если линейный ряд задан под некоторым углом (не превышающим 45°) к направлению движения подземного потока, то вместо величины a (расстояние между выработками) во всех расчетных формулах следует подставлять величину

a', представляющую собой проекцию этого расстояния на прямую нормальную к направлению потока; $a' = a\text{Cos}\theta$, где θ — угол между линией ряда и линией, перпендикулярной потоку подземных вод.

Однолинейные ряды выработок

Совершенные выработки

Для напорного движения

I. Двухсторонний приток при равноудаленных от контуров питания выработок с постоянным значением в них напора H (рис. XV-10), по формуле И. А. Чарного

$$Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{\lg\frac{a}{\pi r_0} + \lg \operatorname{sh}\frac{\pi B}{a}}. \qquad \text{(XV-38)}$$

Аналогичный результат с формулой XV-38 дают также формулы М. Маскета и Л. С. Лейбензона.

$$\text{При } B > a \quad Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 1{,}36\,\frac{B}{a}}. \qquad \text{(XV-39)}$$

В случае одностороннего питания величина B удваивается.

II. При неодинаковых расстояниях до контуров питания по формуле А. В. Романова

$$Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\,\frac{B_1 B_2}{a\,(B_1 + B_2)}}. \qquad \text{(XV-40)}$$

Если ряд выработок расположен вблизи области разгрузки, в знаменателе этой формулы должно стоять выражение

$$\lg\frac{a}{2\pi r_0}\left[1 - 2e^{-\frac{2\pi}{a}(B_\text{п}+B_\text{р})}\ \operatorname{ch}\frac{2\pi\,(B_\text{п} - B_\text{р})}{a}\right] + 2{,}73\,\frac{B_\text{п} B_\text{р}}{a\,(B_\text{п} + B_\text{р})}.$$

III. Для потока подземных вод по формуле С. Ф. Аверьянова

$$Q' = 2\,KM\,\frac{aS_0}{B + aA}, \qquad \text{(XV-41)}$$

где $A = 0{,}733 \lg\frac{1}{2\sin\frac{\pi r_0}{a}} \approx 0{,}733\ \lg\frac{a}{2\pi r_0}$.

Значение коэффициента A можно найти по табл. XV-2 (в зависимости от $\frac{a}{2r_0}$) или по вспомогательному графику (рис. XV-11).

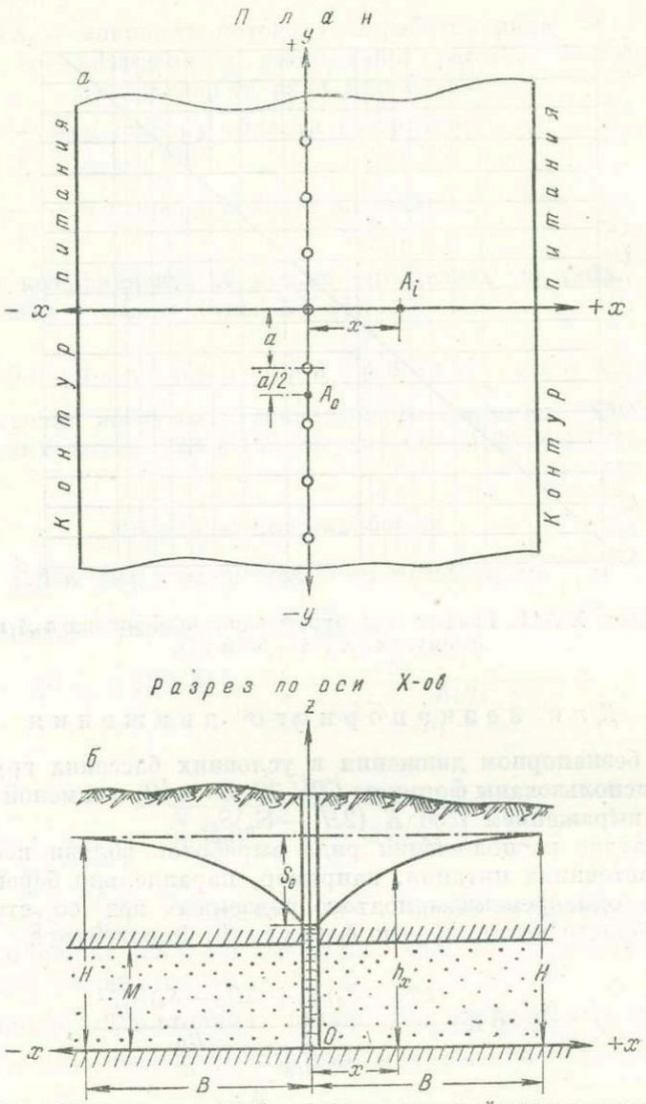


Рис. X-10. Схема линейного ряда взаимодействующих выработок при симметричном расположении относительно областей питания.

Таблица XV-2

$\frac{a}{2r_0}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150
A	0,37	0,59	0,72	0,81	0,88	0,94	0,99	1,03	1,07	1,10	1,23

$\frac{a}{2r_0}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
A	1,32	1,39	1,45	1,50	1,54	1,58	1,61	1,67	1,72	1,76	1,80	1,84

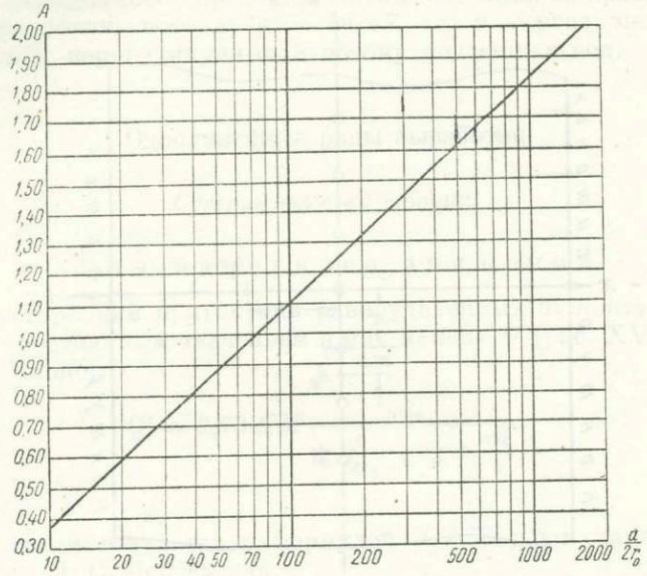


Рис. XV-11. График для определения коэффициента A в формулах (XV-41, 56 и 57).

Для безнапорного движения

I. При безнапорном движении в условиях бассейна грунтовых вод могут быть использованы формулы (XV-38, 39 и 40) с заменой в них члена 2,73 KMS_0 выражением 1,36 K $(2H - S_0)S_0$.

II. В случае расположения ряда выработок вблизи постоянного и надежного источника питания, например, параллельно берегу реки или озера и при одновременном подтоке подземных вод со стороны более удаленной области питания — по формуле Ф. Форхгеймера

$$Q' = 1{,}36\,K\frac{(2H_р - S_0)S_0 + (2H_п - S_0)\frac{B_р}{B_п}}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\frac{B_р}{a}}, \qquad \text{(XV-42)}$$

где $H_р$ и $H_п$ — мощности водоносного горизонта у ближнего и дальнего контуров питания, *м*;

$B_р$ и $B_п$ — расстояния от линейного ряда выработок до ближнего и дальнего контура питания, *м*.

III. В условиях потока подземных вод — по формуле С. Ф. Аверьянова

$$Q' = KS_0a\left(\frac{Ta_1}{B_1} + \frac{T_2a_2}{B_2}\right), \qquad \text{(XV-43)}$$

где $T_1 = \frac{H_1 + h_0}{2}$ — средняя мощность потока на участке депрессионной кривой в сторону области разгрузки;

$T_2 = \frac{H_2 + h_0}{2}$ — то же, в сторону области питания;

$h_0 = H_s - S_0$ — мощность потока у выработок ряда;

a — коэффициент уменьшения расхода сплошной дрены при замене ее ряда выработок;

$a_1 = \dfrac{1}{1 + \dfrac{a}{B_р} A}$ — в сторону области разгрузки;

$a_2 = \dfrac{1}{1 + \dfrac{a}{B_п} A}$ — в сторону области питания.

Значения коэффициента A можно определить по табл. XV-2 или вспомогательному графику (рис. XV-11).

Для безнапорно-напорного движения

В этих случаях могут быть использованы формулы (XV-38, 39 и 40) при замене в них члена $2{,}73\,KMS_0$ выражением $1{,}36\,K\,[(2H - S_0)S_0 - (H - M)^2]$.

Несовершенные выработки

Для напорного движения

I. По формуле Чарного — Абрамова

$$Q' = 2{,}73\,KM \frac{S_0}{\lg \dfrac{a}{25M} + 2{,}73 \dfrac{B_1 B_2}{a(B_1 + B_2)} +} \times$$

$$\times \frac{1}{\dfrac{M}{l}\left[\lg \dfrac{4M}{r_0} - 0{,}5 \lg \varphi\left(\dfrac{l}{M}\right)\right]}. \qquad \text{(XV-44)}$$

Значение $\lg \varphi\left(\dfrac{l}{M}\right)$ находят по вспомогательному графику (рис. XV-2). Формула (XV-44) пригодна при расположении выработок одна от другой на расстоянии до 0,5 М.

При одинаковых расстояниях до контуров питания, т. е. при $B_1 = B_2$, второй член в знаменателе этой формулы имеет значение $1{,}36\dfrac{B}{a}$, а при одностороннем питании $2{,}73\dfrac{B}{a}$.

II. Кроме того, могут быть использованы: формула Чарного (XV-39) с заменой r_0 на r_0' (по формуле XV-2), формула Романова (XV-40) с введением коэффициента несовершенства α (по формуле XV-26) и формула Аверьянова (XV-41) с поправочным коэффициентом β на несовершенство выработок. В последнем случае расчетная формула будет иметь вид:

$$Q' = 2KM \frac{aS_0\beta}{B\left(1 + \dfrac{a}{B} A\right)}, \qquad \text{(XV-45)}$$

где $\beta = \dfrac{1}{1 + \dfrac{M}{B} Б}$ и $Б = 1{,}47 \lg \dfrac{1}{\sin \dfrac{\pi}{2} \dfrac{(l + 2r_0)}{M}}$.

Значение коэффициента $Б$ находится по табл. XV-3.

Таблица XV-3

$\frac{l+2r_0}{M}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16
$Б$	2,644	2,203	1,945	1,762	1,620	1,506	1,467	1,392	1,248	1,181	1,066	0,969	0,886
$\frac{l+2r_0}{M}$	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$Б$	0,813	0,749	0,612	0,503	0,413	0,338	0,275	0,221	0,136	0,073	0,032	0,008	0,00

Для безнапорного движения

I. В условиях бассейна подземных вод применимы формулы (XV-38, 39 и 40) при замене в них члена $2{,}73\,KMS_0$ выражением $1{,}36\,K(2H - S_0)S_0$ и действительного радиуса выработки приведенным его значением r_0' по формуле (XV-3).

II. В условиях потока подземных вод применима формула С. К. Абрамова (рис. XV-12)

$$Q' = 1{,}36\,KS_0\left\{\frac{2h_{ср} - S_0}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\frac{B_п B_р}{a(B_п + B_р)}} + \right.$$

$$\left. + \frac{2T}{\lg\frac{a}{2\pi T} + 2{,}73\frac{B_п B_р}{a(B_п + B_р)} + \frac{T}{l - S_0}\left[2\lg\frac{4T}{r_0} - \lg\varphi\left(\frac{l - S_0}{2T}\right)\right] - 0.6}\right\}, \qquad \text{(XV-46)}$$

где $T = H_s - h_s$;

$$h_{ср} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3},$$

$$h_1 = H_1 - T;$$

$$h_2 = H_2 - T;$$

$$h_s = \frac{S_0 + l}{2};$$

функция $\lg\varphi\left(\frac{l - S_0}{2T}\right)$ находится по графику (рис. XV-2).

III. При $B_1 = B_2 = B$ и $H_1 = H_2 = H$, формула (XV-46) приводится к виду

$$Q' = 1{,}36\,KS_0\left\{\frac{l}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 1{,}36\frac{B}{a}} + \right.$$

$$\left. + \frac{2T}{\lg\frac{a}{2{,}5T} + 1{,}36\frac{B}{a} + \frac{T}{l - S_0}\left[2\lg\frac{4T}{r_0} - \lg\varphi\left(\frac{l - S_0}{2T}\right)\right]}\right\}, \qquad \text{(XV-47)}$$

где $T = H - \frac{S_0 + l}{2}$, а остальные обозначения прежние.

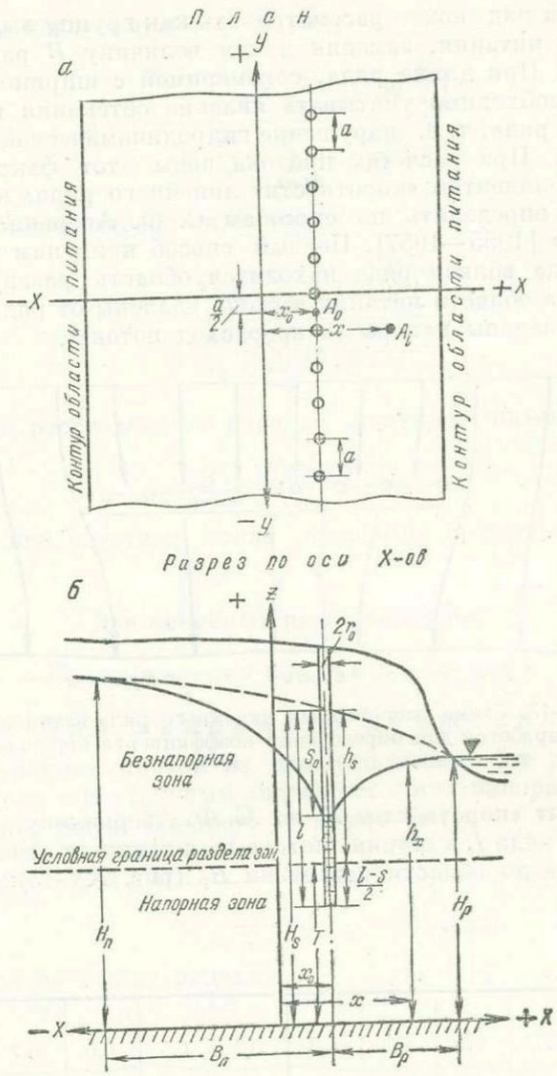


Рис. XV-12. Схема линейного ряда несовершенных взаимодействующих выработок при несимметричном расположении их относительно областей питания и разгрузки.

Для безнапорно-напорного движения

В этих случаях допустимо пользоваться формулой (XV-44) и другими при замене в них члена 2,73 KMS_0 выражением 1,36 K $[(2H - S_0)S_0 - (H - M)^2]$.

Укороченные ряды

Приведенные ранее формулы выведены из условия бесконечно большой протяженности ряда. Для реальных случаев необходимо учитывать длину последнего. Если ряд состоит из небольшого числа выработок и имеет очень небольшое протяжение по сравнению с шириной зоны депрес-

сии B, то такой ряд можно рассматривать как группу выработок с круговым контуром питания, заменяя в нем величину B радиусом влияния (депрессии) R. При длине ряда, соизмеримой с шириной зоны влияния (депрессии), необходимо учитывать явление обтекания подземным потоком выработок ряда, т. е. нарушение гидродинамической сетки, особенно у краев ряда. При расчетах притока воды этот фактор учитывается так наз. коэффициентом «короткости» линейного ряда, который приближенно можно определять по способам С. Ф. Аверьянова [1949] или С. К. Абрамова [1955—1957]. Первый способ применим в большей мере к случаю, когда вблизи ряда находится область разгрузки, а второй способ, — когда области питания и стока удалены от ряда и на границах этих областей заданы напоры (а не расход потока).

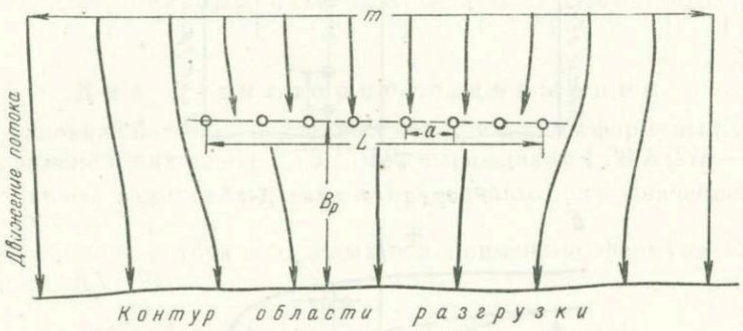


Рис. XV-13. Схема укороченного линейного ряда взаимодействующих выработок для определения коэффициента короткости λ.

Коэффициент «короткости» λ, по С. Ф. Аверьянову, зависит от отношения длины ряда L к ширине потока m, а также от отношения L к расстоянию от ряда до области разгрузки $B_р$ (рис. XV-13); λ находят по табл. XV-4.

Таблица XV-4

$L/B_р$ \ L/m	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	8,00	7,60	6,30	4,22	3,08	2,40	1,96	1,65	1,42	1,25	1,11	1,00
0,10	5,00	4,90	4,60	3,64	2,86	2,31	1,94	1,63	1,41	1,25	1,11	1,00
0,25	2,69	2,69	2,69	2,64	2,35	2,06	1,91	1,58	1,39	1,23	1,11	1,00
0,50	1,90	1,90	1,89	1,87	1,84	1,77	1,63	1,50	1,36	1,22	1,11	1,00
1,00	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,43	1,40	1,37	1,29	1,21	1,10	1,00
2,00	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,22	1,20	1,18	1,16	1,10	1,00
3,00	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,14	1,14	1,10	1,00
4,00	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,10	1,00
5,0	1,09	1,19	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,00
10,0	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,00

Коэффициент «короткости» λ, по С. К. Абрамову, зависит от отношения дебита короткого ряда к дебиту длинного ряда и определяется по формулам:

а) при нечетном числе выработок в ряду

$$\lambda = \frac{\left(2 - \frac{1}{n}\left(\lg \frac{a}{2\pi r_0} + 1{,}36\,\frac{B}{a}\right)\right.}{\lg \frac{B}{r_0} + \sum_{i=1}^{i=n} \lg \frac{B^2}{(ia)^2}}, \qquad \text{(XV-48)}$$

б) при четном числе выработок в ряду

$$\lambda = \frac{2\left(\lg \frac{a}{2\pi r_0} + 1{,}36\,\frac{B}{a}\right)}{\lg \frac{B^2}{ar_0} + \sum_{i=2}^{i=n} \lg \frac{B^2}{i\,(i-1)\,a}}, \qquad \text{(XV-49)}$$

где B — среднее расстояние от ряда до контуров питания и разгрузки

$$B = \frac{B_\text{п} + B_\text{р}}{2},$$

i — от 1 до n, при нечетном числе выработок в ряду и от 2 до n при четном.

Два линейных ряда выработок

Совершенные выработки

Для напорного движения

I. Двухсторонний приток из равноудаленных (от рядов) линейных контуров питания с постоянным значением в них напора H (рис. XV-14). По упрощенной формуле Романова — Абрамова

$$Q' = 2{,}73\,KM\,\frac{S_0}{\lg \frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\,\frac{B}{a} - \lg\left(1 - e^{-\frac{2\pi b}{a}}\right)}, \qquad \text{(XV-50)}$$

где b — расстояние между рядами, *м*.

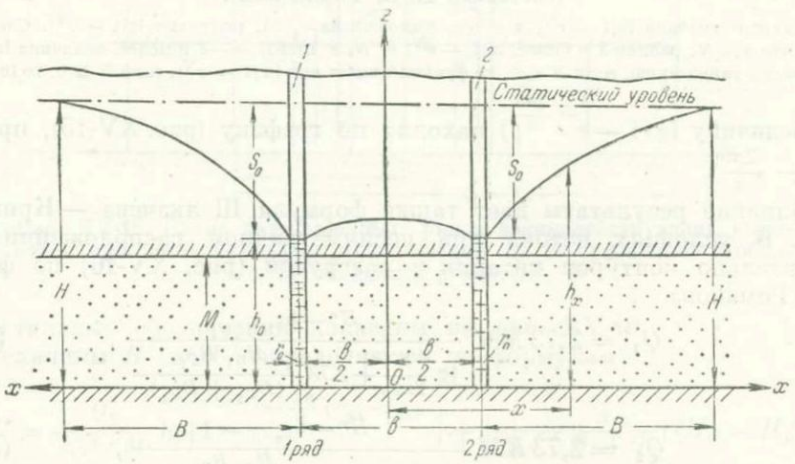


Рис. XV-14. Схема двух рядов взаимодействующих выработок при симметричном расположении их по отношению к областям питания.

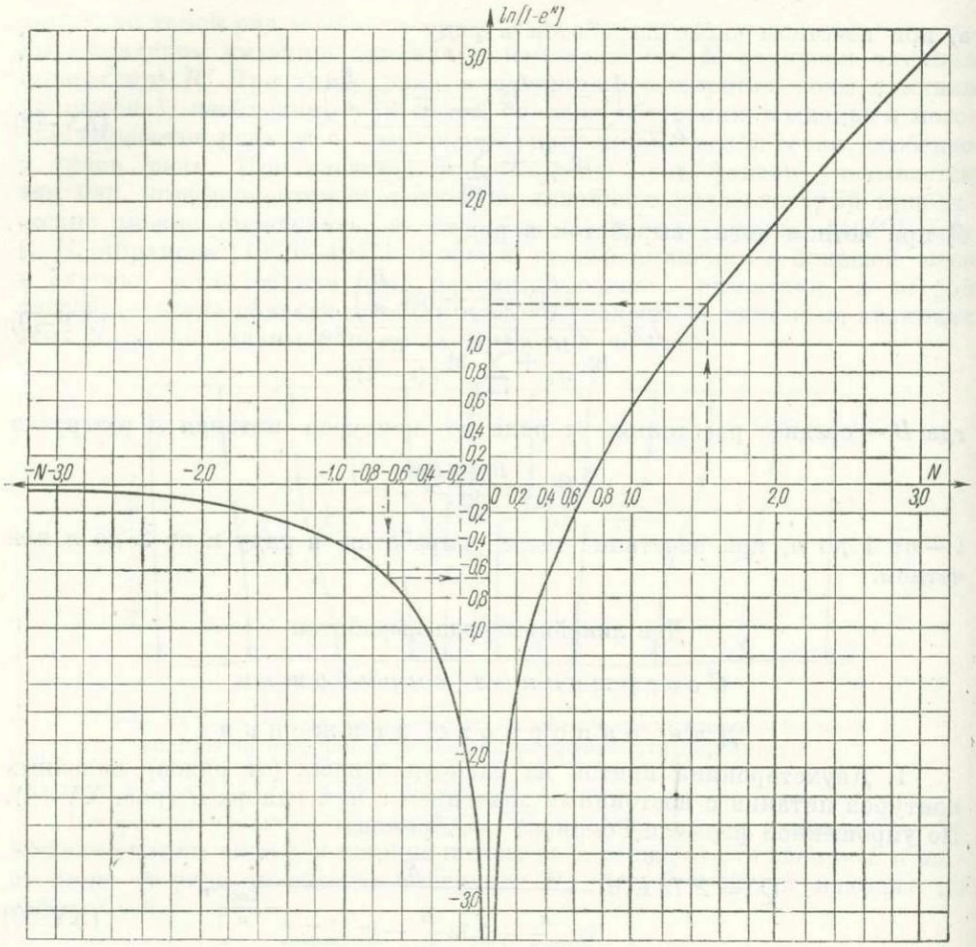


Рис. XV-15. Вспомогательный график для определения логарифма модуля $1 - e^N$ (составлен А. В. Романовым).

По N находят сначала $\ln|1 - e^N|$, а затем, умножая на 0,434, получают $\lg|1 - e^N|$. Следует учитывать, что при N, равном 3 и более, $\ln|1 - e^N| = N$, а при $N = -3$ и менее, величина $\ln|1 - eN|$ практически равна нулю; если $N \leqslant 0$, то функция имеет вид $\ln|1 - e^N|$, если $N \geqslant 0$, то $\ln|e^N - 1|$.

Величину $\lg\left(1 - e^{-\frac{2\pi b}{a}}\right)$ находят по графику (рис. XV-15), принимая $N = -\frac{2\pi b}{a}$.

Близкие результаты дает также формула Щелкачева — Криворота.

I. В условиях потока при несимметричном расположении рядов относительно контуров питания и разгрузки (рис. XV-16) по формуле А. В. Романова

$$Q_1' = 2{,}73\,KM\,\frac{H' - h_{0_1}}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\,\frac{B_{п_1}\,B_{р_1}}{a\,(B_{п_1} + B_{р_1})}}, \qquad \text{(XV-51)}$$

$$Q_2' = 2{,}73\,KM\,\frac{H'' - h_{0_2}}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\,\frac{B_{п_2}\,B_{р_2}}{a\,(B_{п_2} + B_{р_2})}}, \qquad \text{(XV-51')}$$

где Q_1' и Q_2' — дебиты выработок первого и второго рядов;
H' — напор в месте расположения 1-го ряда при действии выработок 2-го ряда;
H'' — напор в месте расположения 2-го ряда при действии выработок 1-го ряда;
h_{01} и h_{02} — напоры в выработках 1 и 2-го рядов при одновременном действии всех выработок;

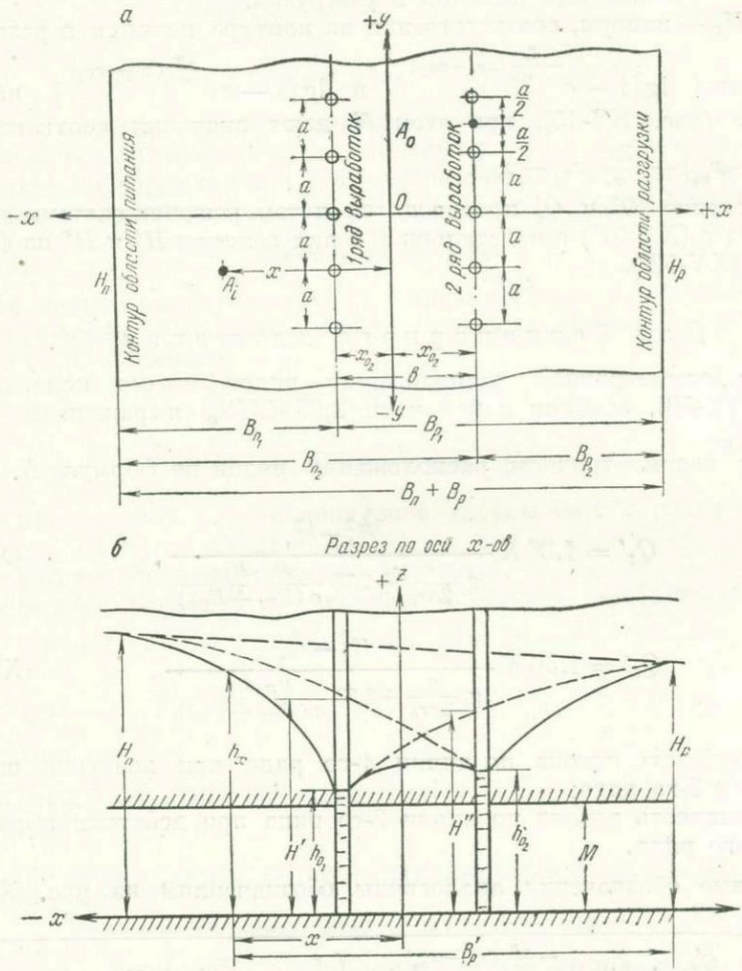


Рис. XV-16. Схема двухлинейных рядов взаимодействующих выработок при несимметричном расположении их по отношению к областям питания и разгрузки.

Остальные обозначения показаны на рис. XV-16.
Величины H' и H'' определяются по формулам

$$H' = \frac{Q_2'}{2{,}73\,KM}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x_{01}-x_{02})}\right] + \left(\frac{1}{2} - \frac{x_{01}}{B_п + B_р}\right)(H_п - H_р) +$$

$$+ H_р - \frac{Q_2' B_{п_2}}{KMa}\left(\frac{1}{2} - \frac{X_{01}}{B_п + B_р}\right), \qquad \text{(XV-52)}$$

$$H'' = \frac{Q_1'}{2{,}73KM}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x_{0_1}-x_{0_2})}\right]\left(\frac{1}{2} - \frac{x_{0_2}}{B_п + B_р}\right)(H_п - H_р) + \\ + H_р - \frac{Q_1' B_{п_1}}{KMa}\left(\frac{1}{2} - \frac{x_{0_2}}{B_п + B_р}\right), \qquad \text{(XV-52')}$$

где x_{0_1} и x_{0_2} — расстояния от 1 и 2-го рядов до средней линии между областями питания и разгрузки;

$H_п$ и $H_р$ — напоры, соответственно на контуре питания и разгрузки.

Величины $\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x_{0_1}-x_{0_2})}\right]$ и $\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x_{0_2}-x_{0_1})}\right]$ находят по графику (рис. XV-15), при этом N дают значения соответственно $-\frac{2\pi}{a}(x_{0_1} - x_{0_2}) - \frac{2\pi}{a}(x_{0_2} - x_{0_1})$.

Определение Q_1' и Q_2' производится путем решения системы уравнений (XV-51) и (XV-51') с подстановкой в них величин H' и H'' из формул (XV-52) и (XV-52').

Для безнапорного движения

I. При симметричном расположении рядов можно использовать формулу (XV-50), заменив в ней член $2{,}73KMS_0$ выражением $1{,}36K(2H - S_0)S_0$.

б) При несимметричном расположении рядов по формуле А. В. Романова

$$Q_1' = 1{,}36K\frac{H_1^2 - h_{0_1}^2}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\frac{B_{п_1}B_{р_1}}{a(B_{п_1} + B_{р_1})}}, \qquad \text{(XV-53)}$$

$$Q_2' = 1{,}36K\frac{H_2^2 - h_{0_2}^2}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\frac{B_{п_2}B_{р_2}}{a(B_{п_2} + B_{р_2})}}, \qquad \text{(XV-53')}$$

где H_1 — мощность потока по линии 1-го ряда при действии выработок 2-го ряда;

H_2 — мощность потока по линии 2-го ряда при действии выработок 1-го ряда.

Остальные обозначения аналогичны обозначениям на рис. XV-16.

$$H_1 = \sqrt{\frac{Q_2'}{1{,}36K}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x_{0_1}-x_{0_2})}\right] + \left(\frac{1}{2} - \frac{x_{0_1}}{B_п + B_р}\right)(H_п^2 - H_р^2) + \\ + H_р^2 - \frac{Q_2' B_{п_2}}{Ka}\left(1 - \frac{2x_{0_1}}{B_п + B_р}\right)}, \qquad \text{(XV-54)}$$

$$H_2 = \sqrt{\frac{Q_1'}{1{,}36K}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x_{0_2}-x_{0_1})}\right] + \left(\frac{1}{2} - \frac{x_{0_2}}{B_п + B_р}\right)(H_п^2 - H_р^2) + \\ + H_р^2 - \frac{Q_1' B_{п_1}}{Ka}\left(1 - \frac{2x_{0_2}}{B_п + B_р}\right)}. \qquad \text{(XV-54')}$$

Q_1' и Q_2' находят путем решения системы уравнений (XV-53) и (XV-53′), подставляя в них значения H_1 и H_2, найденные по формулам (XV-54 и XV-54′)

Для безнапорно-напорного движения

Для безнапорно-напорного движения допустимо пользоваться формулой (XV-50) при замене в ней члена $2{,}73\,KMS_0$ выражением $1{,}36\,K[(2H - S_0)S_0 - (H - M)^2]$.

Несовершенные выработки

Для напорного и безнапорного движения расчет дебита при несовершенных выработках в двухлинейных рядах приближенно можно производить по формулам для совершенных выработок с введением коэффициента несовершенства α, по С. К. Абрамову (формула XV-26).

Укороченные ряды

Коэффициент «короткости» λ для двухлинейных рядов совершенных и несовершенных выработок может быть приближенно определен по формуле С. К. Абрамова

$$\lambda = \frac{\lg \frac{a}{2\pi r_0} + 2{,}73\,\frac{R}{a} - \lg\left(1 - e^{-\frac{2\pi b}{a}}\right)}{n \lg R - (n-1)\lg r - \lg n r_0}, \qquad \text{(XV-55)}$$

где r — приведенный радиус контурной группы из 2-х рядов выработок (см. формулы XV-21 — XV-24);

b — расстояние между рядами выработок;

R — радиус депрессии для контурной группы, приближенно определяемый, по С. К. Абрамову, как $R = \frac{B_п + B_р + b}{2}$; величину $\lg\left(1 - e^{-\frac{2\pi b}{a}}\right)$ находят по графику (рис. XV-15), принимая $N = -\frac{2\pi b}{a}$.

Остальные обозначения прежние.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СНИЖЕННЫХ НАПОРОВ И УРОВНЕЙ

Однолинейные ряды выработок

Определение сниженного напора или уровня по линии, направленной нормально клинейному ряду и проходящей через любую из выработок.

Для напорного движения

I. Для ряда совершенных выработок, расположенных симметрично областям питания, по формуле С. Ф. Аверьянова (рис. XV-10, точка A_1)

$$h_x = H - S_0\left(1 - \frac{x}{B}\right)\alpha. \qquad \text{(XV-56)}$$

II. Для ряда несовершенных выработок по формуле С. Ф. Аверьянова.

$$h_x = H - S_0\left(1 - \frac{x}{B}\right)\alpha\beta. \qquad \text{(XV-57)}$$

III. Для ряда выработок, расположенных не симметрично областям питания (рис. XV-12, точка A_i), по формуле А. В. Романова

$$h_x = \frac{Q'}{2{,}73KM}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x-x_0)}\right] + \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{B_п - B_р}\right)(H_п - H_р) +$$

$$+ H_р - \frac{Q'B_п}{KMa}\left(\frac{1}{2} - \frac{x}{B_п + B_р}\right), \qquad \text{(XV-58)}$$

где h_x — пониженный пьезометрический уровень на расстоянии x от линейного ряда выработок, а в формуле (XV-58) от средней линии, проходящей между областями питания и разгрузки;

H и H_s — непониженный пьезометрический уровень в месте расположения ряда выработок;

α — некоторый коэффициент, равный $\frac{1}{1 + \frac{a}{B}A}$; значение A находят по табл. XV-2 или по графику (рис. XV-11);

β — коэффициент, учитывающий несовершенство выработок в формуле (XV-57), равный $\frac{1}{1 + \frac{M}{B}Б}$, где $Б$ определяется по табл. XV-3; логарифмическая функция в формуле (XV-58) определяется по графику (рис. XV-15), принимая $N = -\frac{2\pi(x - x_0)}{a}$.

Для безнапорного движения

I. При выработках совершенного типа пользуются формулой (XV-56);

II. При выработках несовершенного типа — формулой

$$h_x = H - S_0\left(1 - \frac{x}{B}\right)\alpha\beta', \qquad \text{(XV-59)}$$

где $\beta' = \frac{1}{1 + 1{,}47\lg\frac{2T}{\pi(l - S_0)}}$.

Обозначения см. на рис. XV-12б.

III. Для выработок независимо от совершенства, по формуле А. В. Романова

$$h_x = \sqrt{\frac{Q'}{1{,}36K}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x-x_0)}\right] + \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{B_п + B_р}\right)(H_п^2 - H_р^2) +}$$

$$\overline{+ H_р - \frac{Q'B_п}{Ka}\left(1 - \frac{2x}{B_п + B_р}\right)}. \qquad \text{(XV-60)}$$

Определение сниженного напора или уровня посередине между выработками линейного ряда

Для напорного движения

I. Для ряда совершенных выработок, по формуле С. Ф. Аверьянова

$$h_x = H - S_0(1 - 0{,}22)\frac{a}{B}\,\alpha. \qquad \text{(XV-61)}$$

II. Для ряда несовершенных выработок расчет производится по той же формуле с добавлением к α коэффициента β.

Для безнапорного движения

I. При совершенных выработках пользуются формулой (XV-61);

II. При несовершенных выработках — формулой (XV-61) с добавлением к α коэффициента β'; обозначения α, β и β' те же, что для формул (XV-56, 57 и 59).

III. При расчете депрессионных кривых на концевых участках коротких рядов величину h_x в формулах (XV-56, 57, 59 и 61) необходимо умножать на $\frac{1}{\lambda}$, т. е. на величину, обратную коэффициенту короткости.

Двухлинейные ряды выработок

Для напорного движения

I. Для рядов совершенных выработок, расположенных симметрично областям питания, применяется упрощенная формула Романова — Абрамова.

Для точки A_1

$$h_x = \frac{Q'}{2{,}73\,KM}\left\{\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}\left(x+\frac{b}{2}\right)}\right] + \right.$$

$$\left. + \lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}\left(x-\frac{b}{2}\right)}\right]\right\} - \frac{Q'\left(B+\frac{b}{2}-x\right)}{KMa} + H. \qquad \text{(XV-62)}$$

Обозначения даны на рис. XV-14. Логарифмические функции определяются по графику (рис. XV-15), принимая N равным соответственно $-\frac{2\pi}{a}\left(x+\frac{b}{2}\right)$ и $-\frac{2\pi}{a}\left(x-\frac{b}{2}\right)$.

Для точки A_0

$$h_{x0} = \frac{Q'}{2{,}73\,KM}\left[\lg\left(1 - e^{-\frac{\pi b}{a}}\right) + \lg\left(1 - e^{\frac{\pi b}{a}}\right)\right] - \frac{Q'\left(B+\frac{b}{2}\right)}{KMa} + H. \qquad \text{(XV-63)}$$

Логарифмические функции определяются по графику (рис. XV-15), принимая N равным соответственно $-\frac{\pi b}{a}$ и $\frac{\pi b}{a}$.

II. Для рядов совершенных выработок, расположенных не симметрично областям питания и разгрузки (рис. XV-16), применяется формула А. В. Романова.

Для точки A_i

$$h_x = \frac{Q_1'}{2{,}73\,KM}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x-x_{0_1})}\right] - \frac{Q_1' B_{п_1}}{KMa}\left(\frac{1}{2} - \frac{x}{B_п + B_{р_1}}\right) +$$

$$+ \frac{Q_2'}{2{,}73\,KM}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x-x_{0_2})}\right] - \frac{Q_2' B_{п_2}}{KMa}\left(\frac{1}{2} - \frac{x}{B_{п_2} + B_{0_2}}\right) +$$

$$+ H_р + \frac{H_п - H_р}{B_{п_2} + B_{р_2}} B_р', \qquad \text{(XV-64)}$$

где $B_р'$ — расстояние от контура разгрузки до рассматриваемого сечения.

Остальные обозначения прежние.

Логарифмические функции определяются по графику (рис. XV-15), принимая N равным соответственно $-\frac{2\pi}{a}(x - x_{0_1})$ и $-\frac{2\pi}{a}(x - x_{0_2})$.

Для безнапорного движения

I. Для рядов совершенных выработок при симметричном расположении их относительно областей питания пользуются упрощенной формулой Романова — Абрамова.

Для точки A_i

$$h_x = \sqrt{\frac{Q'}{1{,}36\,K}\left\{\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}\left(x+\frac{b}{2}\right)}\right] + \lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}\left(x-\frac{b}{2}\right)}\right]\right\} - \frac{Q'\left(B + \frac{b}{2} - x\right)}{2Ka} + H^2}. \qquad \text{(XV-65)}$$

Для точки A_0

$$h_{x_0} = \sqrt{\frac{Q'}{1{,}36\,K}\left[\lg\left(1 - e^{-\frac{\pi b}{a}}\right) + \lg\left(1 - e^{\frac{\pi b}{a}}\right)\right] - \frac{Q'\left(B + \frac{b}{2}\right)}{2Ka} + H^2}. \qquad \text{(XV-66)}$$

II. Для рядов совершенных выработок, расположенных не симметрично областям питания и разгрузки, рекомендуется формула А. В. Романова.

Для точки A_i

$$h_x = \sqrt{\frac{Q_1'}{1{,}36\,K}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi(x-x_{0_1})}{a}}\right] - \frac{Q_1' B_{п_1}}{Ka}\left(1 - \frac{2x}{B_{п_1} + B_{р_1}}\right) +$$

$$+ \frac{Q_2'}{1{,}36\,K}\lg\left[1 - e^{-\frac{2\pi}{a}(x-x_{0_2})}\right] - \frac{Q_2' B_{п_2}}{Ka}\left(1 - \frac{2x}{B_{п_2} + B_{р_2}}\right) +$$

$$+ H_р^2 + \frac{H_п^2 - H_р^2}{B_{п_2} + B_{р_2}} B_р'}, \qquad \text{(XV-67)}$$

где $B_р'$ — расстояние от контура разгрузки до рассматриваемого сечения.

Остальные обозначения прежние.

III. Для несовершенных выработок к Q' вводятся соответствующие коэффициенты несовершенства α, согласно формуле (XV-26).

§ 6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫРАБОТОК ПО М. Е. АЛЬТОВСКОМУ

Метод Альтовского основывается на данных опытных откачек и дает приближенное решение задачи главным образом в условиях напорного водоносного горизонта как при совершенных, так и несовершенных выработках[1].

В основе этого метода лежит положение, что дебит взаимодействующих выработок $\Sigma Q'$ равен дебиту невзаимодействующих ΣQ, умноженному на суммарный коэффициент влияния (взаимодействия),

$$\sum Q' = \sum Q\beta_{\Sigma}. \qquad \text{(XV-68)}$$

При этом принимается, что зависимость дебита от понижения для одиночно работающей выработки не меняется при совместном действии всей группы выработок. Каждая выработка при откачке из нее воды создает понижение или так наз. срезку уровня t в остальных выработках (в пределах зоны влияния данной выработки). Величина суммарного понижения уровня взаимодействующих выработок или суммарная срезка уровня (по Альтовскому) равна алгебраической сумме срезок уровня в отдельных выработках, т. е.

$$\sum t = t_1 + t_2 + \ldots + t_n. \qquad \text{(XV-69)}$$

Этот метод чаще всего применяется для расчета взаимодействующих скважин; при этом следует отметить, что получаемые в результате откачек эмпирические коэффициенты пригодны только для опробованных конструкций скважин и что прямое перенесение их на скважины большего диаметра или с большей длиной водоприемной части может привести к некоторому занижению расчетного дебита.

При взаимодействии буровых скважин вид и численное значение параметров, входящих в функцию зависимости дебита от понижения, не меняется, если за новый статический уровень принять тот, который получится в результате влияния откачки воды из других скважин (М. Е. Альтовский, 1947). Следствием этого допущения является то, что удельный дебит скважины не зависит от величины столба воды в ней. Если, например, в скв. 1 во время опытной откачки получен дебит Q_1 и понижение S_1, при этом в скв. 2 произошло снижение уровня (срезка) t_{2-1}, а затем при одиночной откачке из скв. 2 при дебите Q_2 и понижении S_2 произошло снижение уровня в скв. 1 на t_{1-2}, то дебиты этих двух скважин при взаимодействии, т. е. когда обе скважины будут действовать одновременно, могут быть найдены по следующим зависимостям

$$Q_1' = \frac{Q_1}{S_1}(S_1 - t'_{1-2}) \text{ и } Q_2' = \frac{Q_2}{S_2}(S_2 - t'_{2-1}), \qquad \text{(XV-70)}$$

где $t'_{1-2} = \dfrac{S_1 t_{1-2}}{S_1 + t_{1-2}}$ и $t'_{2-1} = \dfrac{S_2 t_{2-1}}{S_2 + t_{2-1}}$

или в общем случае

$$t_1' = \frac{S\sum' t}{S_i + \sum t}$$

t'_{1-2}, t'_{2-1} и t'_i — называют «истинными» срезками.

[1] Метод А. М. Агаджанова аналогичен методу М. Е. Альтовского и почти одновременно с ним опубликован.

При действии целой группы скважин дебит каждой из них определяется по обобщающей зависимости.

$$Q_i' = \frac{Q}{S_i}\left(S_i - \frac{S_i \sum t}{S_i + \sum t}\right) = Q(1 - \alpha_\Sigma) = Q\beta_\Sigma, \qquad \text{(XV-71)}$$

где знак $\sum$ означает суммирование срезок в данной скважине от всех остальных, если бы они работали в одиночку;

α_Σ и β_Σ — суммарные коэффициенты снижения дебита и взаимодействия.

Пример. Определить суммарный дебит шести взаимодействующих скважин, расположенных в линейном ряду на расстоянии 175 *м* одна от другой. Диаметры скважины одинаковы ($r_0 = 0{,}1$ *м*). Во время опытной откачки, когда имелись всего две скважины, получен дебит 17 *л/сек* в скв. 1 при понижении в ней уровня напорного водоносного горизонта на 7 *м* и срезка в скв. 2 —1,05 *м*.

Предположим, что при одиночной откачке из скв. 2 величина срезки в скв. 1, при том же дебите и понижении, будет тоже 1,05 *м*. Тогда можно более просто рассчитать срезки в остальных 4 проектируемых скважинах.

1. Определим сначала радиус влияния при действии одной скважины, исходя из известного уравнения Дюпюи

$$Q_1 = 2{,}73\,KM\frac{S_1}{\lg R - \lg r_0} = 2{,}73\ KM\frac{t_{2-1}}{\lg R - \lg \varrho_{2-1}} =$$

$$= \ldots = 2{,}73\ KM\frac{t_{n-1}}{\lg R - \lg \varrho_{n-1}},$$

откуда

$$\frac{\lg R - \lg r_0}{\lg R - \lg \varrho_{2-1}} = \frac{S_1}{t_{2-1}};\ \lg R = \frac{S_1 \lg \varrho_{2-1} - t_{2-1}\lg r_0}{S_1 - t_{2-1}} =$$

$$= \frac{7\lg 175 - 1{,}05\lg 0{,}1}{7 - 1{,}05} = 2{,}816;$$

тогда $R = 655$ м.

Следовательно, в скважинах 5 и 6, расположенных за пределами радиуса влияния, срезок уровня при откачке из первой скважины уже не будет.

2. Определим срезки t_{3-1} и t_{4-1}.

$$\frac{t_{2-1}}{\lg R - \lg \varrho_{2-1}} = \frac{t_{3-1}}{\lg R - \lg \varrho_{3-1}} = \frac{t_{4-1}}{\lg R - \lg \varrho_{4-1}} = \frac{1{,}05}{\lg 655 - \lg 175} = 1{,}83;$$

откуда

$$t_{3-1} = 1{,}83\lg\frac{655}{350} = 0{,}50\ м \text{ и } t_{4-1} = 1{,}83\lg\frac{655}{525} = 0{,}17\ м;$$

$$t_{5-1} = 0 \text{ и } t_{6-1} = 0.$$

3. Аналогичным способом находим срезки при работе скв. 2 во всех остальных скважинах и т. д. Полученные величины срезок сведем в таблицу и

произведем подсчет суммы срезок Σt, истинной суммарной срезки t'_Σ, коэффициентов снижения дебита α и взаимодействия β и дебита каждой скважины при взаимодействии Q'

Таблица XV-5

Срезки	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
от 1-й	—	1,05	0,50	0,17	0,0	0,0
» 2-й	1,05	—	1,05	0,50	0,17	0,0
» 3-й	0,50	1,05	—	1,05	0,50	0,17
» 4-й	0,17	0,50	1,05	—	1,05	0,50
» 5-й	0,0	0,17	0,50	1,05	—	1,05
» 6-й	0,0	0,0	0,17	0,50	1,05	—
$\sum t$	1,72	2,77	3,27	3,27	2,77	1,72
$t'_\Sigma = \frac{S\sum t}{S+\sum t}$	1,38	1,98	2,23	2,23	1,98	1,38
$\alpha = \frac{t'_\Sigma}{S}$	0,197	0,283	0,319	0.319	0,283	0,197
$\beta = 1 - \alpha$	0,803	0,717	0,681	0,681	0,717	0,803
$Q' = Q\beta$	13,7	12,2	11,6	11,6	12,2	13,7

4. Суммарный дебит всех шести скважин $\Sigma Q' = 75$ *л/сек*. Если бы эти скважины не взаимодействовали, то $\Sigma Q = 102$ *л/сек*. Следовательно, в рассмотренном примере суммарный коэффициент взаимодействия $\beta_\Sigma = \frac{\Sigma Q'}{\Sigma Q} = 0{,}735$. Таким образом, дебит скважин при взаимодействии в среднем на 26,5% меньше дебита при одиночной откачке.

Метод срезок используется и при расчетах водопонизительных установок. Подробно о нем сказано в Методическом руководстве М. Е. Альтовского [1947].

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ «СКАЧКА» В УРОВНЯХ И ВОДОЗАХВАТНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЫРАБОТКИ

1. При гидрогеологических расчетах следует иметь в виду, что величина столба воды h_0 у внешней поверхности водоприемной части выработки и внутри последней не совпадает. Разность между этими величинами Δh при безнапорном движении называют «скачком» уровня, «участком выхода», «величиной высачивания» и т. п. (рис. XV-17).

Для практических расчетов Δh можно использовать следующие эмпирические формулы.

Для совершенных выработок (по С. К. Абрамову)

$$\Delta h = 0{,}01\,\alpha\xi\sqrt{\frac{Q'S_0}{KF}}, \qquad \text{(XV-72)}$$

где S_0 — понижение уровня внутри выработки, *м*;
F — фильтрующая поверхность, равная $2\pi r_0 l'$ *м*^{2};
l' — длина фильтрующей части выработки, м; $l' = l - S_0$;

ξ — эмпирический коэффициент, зависящий от конструкции фильтра: при сетчатом и гравийном фильтрах $\xi = 20$, а при других типах около 7;

α — коэффициент, характеризующий влияние взаимодействия выработок на величину «скачка».

На основании экспериментальных данных установлено, что величина «скачка» при взаимодействии выработок, в частности скважин, значительно меньше по сравнению с одиночными выработками.

Значения коэффициента α могут быть найдены по формулам Ю. Г. Трофименкова [1956]:

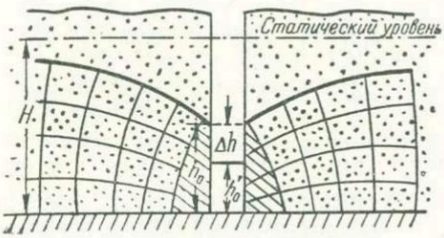


Рис. XV-17. Схема, поясняющая образование «скачка» уровня (участка выхода воды) в выработке при безнапорном движении.

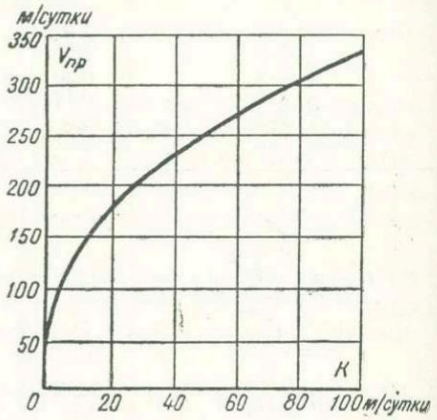


Рис. XV-18. График для определения допустимой (предельной) скорости фильтрации.

а) для контурных групп выработок

$$\alpha_к = \frac{\lg R_i - \lg r_0}{\lg \frac{R}{r_0} + (n-1)\lg \frac{R}{R_i} - \lg n}; \qquad \text{(XV-73)}$$

б) для линейных рядов выработок

$$\alpha_л = \frac{\lg B - \lg r_0}{\lg \frac{2B}{r_0} + 2{,}73\frac{B}{a} - \lg \frac{4\pi B}{a}}; \qquad \text{(XV-74)}$$

где R_i — радиус депрессии (влияния) для одиночно действующей выработки;

R — то же для всей группы выработок;

B — ширина зоны депрессии (влияния) для линейного ряда выработок;

n — число выработок.

Для несовершенных выработок (по Ю. Г. Трофименкову)

$$\Delta h_н = \frac{\Delta h}{1 + \frac{H-l}{l-S_0+\Delta h}\left(1 - \frac{\Delta h}{S_0}\right)}, \qquad \text{(XV-75)}$$

где Δh — величина «скачка» для совершенных выработок, определяемая по формуле (XV-72).

Полученная по формулам (XV-72 и XV-75) величина Δh распределяется пропорционально длине отдельных ветвей депрессионных кривых как в линейных, так и в контурных группах.

Для случая, когда динамический уровень в вертикальной выработке, например при действии забивных и сквозных фильтров, снижен до водоупорного ложа, т. е. когда длина смоченной водоприемной части скважины (фильтра) становится равной величине участка высачивания ($l' = \Delta h$), С. К. Абрамов предложил следующую формулу

$$\Delta h = 0{,}01\, a \sqrt[3]{\frac{\xi^2 Q' S_0}{2\pi r_0 K l'}} = 0{,}0054\, a \sqrt[3]{\frac{\xi^2 Q' S_0}{K l' r_0}}. \qquad \text{(XV-76)}$$

Обозначения те же, что и для формулы (XV-72).

При напорном движении разность уровней между внешней и внутренней частью выработки создается только за счет сопротивления фильтра, но в случае перехода напорного движения вблизи выработки в безнапорное все сказанное ранее остается в силе.

Таким образом, при расчетах депрессионных кривых необходимо пользоваться величиной понижения уровня S_0' с учетом «скачка» ($S_0' = S_0 - \Delta h$), а при расчетах дебитов пользоваться понижением S_0 в самих выработках.

2. Расчетный дебит любой выработки не должен превышать водозахватной способности ее водоприемной части, определяемой по формуле С. К. Абрамова

$$Q_{\text{пр}} = 2\pi r_0 l' V_{\text{пр}} \approx 440\, r_0 l' \sqrt[3]{K}, \qquad \text{(XV-77)}$$

где $Q_{\text{пр}}$ — предельный дебит или водозахватная способность выработки, *м*^{3}/*сутки*;

$V_{\text{пр}}$ — (предельная) допустимая входная скорость фильтрации, в основном для песчаных пород, *м*/*сутки*;

$$V_{\text{пр}} = (60 - 70)\sqrt[3]{K},$$

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

r_0 — радиус водоприемной части выработки (до наружной части фильтра), *м*;

l' — длина водоприемной части выработки, при соответствующем понижении S_0, *м*.

Для облегчения расчета $V_{\text{пр}}$ может служить график (рис. XV-18).

Глава XVI

ПРИТОКИ ВОДЫ К ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ И КОТЛОВАНАМ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ К ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ

Прогноз притока подземных вод к различного рода горным выработкам — довольно сложная задача. При определении водопритока должны учитываться разнообразные, нередко меняющиеся природные факторы и изменения самих выработок в процессе их проходки и разработки месторождения.

Движение подземных вод в зоне влияния горных выработок в большинстве случаев неустановившееся. Практически расчет водопритока производят на некоторый период времени, для которого принимается движение установившееся.

В зависимости от гидрогеологических условий и наличия соответствующих исходных данных, для определения ожидаемого притока воды используют следующие методы: 1) гидрогеологической аналогии; 2) водного баланса; 3) аналитический и 4) экспериментальный. Проверку и сопоставление полученных результатов нередко выполняют различными методами.

Метод гидрогеологической аналогии

В этом методе в качестве сопоставляемых величин, влияющих на водоприток, используют понижение уровней подземных вод, удельные водопритоки, размеры выработок, площади очистных участков или шахтных (рудных) полей, мощности водоносных горизонтов, напоры вод, коэффициенты фильтрации, коэффициенты водообильности действующих шахт и рудников, а также литологический состав водоносных пород месторождения и т. д.

Определение притока воды по величине понижения уровня подземных вод

Определение притока воды по величине понижения уровня подземных вод ведется по следующей формуле

$$Q = Q_1 \frac{S}{S_1}, \qquad \text{(XVI-1)}$$

где Q — ожидаемый приток, *м*³/*час*;

S — проектируемое понижение уровня подземных вод, *м*;

Q_1 — фактический приток к объекту, с которым сопоставляют изучаемый, *м*³/*час*;

S_1 — понижение уровня подземных вод, при котором получен приток Q_1, *м*.

При проходке вертикальных выработок фактический приток, приходящийся на 1 *м* вскрытой части водоносного горизонта, называют удельным притоком. Понятие это близко, но не тождественно понятию удельного дебита скважин. Удельный приток так же, как и удельный дебит скважин, не является постоянной величиной, и при углублении выработки чаще всего изменяется в сторону уменьшения. Поэтому зависимостью (XVI-1) пользуются при сопоставимых глубинах выработок и в основном для напорных вод.

Для безнапорных вод применяется зависимость

$$Q = Q_1 \frac{(2H - S)\,S}{(2H_1 - S_1)\,S_1}, \qquad \text{(XVI-2)}$$

где H и H_1 — мощности водоносного горизонта в изучаемом объекте и в его аналоге. Остальные обозначения прежние.

При определении водопритока к системе горных выработок под величиной S понимают средневзвешенное понижение уровня подземных вод на заданной площади очистных работ (или глубину проектируемой разработки), а под S_1 — фактическое средневзвешенное понижение уровня на разрабатываемом участке.

Учитывая уменьшение водообильности выработок с глубиной, считают, что притоки чаще всего не прямо пропорциональны понижениям уровня воды, а подчиняются зависимости

$$Q = Q_1 \sqrt{\frac{S}{S_1}}. \qquad \text{(XVI-3)}$$

Определение притока по величине понижения уровня воды и размерам выработок

При проходке вертикальных выработок в трещиноватых обводненных породах, например, на месторождениях типа Донецкого бассейна, пользуются следующими зависимостями

$$Q = Q_1 \sqrt[n]{\frac{Sr}{S_1 r_1}}, \qquad \text{(XVI-4)}$$

где r и r_1 — радиусы вертикальных выработок;
n — показатель корня, равный от 1 до 2; величина его устанавливается эмпирическим путем на уже освоенных месторождениях.

В тех же условиях, для всего шахтного или рудного поля применяется следующая формула

$$Q = Q_1 \sqrt[n]{\frac{S}{S_1}\sqrt{\frac{F}{F_1}}}, \qquad \text{(XVI-5)}$$

где F и F_1 — площади сопоставляемых полей, $м^2$;
n — показатель корня, равный от 1 до 2 и более.

Определение притока воды по удельному притоку и размерам выработок

В некоторых горных предприятиях притоки воды возрастают либо пропорционально протяженности проходимых выработок, либо пропорционально площади обнаженного пространства или объема горных выработок. Тогда

$$Q = qL, \tag{XVI-6}$$

где L — длина проектируемых выработок главных направлений;
q — удельный приток — отношение притока воды, поступающего при проходке горизонтальных выработок, к длине последних, $м^3/1$ *пог. м* выработок

$$Q = q_1 F, \tag{XVI-7}$$

где q_1 — средний удельный приток на единицу площади подготовительных или очистных выработок в действующем предприятии, $м^3/час \cdot м^2$;
F — площадь подготовительных или очистных выработок рассматриваемого объекта, $м^2$.

Величину удельного притока выражают иногда в $м^3/час$ на площадь в 1000 $м^2$ или в $л/час \cdot м^2$.

При значительном увеличении площади выработок и соответствующем расширении депрессионной воронки приток воды растет уже не пропорционально этой площади, а более медленно, что выражается зависимостью

$$Q = Q_1 \sqrt[n]{\frac{F}{F_1}} \tag{XVI-8}$$

где n принимается от 2 до 5.

Определение притока воды по сопоставлению коэффициентов фильтрации (K), мощностей (M или H) и напоров (H') водоносных горизонтов на изучаемом и действующем объекте

I. При определении притока ко всему объекту:

а) для напорного водоносного горизонта

$$Q = Q_1 \frac{KMH'}{K_1 M_1 H_1'} \tag{XVI-9}$$

или при наличии нескольких водоносных горизонтов

$$Q = Q_1 \frac{\sum K_i M_i H_i'}{\sum K_{1i} M_{1i} H_{1i}'}. \tag{XVI-10}$$

б) для безнапорного водоносного горизонта

$$Q = Q_1 \frac{K(2H - S)S}{K_1(2H_1 - S_1)S_1}. \tag{XVI-11}$$

При проходке стволов:

а) для напорного горизонта

$$Q = Q_1 \frac{KM\sqrt{H'r_0}}{K_1 M_1 \sqrt{H_1' r_{0_1}}}, \tag{XVI-12}$$

б) для безнапорного горизонта

$$Q = Q_1 \frac{KH\sqrt{Hr_0}}{K_1 H_1 \sqrt{H_1 r_{0_1}}}. \qquad \text{(XVI-13)}$$

Определение притока воды по коэффициенту водообильности

Определение средних притоков по этому способу заключается в том, что коэффициент водообильности, установленный для типичных условий действующих шахт или рудников, распространяют на проектируемое горное предприятие на том же самом или новом месторождении, но аналогичном освоенному.

$$Q = K_в \frac{P}{t}, \qquad \text{(XVI-14)}$$

где Q — ожидаемый приток, $м^3/час$;

$K_в$ — коэффициент водообильности, представляющий отношение количества откачанной воды V $м^3$ к количеству P_1 добытого за тот же срок полезного ископаемого, $т$, иногда $м^3$; $K_в = \frac{V}{P_1}$ $м^3/т$;

P — проектная добыча полезного ископаемого за неделю, месяц или год, $т$;

t — число часов, соответствующих периоду добычи P.

Практика показала, что этот способ применяется для предварительного суждения о степени обводненности будущего горного предприятия, когда других, более конкретных гидрогеологических данных нет или когда месторождение включает несколько водоносных горизонтов, взаимно связанных, и вообще — при сложной тектонике и сложных гидрогеологических условиях.

Значение коэффициента водообильности имеет смысл только для горных предприятий, развивших и поддерживающих свою нормальную добычу. Чаще всего $K_в$ определяют по месячным, сезонным и годовым данным. В зависимости от гидрогеологических условий месторождения и искусственных факторов, — главным образом от производительности горных предприятий, — значения $K_в$ могут колебаться в очень широких пределах, от сотых долей до 100 и более $м^3/т$. На одних и тех же месторождениях коэффициент водообильности при открытой разработке обычно ниже, чем при подземном способе.

В табл. XVI-1 приводятся значения $K_в$ шахт и карьеров для некоторых месторождений и бассейнов СССР.

Определение притока воды по сопоставлению литологического состава и степени нарушенности горных пород

В зависимости от литологического состава, трещиноватости и закарстованности горных пород притоки воды в выработки могут быть различные. Многие гидрогеологические классификации месторождений полезных ископаемых учитывают указанные факторы как первостепенные при характеристике различных типов месторождений. В классификациях Г. Н. Каменского и П. П. Климентова [1954] и С. П. Прохорова [1956] приводятся пределы колебаний водопритоков для того или иного типа месторождения (по обводненности). Следовательно, если рассматривае-

Таблица XVI-1

Бассейны и месторождения	Коэффициенты водообильности		
	максимальные	минимальные	средние
Северо-Уральские бокситовые месторождения	80	~10	—
Кизеловский угольный бассейн	67	1,4	8
Эстонский сланцевый бассейн, по шахтам	44	3	13
по карьеру Вивиконд	30	—	10
Подмосковный буроугольный бассейн, по шахтам	40	0,4	10
Уральские медные рудники	20	1,1	2—6
Кузнецкий угольный бассейн, по шахтам	20	0,7	1,5
Донецкий угольный бассейн, по шахтам	12	0,8	2,8
Челябинский угольный бассейн, по шахтам	3,5	0,6	2—2,5
по углеразрезам	2,2	—	0,4—0,7
Криворожский железорудный бассейн, по шахтам	3	0,8	1,8
Карагандинский угольный бассейн, по шахтам	1,9	0	0,4
по буроугольным разрезам	1,0	0,2	0,6
Черемховский угольный бассейн, по шахтам	1,2	0,3	0,6—0,9
Среднеазиатские угольные месторождения:			
Ангренские шахты	50	0,2	—
Ленгерские »	8	1,0	3
Сулюктинские шахты	11	0,5	—
Кок-Янгакские шахты	1	0,5	—
Богословское буроугольное месторождение на Урале, углеразрезы 1 и 5	—	—	0,4 и 0,7
То же, углеразрезы 2 и 3	7,6	—	1,5 и 1,7
Волчанское буроугольное месторождение, карьеры *1* и *4*	—	—	0,5 и 1,0
Лениногорский полиметаллический рудник на Алтае	13,2	—	—
Экибастузское угольное месторождение, углеразрез 1	—	—	0,2—0,3

мый объект не имеет указанных ранее показателей, то порядок ожидаемого водопритока может быть определен путем отнесения данного месторождения к тому или иному типу в упомянутых классификациях. Для отдельных бассейнов и крупных месторождений существуют частные классификации, которыми можно пользоваться в соответствующих случаях, если рассматриваемый объект принадлежит к данному бассейну или месторождению. Способ этот является наименее надежным.

Метод водного баланса

С помощью этого метода выявляются ресурсы подземных вод, по которым оценивают возможную обводненность горного предприятия в целом или нескольких предприятий (шахт, рудников, карьеров) одновременно. В этом методе пользуются данными об осадках, инфильтрации, испарении, модулях подземного и поверхностного стока, расходах поверхностных водотоков, площадях распространения водоносных горизонтов, режимных наблюдениях и т. п. Поэтому район, в который входит рассматриваемое месторождение, должен быть относительно хорошо изучен в метеорологическом, гидрологическом и в региональном гидрогеологическом отношениях, в то время как на самом шахтном или рудном поле не обяза-

тельно, чтобы были проведены детальные опытные гидрогеологические исследования.

Оценка притоков производится с помощью тех или иных способов в зависимости от конкретных условий и имеющихся исходных данных; чаще всего используют данные по инфильтрации на площади, тяготеющей к месторождению.

Общий вид уравнения водного баланса следующий:

$$F\varphi\Delta h = A_1 + Б_1 + B_1 + Г_1 + Д_1 - (A_2 + Б_2 + B_2 + Г_2 + Д_2). \quad \text{(XVI-15)}$$

Левая часть уравнения представляет собой ресурсы обводняющего водоносного горизонта; в правой части даны приходные и расходные (в скобках) элементы водного баланса, где

F — площадное развитие водоносного горизонта (грунтовых вод) в пределах рассматриваемой территории, $м^2$;

φ — водоотдача или дефицит насыщения, в долях единицы (см. ниже);

Δh — изменение уровня подземных вод на всей территории за рассматриваемый период времени, чаще всего за год, $м$;

A_1 — количество воды, поступившее в водоносный горизонт за счет инфильтрации, инфлюации и конденсации атмосферных осадков, $м^3$; обычно считают, что $A_1 = FO_c\eta$;

O_c — количество атмосферных осадков, $м$ водяного столба;

η — коэффициент подземного стока или коэффициент просачивания в долях единицы;

A_2 — расход грунтовых вод при испарении и транспирации, $м^3$;

$Б_1$ — приток подземных вод из других областей распространения данного водоносного горизонта, $м^3$;

$Б_2$ — отток подземных вод за пределы рассматриваемой территории, $м^3$;

B_1 — приток воды из других водоносных горизонтов или обводненных тектонических нарушений и т. п., $м^3$;

B_2 — отток вод в другие водоносные горизонты и обводненные зоны, $м^3$;

$Г_1$ — питание данного горизонта за счет поверхностных водотоков и водоемов, $м^3$;

$Г_2$ — отдача в поверхностные водотоки и водоемы, $м^3$;

$Д_1$ — количество воды, поступившее в водоносный горизонт за счет искусственных факторов (полив на орошаемых участках, просачивание шахтных или сбросовых вод и т. п.);

$Д_2$ — количество подземных вод, отбираемых для водоснабжения, а также откачка воды из существующих горных предприятий, $м^3$.

Если в правой части уравнения сумма всех элементов водного баланса отрицательна, то происходит понижение уровня подземных вод, что наблюдается, например, в районах интенсивной разработки полезных ископаемых, при этом Δh имеет знак минус, а φ представляет собой водоотдачу $\mu_в$; если сумма в правой части уравнения положительна, то происходит поднятие уровня и $\Delta h > 0$, а φ — дефицит насыщения; при относительно стабильном положении, когда $\Delta h = 0$, левая часть уравнения равна нулю, т. е. ресурсы водоносного горизонта не изменяются.

В конкретных физико-географических и гидрогеологических условиях уравнение (XVI-15) может принимать тот или иной вид; отдельные элементы баланса могут быть невелики или не играть существенной роли, тогда ими пренебрегают.

В наиболее простых случаях уравнение (XVI-15) упрощается и принимает вид

$$Д_2 = A_1 + F\mu_в \Delta h = A_1 + v\mu_в. \qquad \text{(XVI-16)}$$

Пользуясь этим выражением, определяют приток воды в подземные или открытые выработки, при этом первое слагаемое в правой части уравнения обозначает приток за счет динамических запасов, а второе — за счет статических запасов подземных вод. В данном случае

v — объем горных пород, подлежащих дренированию за рассматриваемый период времени, $м^3$;

A_1 — инфильтрация атмосферных осадков (за вычетом потерь на испарение и транспирацию).

После сработки статических запасов нормальный приток будет обусловлен только величиной A_1.

Водопритоки определяются по следующим формулам:

за счет динамических запасов

$$Q_{дин} = \frac{O_c F \eta}{365} \qquad \text{(XVI-17)}$$

за счет статических запасов (по И. А. Скабаллановичу)

$$Q_{ст} = \frac{v_1 \mu_в}{t} + \frac{HPR\mu_в}{3t} = \frac{H\mu_в}{t}(F_1 + 0{,}33PR), \qquad \text{(XVI-18)}$$

где $Q_{дин}$ и $Q_{ст}$ — притоки, $м^3/сутки$;

F — площадь питания водоносного горизонта в пределах влияния водоотливной установки горного предприятия, $м^2$;

v_1 — объем пород, подлежащих дренированию в пределах контура разработки, $м^3$;

H — средняя мощность водоносного горизонта, $м$;

t — время дренирования (осушения), сутки;

F_1 — площадь разработок, $м^2$;

P — периметр контура разработок, $м$;

R — радиус депрессии, считая от контура разработок, $м$.

При отсутствии конкретных данных о коэффициенте подземного стока η значение его может быть приближенно принято равным 30—50% от общего коэффициента стока, определяемого по картам речного стока соответствующих гидрологических районов СССР.

Приток за счет статических запасов несколько более точно может быть определен по формуле Е. Е. Керкиса [1955]

$$Q_{ст} = \frac{\pi\mu_в (H^2 - h_0^2)(R_t^2 - r_0^2)}{4t\xi H (\ln R_t - \ln r_0)} \qquad \text{(XVI-19)}$$

где R_t — радиус депрессии к моменту времени t, считая от центра выработок, $м$;

r_0 — приведенный радиус контура выработок, $м$;

h_0 — сниженный уровень подземных вод на контуре выработок, $м$;

ξ — некоторый коэффициент, зависящий от $\frac{h_0}{H}$ и $\frac{r_0}{R}$, изменяющийся от 0,77 до 1,0.

Остальные обозначения прежние.

Приближенно можно принять

$$Q_{ст} = \frac{\mu_в (H^2 - h_0^2)(R_l^2 - r_0^2)}{2{,}6lH\,(\lg R_l - \lg r_0)} \qquad \text{(XVI-19')}$$

Общий приток составит: $Q = Q_{дин} + Q_{ст}$.

Приток за счет динамических запасов можно определить также по модулю подземного стока

$$Q_{дин} = \alpha F M_0, \qquad \text{(XVI-20)}$$

где Q, $м^3/час$ при $\alpha = 3{,}6$ или в $м^3/сутки$ при $\alpha = 86{,}4$;

F — площадь подземного водосбора, $км^2$;

M_0 — модуль подземного стока, $л/сек \cdot км^2$.

Приближенное значение динамических запасов иногда определяют по материалам гидрогеологической съемки, в результате которой получены средние дебиты источников на рассматриваемой территории. Если месторождение расположено на водоразделе и, связанные с ним водоносные горизонты дренируются в местных понижениях рельефа, то, зная суммарный расход источников, можно по нему оценить возможный водоприток в проектируемое горное предприятие, поскольку впоследствии эти водоносные горизонты будут сдренированы горными выработками, а источники иссякнут.

При определении притоков воды к открытым выработкам (карьерам) существенное значение приобретают также осадки, выпадающие непосредственно на площади разработок, особенно ливневые осадки. Кроме того, к шахтному или карьерному полю могут стекать поверхностные воды с ближайшей водосборной площади и эти воды необходимо отводить от контура разработок.

Величина максимального расхода талых вод может быть определена по формуле Л. Д. Соколовского

$$Q = qF^{0{,}75}\ м^3/сек, \qquad \text{(XVI-21)}$$

где q — величина максимального стока, $м^3/сек$;

F — водосборная площадь, $км^2$.

Величина максимального расхода ливневых вод для малых водосборов может быть определена по формуле НКПС (Энциклопедия Горного дела т. II, 1957).

При использовании метода водного баланса следует учитывать, что соотношение между приходными и расходными частями уравнения (XVI-15), установленное в естественных условиях до начала горных работ, может существенно измениться после строительства горного предприятия. Изменятся прежде всего уклоны подземного потока, могут переместиться подземные водоразделы, естественные области разгрузки могут стать новыми областями питания и т. п. Все эти изменения не всегда удается учесть в количественном отношении.

Метод аналитический

В этом методе используются формулы динамики подземных вод и некоторые эмпирические зависимости, основанные на данных опытных гидрогеологических работ. Чаще всего этим методом пользуются при детальной

разведке, а также при составлении технического проекта осушения и разработки месторождения. В нем еще недостаточно разработаны расчетные схемы для различных случаев, встречающихся в практике; многие формулы не отвечают условиям искусственного, неустановившегося потока, возникающего при подвигании забоя или всего фронта горных работ. Особенностью водопритока к вертикальным или наклонным выработкам является то, что по мере проходки в водоносном горизонте (слое, зоне) поступление воды в выработку все время увеличивается,[1] на некоторый момент достигает максимума, а затем в связи с возведением постоянной водонепроницаемой крепи уменьшается; приток может совсем прекратиться, если проходка осуществляется по подстилающим породам, а водоносный слой полностью уже изолирован. Однако крепь иногда бывает частично водопроницаемой или вода просачивается к забою из-за крепи. Вследствие этого условия притока не соответствуют расчетным схемам для обычных формул. При вскрытии нового (нижележащего) водоносного слоя наблюдается аналогичная картина.

В начальную фазу проходки по водоносному горизонту выработка всегда является гидродинамически несовершенной (по степени вскрытия слоя), оставаясь и в дальнейшем несовершенной как по степени, так и по характеру вскрытия водоносного слоя. И только для случая, когда мощность водоносного горизонта сравнительно невелика и на его интервале еще не установлена постоянная водонепроницаемая крепь, выработка в момент достижения водоупора становится совершенной.

Другой особенностью является то, что по условиям проходки в вертикальных и наклонных выработках уровень воды должен быть всегда снижен до забоя; величина остаточного столба воды в самой выработке ничтожно мала; практически она соответствует слою воды в приямке или зумпфе, куда опущен всасывающий шланг проходческого насоса. Поэтому при расчетах притока в горные выработки величиной остаточного столба воды обычно пренебрегают, что дает некоторое завышение расчетного водопритока. Известно, что при прогнозе водопритоков ориентируются чаще на максимальные их значения, так как эти притоки, даже непродолжительные по времени, обусловливают расчетную производительность проходческих насосов или стационарных водоотливных установок. Вместе с тем надо иметь в виду, что формулы динамики подземных вод предполагают наличие неограниченных и постоянных источников питания. Расчеты по этим формулам в ряде случаев необходимо проверять балансовым методом, поскольку в конечном итоге устойчивый средний приток определяется фактическими условиями питания дренируемого водоносного горизонта, а не только максимальной водопроницаемостью горных пород. Наконец при определении притоков принимают, что движение подземных вод в большинстве случаев сохраняет ламинарный режим и подчиняется закону Дарси. О сохранении этой закономерности не только в грубозернистых, но и трещиноватых и слабо закарстованных породах свидетельствуют работы ряда исследователей, в том числе С. В. Троянского, М. А. Гатальского и других. Поэтому формулы Шези — Краснопольского в общем их виде применимы лишь в очень редких случаях. Возникновение турбулентного режима возможно только в ограниченной зоне, непосредственно примыкающей к горной выработке небольших поперечных размеров, что и должно учитываться расчетными формулами.

[1] Если, конечно, не происходит быстрого истощения запасов водоносного слоя.

Таким образом, расчет водопритока следует осуществлять по фазам — в зависимости от условий проходки и крепления выработок — вначале для стадии вскрытия месторождения (стволы шахт, штольни, разрезные траншеи), затем для развития горизонтальных выработок и, наконец, для системы выработок в период нормальной эксплуатации. В случаях применения специальных осушительных устройств и выработок схемы водопритока значительно усложняются; при одновременной проходке нескольких выработок или совместном дренировании пород горными выработками и осушительными устройствами приходится учитывать взаимодействие выработок и использовать соответствующие формулы главы XV.

Определение притока воды в одиночные вертикальные выработки

Напорный водоносный горизонт

1. При вскрытии забоем шахтного ствола водоносного горизонта первоначально приток может быть значительным, в зависимости от величины напора и водопроницаемости пород. Установившийся приток при понижении уровня до забоя определяется по формулам В. Д. Бабушкина (рис. XVI-1)

$$Q = \frac{4Kr_0S}{1+\frac{r_0}{M}\left(1{,}1+0{,}75\lg\frac{R}{M}\right)}, \qquad \text{(XVI-22)}$$

где Q — приток, *м*³/*час* или *м*³/*сутки*;
K — коэффициент фильтрации, *м*/*час* или *м*/*сутки*;
S — понижение первоначального пьезометрического уровня до кровли водоносного горизонта, *м*;
M — мощность водоносного горизонта, *м*;
R — радиус депрессии, *м*;
r_0 — радиус ствола; при другом, не круглом сечении ствола r_0 обозначает приведенное его значение (см. формулу XV-24).

В случае полусферической формы забоя или основания ствола [1]

$$Q = \frac{6{,}28\,Kr_0S}{1+\frac{r_0}{M}\left(0{,}29+1{,}18\lg\frac{R}{M}\right)}. \qquad \text{(XVI-23)}$$

Если мощность водоносного горизонта значительна (по сравнению с поперечным сечением ствола), то при $\frac{M}{r_0} > 10$ допустимо пользоваться более простыми формулами Ф. Форхгеймера:

$$Q = 4Kr_0S \text{ и } Q = 6{,}28\,Kr_0S.$$

2. При дальнейшей проходке ствола, с углублением его в водоносный горизонт на величину l, причем $l < 0{,}6—0{,}7\,M$, приток можно определять по видоизмененным формулам Дюпюи с соответствующими по-

[1] В действительности это приближенно может соответствовать случаю, когда в середине ствола имеется еще подстволок (зумпф) глубиной r_0, из которого вода откачивается почти до дна.

правками на гидродинамическое несовершенство ствола (по И. Козени, С. К. Абрамову, Ф. Форхгеймеру и др.)

$$Q = 1{,}36\,K \cdot \frac{lS\beta}{\lg R - \lg r_0} \qquad \text{(XVI-24)}$$

или

$$Q = 1{,}36\,K \frac{(S-l)\,\beta + l\beta_1}{\lg R - \lg r_0}\,, \qquad \text{(XVI-25)}$$

где $\beta = 1 + 5\sqrt{\frac{r_0}{l}}\cos\left(\frac{\pi}{2}\frac{l}{M}\right)$ и $\beta_1 = 1 + 5\sqrt{\frac{r_0}{S}}\cos\left(\frac{\pi}{2}\frac{S}{H}\right)$ — по И. Козени

или $\beta = 1 + \sqrt{\frac{260 r_0}{M}}\lg\frac{M}{l}$ и $\beta_1 = 1 + \sqrt{\frac{260 r_0}{H}}\lg\frac{H}{S}$ — по С. К. Абрамову.

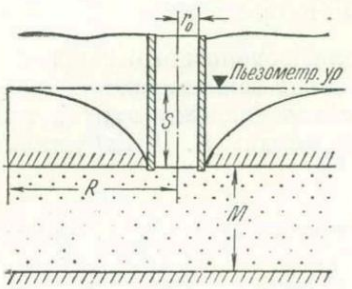


Рис. XVI-1. Схема притока воды в вертикальную выработку при вскрытии напорного водоносного горизонта.

Если крепь водонепроницаема, то

$$Q = 1{,}36\,K \frac{MS}{\lg R - \lg r_0} \times \times \sqrt{\frac{2{,}8\,r_0}{M-l}}\,. \qquad \text{(XVI-26)}$$

Во всех случаях напорное движение воды переходит вблизи выработки в безнапорное; $S = H - M + l$.

3. При вскрытии водоносного горизонта более чем на 0,6—0,7 M допустимо (при водопроницаемой крепи) пользоваться формулой

$$Q = 1{,}36\,K \frac{2M(H-M) + (2M-l)\,l}{\lg R - \lg r_0}\,, \qquad \text{(XVI-27)}$$

а при достижении стволом нижнего водоупора максимальный приток определяется по формуле

$$Q = 1{,}36 KM \frac{2H - M}{\lg R - \lg r_0}\,.^{1} \qquad \text{(XVI-28)}$$

4. Из затопленного ствола, пройденного не на всю мощность водоносного слоя, приток воды при откачке на постоянном динамическом уровне можно определять по формулам М. Маскета [1949], В. С. Козлова [1940], Н. К. Гиринского [1950], П. П. Аргунова [1950] и другим; если же горизонт полностью вскрыт, то — по обычной формуле Дюпюи.

Кроме того, Н. К. Гиринским [1951] предложены формулы для расчета притока в условиях взаимосвязи нескольких напорных горизонтов.

Безнапорный водоносный горизонт

1. В начальной стадии проходки ствола с углублением в водоносный горизонт на $l \leqslant 2r_0$ приток определяется по формулам В. Д. Бабушкина: при плоской форме забоя

$$Q = \frac{4Kr_0 l}{1 + \frac{r_0}{H-l}\left(1{,}1 + 0{,}75\lg\frac{R}{H}\right)}\,; \qquad \text{(XVI-29)}$$

[1] Некоторые исследователи считают, что в числителе формулы (XVI-28) должно быть $2H - 0{,}5\,M$.

при полусферической форме забоя

$$Q = \frac{6{,}28\,Kr_0 l}{1+\frac{r_0}{H-l}\left(0{,}29+1{,}18\lg\frac{R}{H}\right)}. \qquad \text{(XVI-30)}$$

Если $\frac{H-l}{r_0} > 10$, допустимо пользоваться более простыми формулами Ф. Форхгеймера: $Q = 4\,Kr_0 l$ и $Q = 6{,}28\,Kr_0 l$.

2. При дальнейшей проходке по водоносному горизонту, при условии $2r_0 < l < 0{,}5\,H$, применяют формулу Дюпюи с поправкой на «активную зону» несовершенной выработки по Е. А. Замарину, считая, что уровень снижен до забоя

$$Q = \frac{4Kl^2}{\lg R - \lg r_0}. \qquad \text{(XVI-31)}$$

Если крепь непроницаема, то приток будет меньше и в этом случае более применима формула Дюпюи с поправкой Форхгеймера

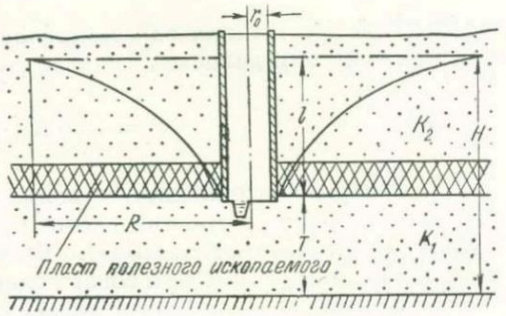


Рис. XVI-2. Схема притока воды в вертикальную выработку, не доведенную до водоупора.

$$Q = 3{,}42\,K\frac{l\sqrt{lr_0}}{\lg R - \lg r_0}. \qquad \text{(XVI-32)}$$

3. При вскрытии водоносного горизонта более чем на половину его мощности приток определяется по формуле

$$Q = 1{,}14\,Kl\frac{2H-l}{\lg R - \lg r_0}\sqrt{\frac{r_0}{H-l}}. \qquad \text{(XVI-33)}$$

Условие ее применимости: $H > l > 0{,}5\,H$ и $2 > \frac{r_0}{H-l} > 0{,}3$.

4. Если ствол остановлен в проницаемом пласте, но вскрыл нижележащие более обводненные породы, и приток будет поступать в основном снизу, через забой (в особенности, если крепь слабопроницаема), то может быть использована следующая формула В. Д. Бабушкина

$$Q = \frac{4K_1 r_0 l}{1+0{,}637\arcsin\frac{r_0}{T+\sqrt{T^2+r_0^2}}+0{,}75\lg\frac{R}{4T}}, \qquad \text{(XVI-34)}$$

где $T = H - l$, причем $T < 4{-}5r_0$ (рис. XVI-2).

Остальные обозначения прежние.

Если крепь легко проницаема для воды, то к притоку, рассчитанному по формуле (XVI-34), необходимо еще добавить боковой приток, определяемый по формуле

$$Q = 1{,}36\,K_2\frac{l^2}{\lg R - \lg r_0}. \qquad \text{(XVI-35)}$$

Величины K_1 и K_2 не должны очень отличаться друг от друга.

5. При вскрытии стволом водоносного горизонта в интервале $H > l \geqslant 5r_0$ пользуются формулой Маскета — Чарного

$$Q = 1{,}36\,K\frac{Hl}{\lg\frac{R}{r_0}+\left(\frac{H}{l}-1\right)\lg\frac{4H}{r_0}-\frac{H}{2l}\lg\varphi\left(\frac{l}{H}\right)}, \qquad \text{(XVI-36)}$$

где $\lg\varphi\left(\frac{l}{M}\right)$ находят по вспомогательному графику (см. рис. XV-2).

6. При достижении забоем ствола водоупора максимальное значение водопритока определяется по формуле Дюпюи

$$Q = 1{,}36\,K\frac{H^2}{\lg R - \lg r_0}. \qquad \text{(XVI-37)}$$

7. В случае затопленного ствола, т. е. при наличии столба воды в выработке во время ее откачки расчет притока можно осуществлять по формулам С. К. Абрамова [1955], Ф. Форхгеймера [1935], П. П. Аргунова [1950] и другим, а при совершенной выработке — по формуле Дюпюи.

Если вертикальная выработка расположена вблизи реки, водоема или крупного тектонического нарушения, обводняющего данный водоносный горизонт, то вместо R в рассмотренных формулах должно стоять 2ϱ, где ϱ — расстояние до указанного контура питания, причем $\varrho < R$.

Наоборот, если выработка расположена вблизи водонепроницаемого линейного контура или близ границы выклинивания водоносного горизонта, то это сказывается на уменьшении водопритока. Для напорного водоносного горизонта такой случай учитывается формулой Н. А. Огильви

$$Q = 2{,}73\,KM\frac{S}{\lg\left[\frac{4(R+\varrho)}{\pi r_0}\operatorname{ctg}\frac{\pi R}{2(R+\varrho)}+1\right]}, \qquad \text{(XVI-38)}$$

где ϱ — расстояние от выработки до водонепроницаемого контура.

В предельном случае, когда ствол закладывается на границе с непроницаемым контуром, расчетная формула приобретает вид

$$Q = 1{,}36\,KM\frac{S}{\lg\frac{4B_к}{\pi r_0}}, \qquad \text{(XVI-39)}$$

где $B_к$ — расстояние от водонепроницаемого контура до области питания.

Эмпирические формулы для напорного и безнапорного водоносного горизонта

Помимо аналитических способов расчета водопритока к вертикальным выработкам пользуются еще эмпирическими и полуэмпирическими формулами. Приведем некоторые из них.

1. Для шахтных стволов на месторождениях типа Донецкого бассейна Г. Г. Малеваный [1955] предложил следующую формулу

$$Q = H^2 n^a e^{-nH}, \qquad \text{(XVI-40)}$$

где H — мощность обводненной зоны трещиноватых пород, *м*;
n и a — некоторые коэффициенты, постоянные для данного района, получаемые путем обработки данных фактических притоков по строящимся шахтам.

Особенностью этой формулы является то, что с глубины примерно 0,75 H расчетный приток не увеличивается, а уменьшается. В действительности это часто имеет место в связи с общей закономерностью уменьшения водопроницаемости горных пород с глубиной [1] и вследствие закрепления пройденной части ствола.

2. Если известны притоки к проходимому стволу при различной его глубине, то можно составить уравнение, связывающее водоприток с понижением

$$S = aQ + bQ^2, \qquad \text{(XVI-41)}$$

где a и b — эмпирические коэффициенты, получаемые по данным не менее двух понижений (см. гл. XIV).

Эта зависимость дает вполне удовлетворительные результаты при определении притока воды на больших понижениях или для ствола, проходимого в аналогичных условиях — как для напорного, так и для безнапорного водоносных горизонтов.

3. Если по данным опытной откачки из скважины, пробуренной вблизи проектируемого ствола, получена зависимость вида (XVI-41), то определение ожидаемого притока в проектируемый ствол может быть осуществлено по следующей формуле

$$Q_{\text{ш}} = Q_{\text{с}} \frac{\lg R - \lg r_{\text{с}}}{\lg R - \lg r_{\text{ш}}}, \qquad \text{(XVI-42)}$$

где $Q_{\text{с}}$ — приток в скважину, который рассчитывают по формуле (XVI-41) для того понижения S, при котором необходимо определить приток в шахтный ствол;
$r_{\text{с}}$ и $r_{\text{ш}}$ — радиусы скважины и шахтного ствола. [2]

4. Для выработок с непроницаемыми и полупроницаемыми стенками имеются еще формулы Коржука [1939], Краснопольского, Тевене и др., но ввиду ограниченных случаев их применения здесь они не приводятся.

Учет турбулентного движения подземных вод

Ниже приводятся формулы притока воды только для напорного водоносного горизонта, в условиях которого поток вблизи выработок может скорее достигнуть критической скорости (для перехода к турбулентному режиму), чем при безнапорном движении.

1. Для случая, когда вертикальной выработкой полностью пересечен водоносный горизонт, Е. Е. Керкисом предложена следующая формула

$$Q = 2{,}73\,KM \frac{S}{\lg R - \lg r_{\text{т}} + 0{,}434\left(\frac{r_{\text{т}}}{r_0} - 1\right)}, \qquad \text{(XVI-43)}$$

[1] Величина H в формуле (XVI-40) может быть порядка 100—300 *м* и более.
[2] В действительности при увеличении диаметра выработки приток растет более значительно, чем это следует из анализа формулы Дюпюи.

где $r_т$ — радиус переходной зоны от ламинарного движения к турбулентному; значение $r_т$ находится способом подбора, из уравнения

$$r_т\left[2{,}3\,(\lg R - \lg r_т) + \frac{r_т}{r_0} - 1\right] = \frac{S}{I_{кр}};$$

$I_{кр}$ — критический градиент для перехода ламинарного движения в турбулентное.

Остальные обозначения прежние.

Более подробно о нахождении $I_{кр}$ и $r_т$ изложено в работе Е. Е. Керкиса [1955], где рассмотрены также случаи для безнапорного движения.

2. Для случая, когда выработкой только вскрыт водоносный горизонт, причем $\frac{M}{r_0} > 10$ (по Н. Г. Паукеру).

$$Q = \frac{6\pi KS}{\frac{r_т^2}{r_0^3} + \frac{2}{r_т} - \frac{3}{R}}. \qquad \text{(XVI-44)}$$

Если зона турбулентного движения весьма мала, т. е. $r_т \approx r_0$, то выражение (XVI-44) обращается в приведенную ранее формулу Форхгеймера

$$Q = 2\pi K r_0 S;$$

если же зону турбулентного движения распространить на всю депрессионную воронку (случай весьма редкий), т. е. $r_т \simeq R$, то выражение (XVI-44) переходит в формулу Краснопольского

$$Q = 2\pi K_т \sqrt{\frac{S}{\frac{1}{r_0^3} - \frac{1}{R^3}}} \approx 11\,K_т r_0 \sqrt{r_0 S}\,.$$

В этой формуле $K_т$ — коэффициент фильтрации при турбулентном движении, который связан с коэффициентом фильтрации при ламинарном движении соотношением $K_т = K\sqrt{I_{кр}}$.

3. При частичном вскрытии выработкой водоносного горизонта с ограниченной зоной турбулентного движения формула притока более сложная, и приток может быть определен только приближенно. Этот случай в частности рассмотрен в работе Н. Г. Паукера [1958].

Учет наклона водоупора, поверхности подземного потока и отклонения горной выработки от вертикального положения

1. В случае наклона водоупора до 20° и при уклоне подземного потока до 0,3 расчет притока воды с допустимой для практики точностью можно определять по формулам для горизонтальной (свободной или пьезометрической) поверхности подземных вод с горизонтальным водоупором.

2. В случае наклонных горных выработок, расположенных под углом α, но не менее 18—20°, в однородных породах по водопроницаемости расчет притока воды допустимо производить по формулам для вертикальных выработок; при этом приведенный радиус определять по формуле

$$r_0 = 0{,}565\sqrt{\frac{F_1}{\sin\alpha}},$$

где F_1 — сечение наклонной выработки при ее проходке, $м^2$.

Определение притока воды в одиночные горизонтальные подземные выработки

К горизонтальным подземным выработкам значительного протяжения подземные воды поступают в форме так называемого плоско-параллельного потока. Поэтому приток к подземным выработкам рассчитывают на единицу длины или на все их протяжение, считая, что подток воды осуществляется из областей питания, имеющих линейные очертания или близкие к ним.

Если подземные выработки ориентированы под некоторым углом к направлению существующего подземного потока или к близко расположенному контуру питания, то вводят соответствующие поправки, аналогично расчету линейных рядов взаимодействующих вертикальных выработок (см. гл. XV).

Для ограниченных по протяжению подземных выработок вводят поправочный коэффициент «короткости» по Аверьянову (см. табл. XV-4). При малой длине выработок расчет притока можно свести к расчету вертикальных выработок, используя приведенное значение радиуса выработки по формулам (XV-21, 22 или 24).

Питание может осуществляться не только за счет бокового подтока, но и за счет просачивания воды снизу в пределах установившейся депрессионной поверхности.

Ниже приводятся расчеты притока воды для более простых случаев.

Напорный водоносный горизонт

I. Подземная горизонтальная выработка пройдена вблизи нижнего водоупора; двухсторонний приток определяется по формуле Дюпюи

$$Q = \frac{KML(2H_s - M)}{2}\left(\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2}\right), \qquad \text{(XVI-45)}$$

где B_1 — ширина зоны депрессии в направлении области питания, *м*;
B_2 — ширина зоны депрессии в направлении области разгрузки, *м*;
L — длина горизонтальной выработки, *м*.

II. Подземная горизонтальная выработка пройдена на расстоянии l от верхнего водоупора (рис. XVI-3).

По формуле С. К. Абрамова

$$Q = \frac{KL}{2}\left[\frac{(2S - l)(B_1 + B_2)\,l}{B_1 B_2} + \frac{2{,}73\,S}{\lg\dfrac{2\,(M-l)}{\pi b} + \dfrac{1{,}36 B_1 B_2}{(M-l)(B_1+B_2)}}\right], \qquad \text{(XVI-46)}$$

где b — ширина выработки.

3) Если $B_1 = B_2$ и $\dfrac{M-l}{M} < 0{,}5$, то с допустимой погрешностью можно пользоваться более простой формулой

$$Q = \frac{KL\,[2M(H-M) + l(2M-l)]}{B}. \qquad \text{(XVI-47)}$$

При одностороннем притоке величина Q в 2 раза меньше.

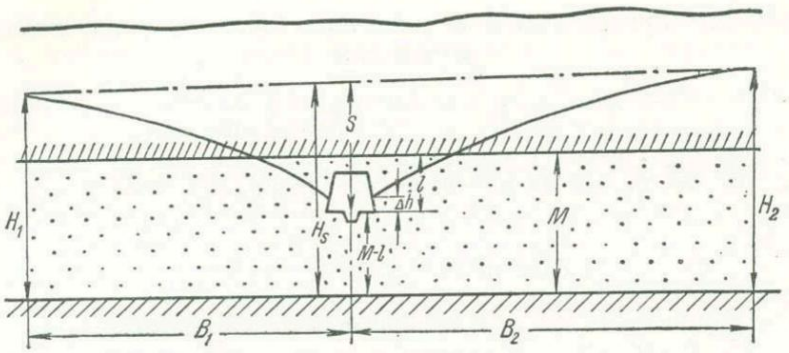


Рис. XVI-3. Схема притока воды к горизонтальной выработке, пройденной выше подошвы напорного горизонта.

Безнапорный водоносный горизонт

I. Подземная горизонтальная выработка пройдена вблизи водоупора; двухсторонний приток определяется по формуле Дюпюи

$$Q = \frac{KLH^2}{2}\left(\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2}\right). \qquad \text{(XVI-48)}$$

II. Подземная выработка пройдена на слабонаклонном (под углом α) водоупоре; приток односторонний.

При $h_0 = 0$

$$Q = \frac{KLh_1}{2}\left(\frac{h_1}{B_1} \pm i\right), \qquad \text{(XVI-49)}$$

где h_1 — мощность водоносного горизонта на контуре питания или на расстоянии B_1 от выработки;

B_1 — расстояние до контура питания или до границы, где измерена мощность h_1;

i — уклон водоупора; $i = \sin\alpha$, знак плюс при прямом уклоне, а знак минус при обратном.

III. Подземная выработка пройдена выше горизонтального водоупора (рис. XVI-4) (гидродинамически несовершенная). Приток определяется по формуле Романова — Абрамова

$$Q = \frac{KLS}{2}\left[\frac{(B_1+B_2)S}{B_1B_2} + \frac{1{,}36}{\lg\dfrac{2(H-S)}{\pi b} + 1{,}36\dfrac{B_1B_2}{(H-S)(B_1+B_2)}}\right]. \qquad \text{(XVI-50)}$$

Приток к «несовершенной» выработке может быть определен также по методу Р. Я. Чугаева с использованием соответствующих графиков, а при наклонном водоупоре — по методу С. Н. Нумерова.

IV. Односторонний приток к «несовершенной» выработке, пройденной параллельно поверхностному водотоку (рис. XVI-5), определяют с некоторым завышением по следующей простой формуле

$$Q = \frac{KL(H^2 - h_1^2)}{2B}. \qquad \text{(XVI-51)}$$

V. При питании за счет инфильтрации двухсторонний приток к горизонтальной выработке определяется по формуле

$$Q = 2HL\sqrt{Kw}, \qquad \text{(XVI-52)}$$

где w — коэффициент инфильтрации, *м/сутки*, определяемый исходя из общегодового или сезонного количества просачивающихся атмосферных осадков.

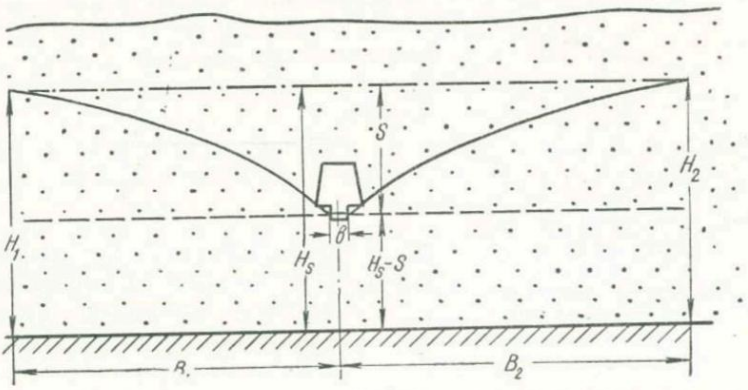


Рис. XVI-4. Схема притока воды к горизонтальной выработке, пройденной выше подошвы безнапорного горизонта.

VI. При выводе формулы (XVI-52) предполагалось, что ширина зоны депрессии B_w не изменяется во времени, является установившейся, поскольку просачивающиеся атмосферные осадки компенсируют приток воды в выработку

$$B_w = \sqrt{\frac{K}{w}(H^2 - h_0^2)} \approx H\sqrt{\frac{K}{w}}. \qquad \text{(XVI-53)}$$

Если же происходит сработка статических запасов, то величина B с течением времени увеличивается и определяется по формуле К. Э. Лембке

$$B_t = 0{,}71\,H\sqrt{\frac{K}{w}\left(1 - e^{-\frac{6w}{\mu_в H}t}\right)}, \qquad \text{(XVI-54)}$$

где $\mu_в$ — водоотдача в долях единицы;
t — время, считая от начала дренирующего действия выработки, сутки.

Если инфильтрация отсутствует, то К. Э. Лембке рекомендует другую формулу для неустановившейся ширины зоны депрессии

$$B_t = 1{,}73\sqrt{\frac{KH}{\mu_в}t}. \qquad \text{(XVI-55)}$$

Когда питание осуществляется за счет инфильтрации или при сработке статических запасов, в формулах (XVI-48, 49 и 50) вместо B следует подставлять $0{,}5\,B_w$ или B_t.

Для напорного водоносного горизонта при наличии просачивания воды через относительные водоупоры величина B_w может быть ориентировочно подсчитана по формуле

$$B_w = \sqrt{\frac{KM}{w}(2H - M)}\,. \qquad \text{(XVI-56)}$$

VII. Если одновременно действуют две параллельные горизонтальные подземные выработки, заложенные на водоупоре, и происходит сработка статических запасов, то двухсторонний приток к каждой из выработок на момент времени t может быть определен по формуле

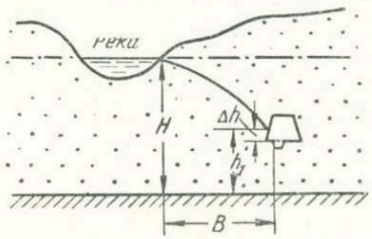


Рис. XVI-5. Схема притока к «несовершенной» горизонтальной выработке вблизи поверхностного водотока.

$$Q = \frac{2KH_0^2L}{a\left(0{,}68 + 1{,}27\frac{KH_0}{\mu_B a^2}\right)^2} \qquad \text{(XVI-57)}$$

где a — расстояние между выработками;
H_0 — первоначальная мощность водоносного горизонта (от подошвы выработок до статического уровня).

Остальные обозначения прежние.

VIII. Высота высачивания в горизонтальной выработке как для напорного, так и для безнапорного горизонта определяется по формуле В. В. Ведерникова

$$\Delta h = 0{,}44\frac{Q}{KL}\,, \qquad \text{(XVI-58)}$$

где Q — приток к одной из сторон выработки.

Определение притока воды в систему подземных горных выработок

При проходке околоствольных выработок, камер, водосборников, штреков главных направлений и прочих капитальных выработок образуется разветвленная система подземных сооружений, приток к которым уже не может быть рассчитан по отдельным вертикальным и горизонтальным элементам этой системы. Вода поступает в основном с периферии, от действующих забоев, но наряду с этим обводнение может происходить и со стороны кровли и подошвы пройденных выработок во внутренней части рассматриваемого участка. В связи с этим приток определяют не к отдельным выработкам, а ко всему контуру капитальных, подготовительных, а затем и очистных выработок или ко всему шахтному (рудному) полю в целом. В результате водоотлива вокруг контура выработок формируется воронкообразная депрессионная поверхность, изображаемая на планах и картах в виде изолиний (гидроизогипс или гидроизопьез).

Наиболее общим приемом подсчета притока воды к системе горных выработок является способ так называемого «большого колодца», предложенный С. В. Троянским. Суть этого способа заключается в том, что общий приток определяют по формулам для вертикальной выработки, радиус которой соответствует приведенному радиусу контура всей си-

стемы выработок или радиусу круга равновеликой площади, оконтуренной ближайшей гидроизогипсой (или гидроизопьезой); под понижением S в расчетной формуле понимают разность отметок между статическим и динамическим уровнем (последний получают у внешнего контура выработок) или разность между отметкой непониженного (статического) уровня и отметкой ближайшей гидроизогипсы (или гидроизопьезы). Если депрессионная воронка неправильной формы, резко асимметричная по отношению к контуру выработок, что обусловливается неодинаковой водопроницаемостью пород, различными условиями питания (близость реки, озера, крупной водоносной трещины, карстового нарушения и т. п.), то водоприток определяют не сразу для всего «большого колодца», а по частям. Для этого весь радиальный поток, в зависимости от особенностей его конфигурации, делят на участки-секторы (рис. XVI-6), в пределах которых выделяют соответствующие элементы потока — мощность и ширину в верхнем и нижнем сечении, расстояние между сечениями, а также усредненный коэффициент фильтрации для пород в данном секторе. За нижнее сечение принимают один из участков по гидроизогипсе, оконтуривающей «большой колодец», а за верхнее сечение берут любую гидроизогипсу в зависимости от удобства расчета. Приток определяют по формуле Г. Н. Каменского

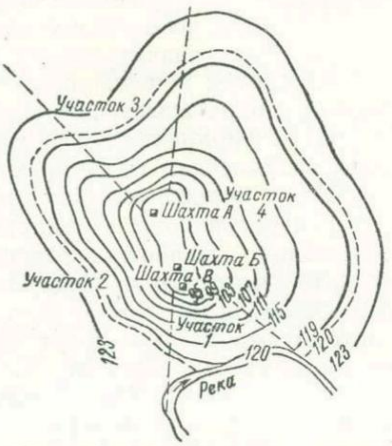


Рис. XVI-6. Схема к расчету притока воды по способу «большого колодца».

$$Q_i = \frac{K(b_1 - b_2)(h_1^2 - h_2^2)}{4{,}6\,\varrho\,(\lg b_1 - \lg b_2)}, \qquad \text{(XVI-59)}$$

где Q_i — приток к одному из участков-секторов, *м*³/*час* или *м*³/*сутки*;
K — среднее для участка значение коэффициента фильтрации, *м*/*час* или *м*/*сутки*;
h_1 и b_1 — мощность и ширина потока у дальней (от выработок) гидроизогипсы, *м*;
h_2 и b_2 — мощность и ширина потока у ближней (от выработок) гидроизогипсы, *м*;
ϱ — среднее расстояние между гидроизогипсами, *м*.

На отдельных прямолинейных участках, когда $b_1 = b_2$, приток может быть подсчитан по формуле для плоского потока

$$Q = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2\varrho}. \qquad \text{(XVI-60)}$$

Существует также расчет притока воды при асимметричной воронке, предложенный П. П. Климентовым [1954].

Для выбора расчетной схемы в том или ином частном случае большое значение имеет система разработки и способ управления кровлей. Если очистные работы проводятся с обрушением кровли, то в сферу шахтного водоотлива могут быть вовлечены вышележащие водоносные горизонты и в некоторых случаях поверхностные воды, что должно быть учтено соответствующей расчетной схемой. В работе М. В. Сыроватко [Н. И. Плот-

ников, М. В. Сыроватко, Д. И. Щеголев, 1957] приведены расчетные схемы для следующих случаев.

1. Приток напорных вод к очистному участку при системе разработки без обрушения пород кровли:

а) для небольшой площади очистных работ;

б) для значительной площади очистных работ.

2. Приток безнапорных вод из покровных отложений при системе разработки с обрушением пород кровли:

а) к небольшому по площади очистному участку;

б) к значительному по площади очистному участку.

3. Приток к небольшому по площади участку выработок, непосредственно подрабатывающих безнапорный водоносный горизонт.

Н. К. Гиринский [1951] предложил схемы расчета водопритока в условиях взаимосвязи подземных вод пяти-семи водоносных пластов.

Ниже приводятся более простые случаи расчета притока воды.

I. Приток воды из напорного горизонта к системе подземных горизонтальных выработок, расположенных на водоупорных породах, определяется по формуле (XVI-28), но знаменатель в последней заменяется величиной $\lg (R + r) - \lg r$, так как размеры приведенного радиуса системы выработок r могут быть значительными и соизмеримыми с величиной радиуса депрессии R.

II. Приток воды из безнапорного горизонта к системе подземных выработок, расположенных на водоупорных породах, определяется по формуле (XVI-37) с такой же заменой знаменателя, что и для формулы (XVI-28).

III. Приток воды из безнапорного горизонта к системе подземных выработок, пройденных выше водоупорного ложа (выработки гидродинамически несовершенного типа), может быть определен по формулам (XVI-31 и XVI-33) с заменой знаменателя, как для формулы (XVI-28), а также по способу М. В. Сыроватко (см. ниже).

IV. Приток воды к системе подземных горных выработок при питании водоносных пород за счет инфильтрации атмосферных осадков в пределах депрессионной воронки

$$Q = \pi w R_w^2, \qquad \text{(XVI-61)}$$

где R_w — радиус питания, рассчитанный по инфильтрации и измеряемый от центра участка (гл. XII);

w — коэффициент инфильтрации, определяемый по среднегодовому количеству осадков или за весенний период снеготаяния, *м/сутки*.

V. Приток воды к системе подземных горных выработок при боковом питании за счет фильтрации воды из поверхностного водоема или водотока

$$Q = 1{,}36\, K \frac{H^2}{\lg (2\varrho - r) - \lg r}, \qquad \text{(XVI-62)}$$

где ϱ — расстояние от центра разработки до уреза воды в реке или водоеме, $\varrho < R$.

Если питание происходит одновременно за счет инфильтрации сверху и фильтрации из реки, то в знаменателе этой формулы должно быть $\lg R_{ср} - \lg r$.

где

$$R_{ср} = \frac{0{,}6\, R_w\,(2\varrho - r)}{0{,}6\, R_w + 2\varrho - r}$$

(по Е. Е. Керкису).

VI. Приток воды к системе горизонтальных подземных выработок при неоднородном строении напорного водоносного горизонта (рис. XVI-7) определяется по формуле Г. Н. Гиринского

$$Q = 2{,}73\,\frac{\Phi_н - \Phi_0}{\lg R - \lg r}\,, \qquad \text{(XVI-63)}$$

где Φ — потенциальная функция для неоднородной слоистой толщи;

$\Phi_н = \sum K_i M_i\,(H - z_i)$ — для естественного положения уровня подземных вод;

K_i — коэффициент фильтрации i-го слоя;

M_i — мощность i-го слоя;

H — первоначальный напор;

z_i — расстояние от водоупора до середины i-го слоя;

$\Phi_0 = \sum K_i M_i (h_0 - z_i)$ — для динамического уровня во время водоотлива.

Если выработки расположены на нижнем водоупоре, то $\Phi_0 \approx 0$.

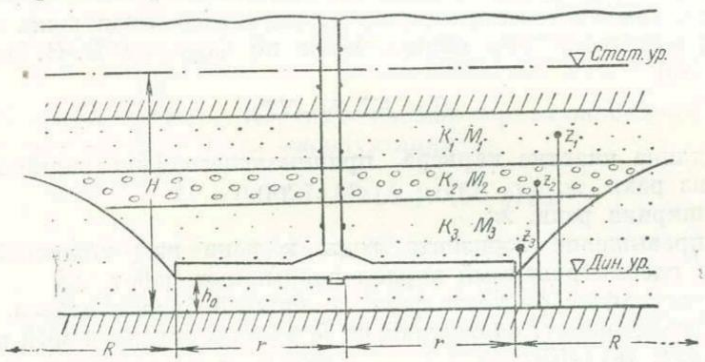


Рис. XVI-7. Схема притока воды к системе горизонтальных выработок при неоднородном строении напорного водоносного горизонта.

Определение притока воды к открытым горным выработкам

Методика определения притока воды к открытым горным выработкам существенно не отличается от способов расчета, рассмотренных для системы подземных выработок. Здесь также применяется способ «большого колодца» с приведенным радиусом карьера при радиальном потоке и формулы для плоского фильтрационного потока при удлиненной форме открытой выработки (вскрышные и разрезные траншеи, въездные выработки и т. п.). Вместе с тем есть и некоторые отличия, связанные со спецификой открытой разработки месторождения. Часто разграничивают определение притока из вскрышных пород и из продуктивных отложений или самого полезного ископаемого. В зависимости от этапа развития горных работ выработки в гидродинамическом отношении действуют как несовершенные и совершенные. При непрерывном подвигании фронта горных работ участки выхода (высачивания) вод в рабочем борту карьера

непрерывно перемещаются вместе с вскрышными и добычными уступами. Существенное значение здесь приобретает подсчет ливневых осадков, выпадающих непосредственно на территории карьера, а также на отвалах и на ближайшей водосборной площади.

I. Приток во въездную или разрезную траншею при фильтрации воды из расположенных вблизи реки или канала и поступлении подземного потока с нагорной стороны определяется по формуле (рис. XVI-8)

$$Q = \frac{KL}{2}\left(\frac{H_{\text{р}}^2 - h_0^2}{B_{\text{р}}} - \frac{H_{\text{п}}^2 - h_{\text{о}}^2}{B_{\text{п}}}\right) \qquad \text{(XVI-64)}$$

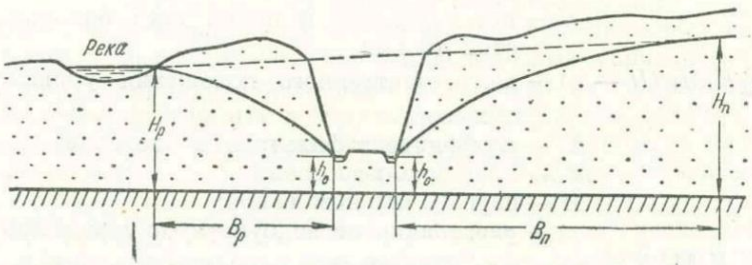


Рис. XVI-8. Схема притока воды к разрезной траншее.

II. Приток воды в карьер, расположенный вблизи реки, в процессе вскрытия месторождения определяется по формуле В. В. Ведерникова (рис. XVI-9)

$$Q = KL(b - NT), \qquad \text{(XVI-65)}$$

где L — длина участка карьера, принимающего фильтрационный поток из реки, *м*;

b — ширина реки, *м*;

T — превышение горизонта воды в реке над подошвой карьера в рассматриваемый период вскрышных работ, *м*;

l — расстояние от уреза реки до нижней бровки откоса, *м*;

N — коэффициент, зависящий от b, T и l и определяемый по графику (рис. XVI-10).

Для $\frac{a}{T} < 1{,}2$ график дан в бóльшем масштабе (рис. 10б).

Формула применима при $T \leqslant 0{,}25\ H$.

III. Приток воды из аллювиальных отложений в береговую или контурную дрену карьера при наклонном водоупоре (рис. XVI-11) определяется по формуле

$$Q = KL\frac{h + h_0}{2}\frac{H_1 - H_2}{l}. \qquad \text{(XVI-66)}$$

IV. Приток воды в карьер за счет статических и динамических запасов при горизонтальном залегании водоупоров в период вскрытия и эксплуатации месторождения (формулы Ю. Г. Невельштейна).

Напорный водоносный горизонт (рис. XVI-12а)

1. Приток за счет статических запасов при проходке разрезной траншеи

$$Q = M\varrho\left|\frac{Lb}{\varrho} + 0{,}66\,(L + b) + \frac{0{,}34\varrho}{\lg\varrho}\right|\frac{\mu_{\text{в}}}{t}, \qquad \text{(XVI-67)}$$

где Q — средний приток воды, *м³/сутки*;
L — длина фронта карьера, *м*;
b — ширина разрезной траншеи, *м*;
$\mu_в$ — водоотдача пород, в долях единицы;
t — продолжительность строительства траншеи, сутки;
ϱ — расстояние от борта траншеи до границы перехода напорного движения в безнапорное, *м*, $\varrho = \frac{BM}{2H - M}$;
B — ширина зоны депрессии, *м*;
H — напор до начала строительства, *м*.

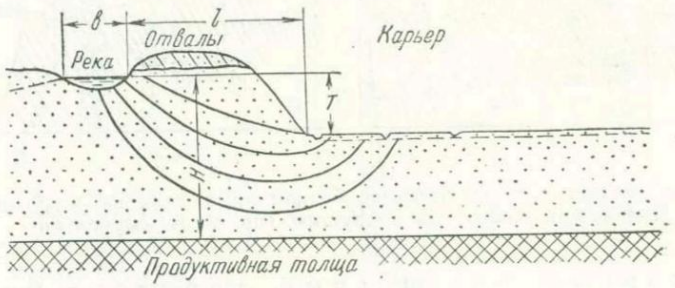


Рис. XVI-9. Схема притока воды в карьер в процессе вскрытия месторождения при наличии вблизи водотока.

2. Приток за счет статических запасов в период окончания строительства и в последующие годы эксплуатации

$$Q = 0{,}00274Ma\,(L + 0{,}66\,\varrho)\,\mu_в. \qquad \text{(XVI-68)}$$

где a — годовое подвигание фронта карьера, *м*.

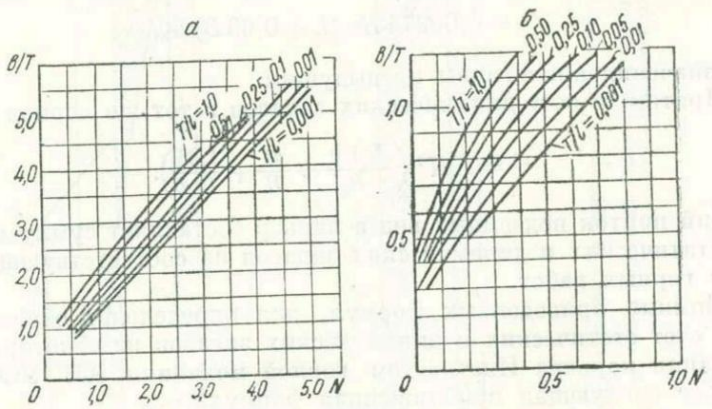


Рис. XVI-10. График для определения коэффициента N (по В. В. Ведерникову).

Остальные обозначения прежние.

3. Приток за счет динамических запасов в тот же период

$$Q = KM\,(2H - M)\left(\frac{L+b}{B} + \frac{at}{B} + \frac{1{,}36}{\lg B}\right), \qquad \text{(XVI-69)}$$

где t — расчетный год эксплуатации с момента окончания строительства (в период сдачи карьера в эксплуатацию $t = 0$).

При слабо проницаемых породах вскрыши выражение $\frac{1,36}{\lg B}$ может быть приравнено нулю.

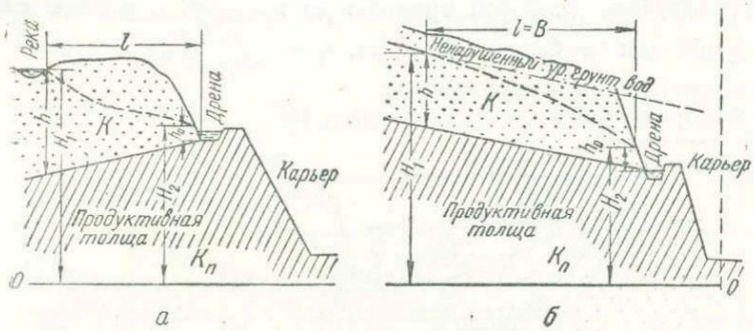


Рис. XVI-11. Схема притока безнапорных вод из вскрышных пород при наклонном водоупоре (по М. В. Сыроватко).

Безнапорный водоносный горизонт (рис. XVI-12б)

1. Приток за счет статических запасов при проходке разрезной траншеи

$$Q = HB\left[\frac{Lb}{B} + 0,66\,(L+b) + \frac{0,34}{\lg B}\right]\frac{\mu_в}{t}, \qquad \text{(XVI-70)}$$

где H — средняя мощность водоносного горизонта, *м*.

2. Приток за счет статических запасов в период окончания строительства и в последующие годы эксплуатации

$$Q = 0,00274\,Ha\,(L + 0,66\,B)\,\mu_в, \qquad \text{(XVI-71)}$$

Обозначения аналогичны предыдущим.

3. Приток за счет динамических запасов в тот же период

$$Q = KH^2\left(\frac{L+b}{B} + \frac{at}{B} + \frac{1,36}{\lg B}\right). \qquad \text{(XVI-72)}$$

Общий приток подземных вод в карьер составляет сумму из притока за счет статических и динамических запасов на соответствующий момент развития горных работ.

V. Помимо приведенных формул, для определения общего притока воды за счет статических и динамических запасов на некоторый период эксплуатации карьера Институтом горной механики АН УССР [1954] предложена следующая приближенная формула

$$Q = 3,14\,H\left[\frac{a\mu_в\,(R_0^2 + 2R_0r + 3r^2)}{6t} + R_0KI\right], \qquad \text{(XVI-73)}$$

где H — мощность водоносного горизонта;

a — коэффициент, учитывающий гидравлический режим: для безнапорного движения $a = 1$, для напорного — $a = 0,5$;

R_0 — радиус воронки осушения, считая от центра карьера; $R_0 = R + r$, *м*;

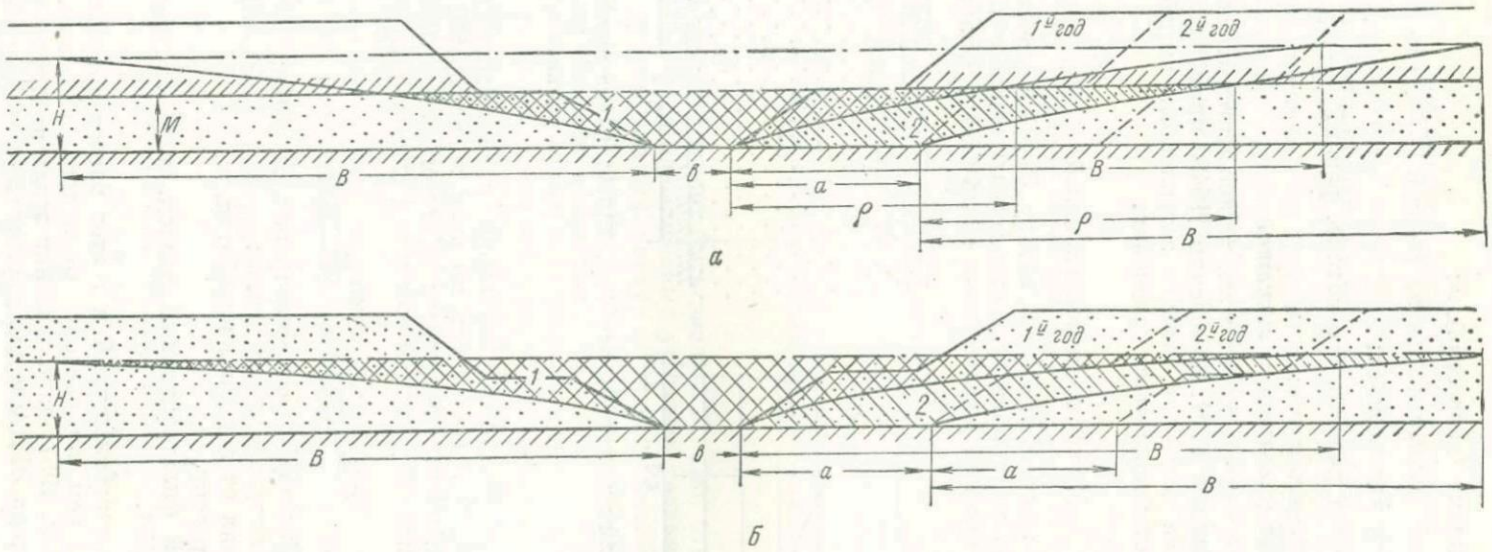


Рис. XVI-12. Схема притока в карьер за счет статических запасов при напорном (*а*) и безнапорном (*б*) водоносных горизонтах:

1 — объем водовмещающих пород, осушаемых в период строительства карьера (при проходке разрезной траншеи);
2 — объем водовмещающих пород, осушаемых в течение года эксплуатации.

R — радиус влияния (депрессии), *м*;

r — приведенный радиус карьера, равный $\frac{a+b}{2}$, где a и b — полуоси траншеи или карьера;

I — средний уклон радиального потока, равный $\frac{H}{R}$;

t — время осушения, сутки;

K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*.

В аналитическом методе, кроме того, используется способ конечных разностей, разработанный Г. Н. Каменским [1948] применительно к анализу режима притока воды при откачке затопленных выработок и для других случаев неустановившегося движения.

Метод экспериментальный

В лаборатории ин-та ВНИИГ по методу ЭГДА решены некоторые задачи притока воды со стороны подошвы горных выработок. Получены экспериментальные кривые, выражающие связь между фильтрационным

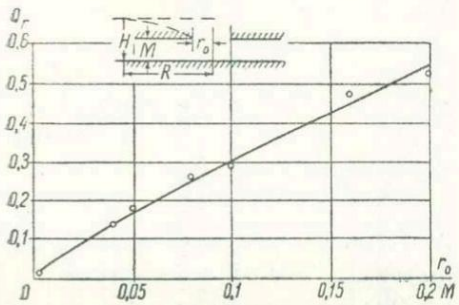


Рис. XVI-13. График зависимости Q_r от $\frac{r_0}{M}$.

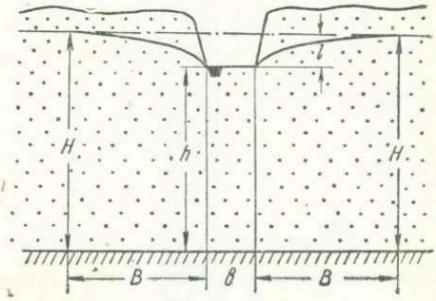


Рис. XVI-14. Схема притока безнапорных вод в длинный узкий котлован «несовершенного» типа.

расходом, мощностью напорного горизонта и приведенным радиусом выработок (рис. XVI-13). На основании этих зависимостей М. В. Сыроватко [1949] предложил следующим образом рассчитывать приток напорных вод к очистным участкам или к подошве открытой выработки.

$$Q = \frac{KMHQ_r}{1+0{,}366\,Q_r(\lg R - \lg M)}, \qquad \text{(XVI-74)}$$

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

M — мощность напорного горизонта, *м*;

H — напор, считая от подошвы выработки, *м*;

R — радиус депрессии, *м*;

Q_r — приведенный фильтрационный расход, т. е. значение расхода при K-1 и H-1.

При относительно небольших R и r этот расчет притока воды дает лучшие результаты, чем по способу «большого колодца». В работе М. В. Сыроватко [1949, 1957] даны решения задач притока воды к выработкам на основе метода ЭГДА и для других случаев разработки полезных ископаемых.

§ 2. ПРИТОК ВОДЫ К КОТЛОВАНАМ

В отличие от карьеров контуры строительных котлованов не изменяются в процессе строительных работ. В остальном способы расчета притока воды остаются те же, что и для открытых горных выработок. Размеры котлованов при крупном гидротехническом строительстве так же, как и в больших карьерах, измеряются несколькими сотнями метров и более. В связи с этим отдельные участки котлованов могут находиться в различных гидрогеологических условиях, что необходимо учитывать при выборе расчетной схемы.

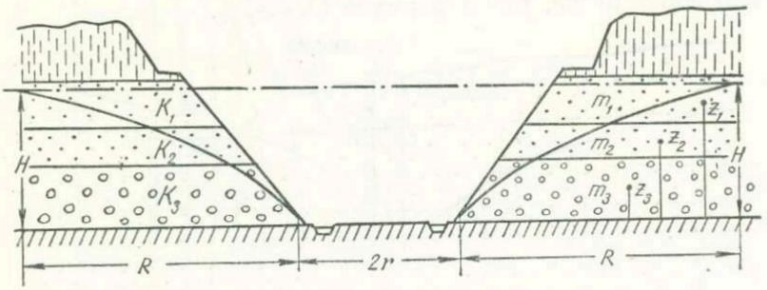


Рис. XVI-15. Схема притока воды в котлован, пройденный до водоупора при неоднородной водопроницаемости отдельных слоев.

Форма котлованов может быть различная. Для относительно небольших котлованов и при однообразных условиях питания и водопроницаемости пород действительный контур котлована заменяют приведенным.

Приток воды в этих случаях определяют по формулам (XVI-27, 28, 31, 33-35, 37, 45—48, 50—52, 59, 62—66, 73). Следует иметь в виду, что радиус депрессии в одних случаях считают от центра котлована, в других — от внешнего его контура; в последнем случае в знаменателе формул следует вместо $\lg R$ подставлять $\lg (R + r)$, где r — приведенный радиус котлована.

Ниже приводятся некоторые случаи расчета притока воды к котлованам, которые могут быть использованы и при определении притока воды к небольшим карьерам.

I. Приток воды в длинный узкий котлован «несовершенного типа», углубленный на величину l в безнапорный водоносный горизонт (рис. XVI-14), причем $\frac{H-l}{b} > 5$. Для этого случая применима, с погрешностью до 10—15%, формула Н. К. Гиринского

$$Q = \frac{KLl\,(2H-l)}{2B + 0{,}733 \lg \frac{H-l}{b} + 0{,}077}, \qquad \text{(XVI-75)}$$

где L — длина котлована, *м*;
K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*.

Остальные обозначения показаны на рисунке.

II. Приток воды в котлован, пройденный до водоупора в неоднородном по водопроницаемости безнапорном водоносном горизонте (рис. XVI-15)

$$Q = 2{,}73\,\frac{\sum_{1}^{n} K_i m_i (H - z_i)}{\lg (R+r) - \lg r}, \qquad \text{(XVI-76)}$$

где $\sum_{1}^{n} K_i m_i (H - z_i) = K_1 m_1 (H - z_1) + K_2 m_2 (H - z_2) + \ldots + K_n m_n (H - z_n)$.

Обозначения те же, что в формуле (XVI-63).

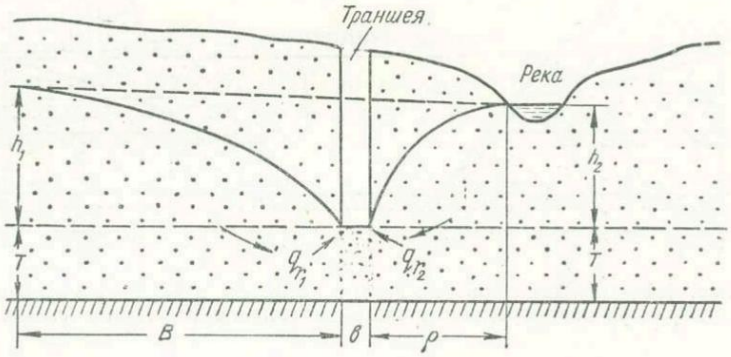


Рис. XVI-16. Схема притока воды в узкую траншею «несовершенного» типа при фильтрации из реки и с водораздела.

III. Приток воды в котлован, расположенный на водораздельном участке, где питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков.

$$Q = \pi w (R_w^2 - r^2), \qquad \text{(XVI-77)}$$

где R_w — радиус питания, определяемый из соотношения

$$R_w \sqrt{\lg R_w - \lg r - 0{,}217} = 0{,}66 \sqrt{\frac{KH^2}{w} - 0{,}5\,r^2},$$

где w — коэффициент инфильтрации, *м/сутки*, определяемый для периода наиболее интенсивного просачивания атмосферных осадков.

Тот же приток можно подсчитать по формуле Дюпюи, поставив в нее вместо R значение $0{,}606\,R_w$

$$Q = 1{,}36\,K\,\frac{H^2}{\lg R_w - \lg r - 0{,}217}. \qquad \text{(XVI-77')}$$

IV. Приток воды к вытянутому прямоугольному котловану, пройденному до водоупора в условиях грунтового потока

$$Q = KH\left(2B + 0{,}73\,L \lg \frac{2B}{b}\right)\frac{I}{\varepsilon}, \qquad \text{(XVI-78)}$$

где I — естественный уклон грунтового потока;
b — ширина котлована;
L — длина котлована;

B — ширина зоны депрессии вверх по потоку;

ε — отношение радиуса влияния (в данном случае B) к радиусу питания. По Е. Е. Керкису, величина ε колеблется от 1,3 до 4 и может быть найдена из соотношения $B\left(\lg B - \lg\frac{b}{2}\right) = \frac{0{,}68\,\varepsilon\,(H^2 - h_0^2)}{HI}$.

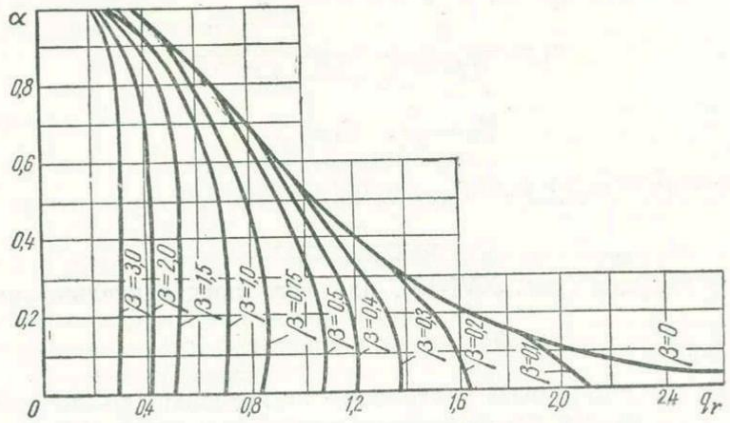


Рис. XVI-17. График для определения q_r при α от 0 до 0,9.

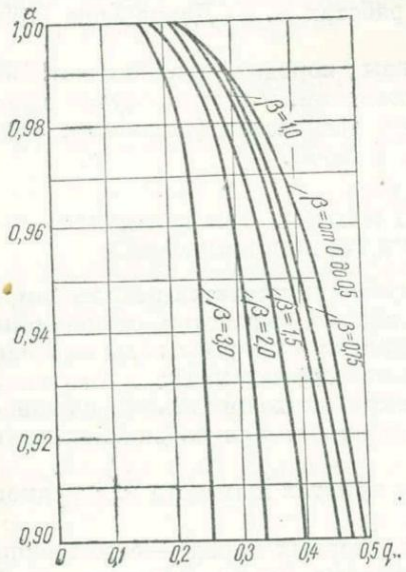


Рис. XVI-18. График для определения q_r при α от 0,9 до 1,0.

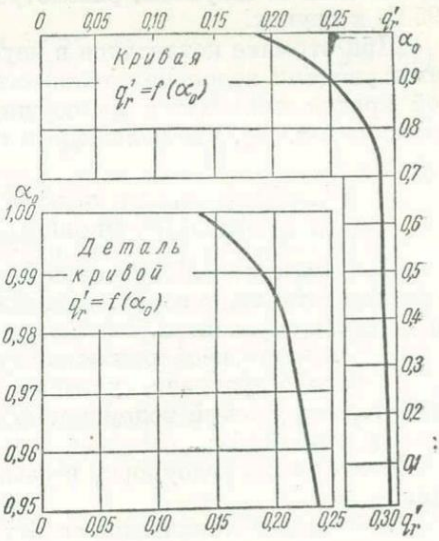


Рис. XVI-19. График для определения q_r' при α_0 от 0 до 1,0.

V. Приток воды в узкую траншею «несовершенного типа» при фильтрации из реки и водораздела может быть рассчитан по формуле Р. Р. Чугаева [1938] (рис. XVI-16)

$$Q = KL\left|\frac{h_1^2}{2B} + h_1 q_{r1} + \frac{h_2^2}{2\varrho} + h_2 q_{r2}\right|, \qquad \text{(XVI-79)}$$

где q_{r1} — приведенный фильтрационный расход со стороны водораздела;
q_{r2} — то же со стороны реки, $м^3$.

Остальные обозначения даны на рис. XVI-16.

q_{r1} и q_{r2} находят по графикам в зависимости от α и β (рис. XVI-17, 18)

$$\alpha_1 = \frac{B}{B + 0{,}5\,b}, \quad \alpha_2 = \frac{\varrho}{\varrho + 0{,}5\,b};$$

$$\beta_1 = \frac{B}{T}, \quad \beta_2 = \frac{\varrho}{T},$$

причем, если $\beta > 3$, то q_r определяется по формуле

$$q_r = \frac{q_r'}{(\beta - 3)\, q_r' + 1}$$

с помощью графика (рис. XVI-19), для чего предварительно находится $\alpha_0 = \dfrac{T}{T + \frac{2}{3} b}$.

Ряд формул для расчета притока воды в котлованы различной формы, расположенные вблизи поверхностных водоемов и водотоков, и при других условиях питания, предложен В. И. Аравиным [1937, 1938], Н. К. Гиринским [1950], С. К. Абрамовым [1952] и В. В. Куриленко [1954].

Вопросы притока воды в котлованы, ограниченные перемычкой и перемычкой со шпунтом, рассмотрены в работах В. И. Давидовича [1952, 1953] и других.

При отрывке котлованов в неустойчивых породах их защищают соответствующими водопонизительными установками, и в этом случае основной приток приходится на осушительные устройства (скважины, иглофильтры и т. п.), что изложено в гл. XV и XVII.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО НАПОРА, ПРИ КОТОРОМ НЕ ПРОИСХОДИТ ПРОРЫВА ВОДЫ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

При расчетах водопритоков в ряде случаев приходится решать вопрос о надежности водоупоров, отделяющих горные выработки от напорных водоносных горизонтов, с целью предотвращения прорыва воды или плывуна. Для этого необходимы следующие исходные данные:

1) распространение, условия залегания, литологический состав и характер нарушений водоупорных слоев в кровле или подошве проектируемых выработок;

2) мощность водоупоров в различных пунктах шахтного или рудного поля;

3) физико-механические свойства водоупорных пород — естественная влажность, объемный вес, прочность на разрыв, сдвиг, пластические деформации;

4) гидростатический напор на подошву разделяющего слоя;

5) размеры выработок (ширина по низу и протяженность незакрепленного участка);

6) продолжительность нахождения выработки в незакрепленном состоянии (или с временной крепью).

Указанные факторы в той или иной мере должны учитываться при расчете допустимых напоров. В настоящее время имеется несколько расчетных способов.

1. Наибольшее распространение получил метод, основанный на теории предельных пролетов проф. В. Д. Слесарева [1936—1948 г.]. Согласно его представлениям защитный слой водоупорной породы может быть прорван под воздействием гидростатического напора, если выработка находится в состоянии так называемого третьего предельного пролета.

Для подошвы выработки

$$P_{кр} = 6K_р \frac{h^2}{l^2} + \gamma h, \qquad \text{(XVI-80)}$$

для кровли выработки

$$P_{кр} = 6K_р \frac{h^2}{l^2} - \gamma h - \gamma_1 h_1, \qquad \text{(XVI-81)}$$

где $P_{кр}$ — критическое давление, при котором происходит разрыв защитного слоя, $т/м^2$;

$K_р$ — временное сопротивление горной породы на растяжение, $т/м^2$;

l — пролет выработки, $м$;

h — расчетная мощность водоупора, $м$;

h_1 — мощность водонасыщенной несвязной породы в кровле выработки выше защитного слоя, $м$;

γ — объемный вес водоупорной породы, $т/м^3$;

γ_1 — объемный вес водоносной породы, $т/м^3$.

Устойчивое состояние пород кровли или подошвы, при допустимой величине гидростатического напора, будет иметь место в случае так называемого первого предельного пролета.

Для подошвы выработки

$$P_{доп} = \eta K_р \frac{h^2}{l^2} + \gamma h, \qquad \text{(XVI-82)}$$

для кровли выработки

$$P_{доп} = \eta K_р \frac{h^2}{l^2} - \gamma h - \gamma_1 h_1, \qquad \text{(XVI-83)}$$

где η некоторый коэффициент, принимаемый, по В. Д. Слесареву [1946], равным 1,33 при невыдержанном залегании водоупоров и 2,0 при выдержанном залегании, когда слой водоупорной породы в почве или кровле выработки можно уподобить балке, заделанной в опорах. Согласно более ранним работам В. Д. Слесарева значение η в некоторых проектных организациях принимали равным 2,6.

Величина необходимого снижения гидростатического давления (или напора) — для предотвращения прорыва — будет определяться выражением

$$\Delta P = P - P_{доп} \qquad \text{(XVI-84)}$$

или

$$S = H - H_{доп}, \qquad \text{(XVI-85')}$$

где P или H — гидростатическое давление или напор в естественных условиях до проходки горных выработок, $т/м^2$ или $м$;

$P_{доп}$ и $H_{доп}$ — соответственно допустимое гидростатическое давление и гидростатический напор, $т/м^2$ и $м$.

В формулах (XVI-80) — (XVI-83) под пролетом выработки l понимается ширина понизу или поверху в случае весьма большого ее протяжения, причем без крепи. В реальных условиях, для выработок конечных размеров, В. Д. Слесарев вводит понятие эквивалентного пролета, значение которого в зависимости от типа выработки будет следующее.

1. Для штрекообразной выработки или камеры

$$l_э = \frac{al}{a+l}, \qquad \text{(XVI-86)}$$

где a — протяжение незакрепленного (или с временной крепью) участка штрека или камеры, *м*;

l — ширина выработки, *м*.

2. Для шахтного ствола (или подствола) круглого сечения, скважины большого диаметра и дренажного колодца

$$l_э = \frac{d}{2}, \qquad \text{(XVI-87)}$$

где d — диаметр выработки, *м*.

При квадратном сечении выработки со стороной a значение $l_э$ будет равно 0,5 a.

3. Для очистной выработки, типа одинарной лавы,

$$l_э = \frac{ab}{0{,}5\,a+b}, \qquad \text{(XVI-88)}$$

где a — длина лавы, *м*;

b — ширина призабойного пространства, *м*.

Наибольшее затруднение при выборе исходных данных представляет величина $K_р$, которую получают путем механического разрыва образца исследуемой породы.

Поскольку при этом испытании на величину $K_р$ влияет ряд обстоятельств (естественная влажность, микротрещиноватость, условия закрепления образца в приборе, характер распределения напряжений в теле образца при растяжении и др.), то лабораторного значения $K_р$ отличаются очень широким диапазоном.

В условиях Подмосковного угольного бассейна для подугольных и надугольных плотных глин чаще всего рекомендуют принимать значения $K_р$ в 5—6 *т/м*^{2} (0,5—0,6 *кг/см*^{2}), а для слабых пород эту величину иногда снижают до 2 *т/м*^{2}. С целью упрощения расчета необходимого снижения гидростатического напора В. М. Максимовым и А. И. Морозовым предложены соответствующие графики [1951, 1952].

II. Другим методом расчета является способ, предложенный за границей проф. К. Кегелем [1942], основанный на использовании характеристики прочности породы на срез (сдвиг). Применяется он как для глинистых, так и для более жестких пород. Критическое значение гидростатического напора определяется зависимостью

$$P_{кр} = 2\tau\frac{h}{l} + \gamma h, \qquad \text{(XVI-89)}$$

где τ — временное сопротивление срезу (сдвигу), *т/м*^{2}.

Остальные обозначения аналогичны предыдущим для случая прорыва воды из подошвы выработок.

Учитывая разгрузку пород и появление в них микротрещин при проведении подземных выработок, К. Кегель рекомендовал при определении $P_{доп}$ в формуле (XVI-89) принимать значение τ от 2 до 5 раз меньше полученного экспериментальным путем в лаборатории. Вместе с тем в лаборатории величину сдвигающего усилия при больших нагрузках (соответствующих глубине разработки) чаще всего не определяют; экстраполяция же значений τ по графикам обычных испытаний на сдвиг может дать значительные отклонения от реальных величин.

III. В последние годы Ленинградским горным институтом предложен способ определения временных сопротивлений на прорыв и расчет допустимых напоров на основе испытаний глинистых пород гидравлическим способом в специальном приборе [Н. Г. Паукер, 1956]. Монолит глинистой породы подвергается воздействию воды под напором до нескольких атмосфер, что ближе отвечает условиям действительных прорывов воды в горных выработках. Полученная характеристика временного сопротивления прорыву σ отражает пластические и разрывные деформации в глинистых породах водоупорных слоев. Для пород подошвы горных выработок расчетная формула имеет следующий вид

$$\sigma = (P_{кр} - \gamma h)\frac{l_э}{2h}, \qquad \text{(XVI-90)}$$

где $l_э$ эквивалентное сечение, идентичное формулам (XVI-86)—(XVI-88), остальные обозначения аналогичны предыдущим.

Кроме того по этой формуле можно рассчитать значение σ, используя данные фактических прорывов в подземных выработках. Допустимый напор для предотвращения прорыва воды из подошвы выработки рассчитывается по формуле

$$H_{доп} = \frac{2\sigma h}{\eta \Delta l_э} + \frac{\gamma}{\Delta} h, \qquad \text{(XVI-91)}$$

где Δ — объемный вес воды напорного водоносного горизонта, $т/м^3$;
η — коэффициент запаса, от 3 до 4.

Остальные обозначения прежние.

Для допустимого гидростатического давления при проектировании водопонизительных работ применялся еще следующий вид расчетной формулы, по которой получаются несколько заниженные значения $P_{доп}$

$$P_{доп} = 0{,}25\, h \left(\frac{2\sigma}{l_э} + \gamma\right). \qquad \text{(XVI-92)}$$

На основании лабораторных исследований и расчетов по фактическим прорывам в условиях Подмосковного бассейна получены следующие значения временных сопротивлений глинистых пород на прорыв их водой (табл. XVI-2)

При повышении влажности прочность глинистых пород на прорыв значительно понижается; при ясно выраженной структурной трещиноватости глинистых пород (типа сухарных, доломитизированных, окрем-

Таблица XVI-2

Наименование отдельных разновидностей глинистых пород	Средняя естественная влажность, %	σ, $т/м^2$
Песчаные и углистые разности глин не плотного сложения	17—19	8—9
Углистые и песчаные глины средней плотности	19—21	12—15
Пластичные глины средней плотности	20—21	19—20
Полусухарные глины (без микротрещиноватости)	18—20	16—17
Слабо песчаные и пластичные уплотненные глины	19—20	22—25
Глины очень плотного сложения твердой и полутвердой консистенции	18—20	25—30

ненных и т. п. глин) гидростатический напор через них передается на более водоупорный слой, поэтому трещиноватые разности в расчетную мощность водоупора не включаются.

Если значение $l_э$ относительно велико, что имеет место, например, в котлованах и прочих выработках большого сечения, то величина первого члена в выражениях (XVI-82), (XVI-89) и (XVI-91) не играет существенной роли при расчете допустимого напора и последний считают возможным принимать равным (при $\gamma = 2\ т/м^3$) приближенно удвоенной мощности защитного слоя.

Глава XVII

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАСЧЕТАХ ИГЛОФИЛЬТРОВЫХ УСТАНОВОК

§ 1. ОБЩИЕ ДАННЫЕ ОБ ИГЛОФИЛЬТРАХ

Иглофильтровая установка представляет собой устройство, предназначенное для понижения уровня подземных вод в песчаных породах и состоящее из погруженных в грунт иглофильтров, которые расположены вдоль сторон строительного котлована или траншеи и объединены коллектором, присоединенным к насосу (рис. XVII-1).

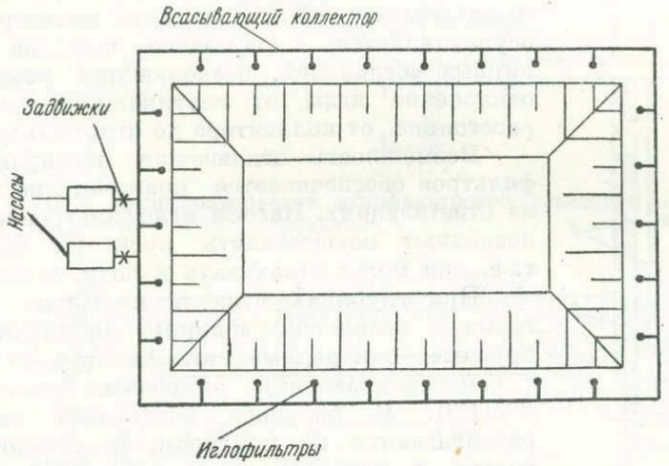


Рис. XVII-1. Схема иглофильтровой установки при малом котловане.

Иглофильтровые установки делятся на обычные (легкие), эрлифтные и эжекторные.

Обычный иглофильтр («игла») представляет собой колонну труб (чаще всего двухдюймовых) 7—9 *м* длиной с фильтровым звеном около 1 *м* и наконечником, присоединенными к нижнему ее концу (рис. XVII-2).

Фильтровое звено состоит из двух труб: внутренней *5* с шестью отверстиями и наружной *4* (имеющей равномерно распределенные отверстия), которая обмотана проволочной спиралью *6* с натянутой поверх фильтрационной сеткой *7* из оцинкованной стальной или латунной проволоки.

Каждый иглофильтр снабжается двумя сменными фильтровыми звеньями, одно из которых предназначается для работы в разнозернистых

грунтах с большим содержанием глинистых частиц, заиливающих сетку галунного плетения, поставленную на другом из сменных звеньев.

Зазор между наружной и внутренней трубами фильтрового звена вверху уплотнен с помощью резинового кольца *3*; нижний конец внутренней трубы ввинчен в седло *2* шарового клапана *9*.

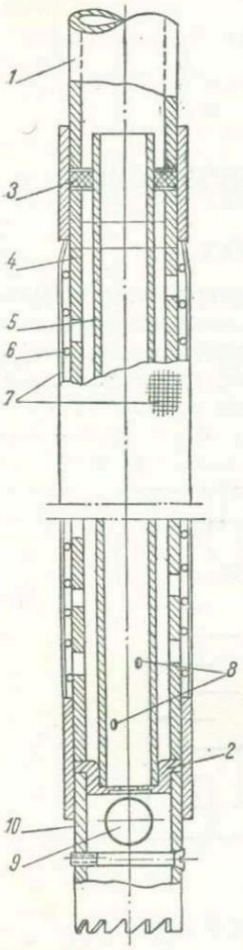


Рис. XVII-2. Иглофильтр.

Иглофильтр погружается в грунт гидравлическим способом. Струя воды, поступающая из надфильтровой части *1* иглофильтра во внутреннюю трубу *5*, выходит из наконечника *10*, снабженного зубчатой коронкой, размывает грунт и поднимается на поверхность. При этом под действием собственного веса иглофильтр погружается. В дальнейшем образовавшаяся вокруг трубы каверна заполняется крупнозернистыми фракциями песка.

Когда из погруженных в грунт иглофильтров начинается откачка воды, то шаровой клапан 9 прижимается к седлу *2* и закрывает путь грунтовой воде. Следовательно, откачиваемая вода может поступать в иглофильтр, лишь проходя через сетку *7*.

Присоединение иглофильтров к коллектору, составленному обычно из труб диаметром 150 *мм*; осуществляется с помощью шлангов или шарнирных соединений, позволяющих компенсировать отклонение иглы от вертикали и регулировать расстояние от коллектора до иглофильтра.

Возможность отключения неисправных иглофильтров обеспечивается кранами, поставленными на ответвлениях. Насосы иглофильтровой установки позволяют осуществлять пуск их без заливки, т. е. они могут откачивать и воду, и воздух.

При глубинах откачки не больше 5 *м* и для траншей небольшой ширины применяются одноярусные однорядные иглофильтровые установки с самовсасывающими вихревыми насосами (рис. XVII-3). В больших котлованах иглофильтры располагаются по контурам, и установка монтируется с укрупненными насосными агрегатами, включающими центробежный и вакуумный насосы вместе с их вспомогательными устройствами.

При необходимости понижения уровня на глубины свыше 5—6 *м* применяются многоярусные иглофильтровые установки (рис. XVII-4 и XVII-5) либо вакуумэрлифтные и эжекторные иглофильтры, в которых в фильтровое звено введены соответственно либо форсунка, либо эжекторное сопло.

На рис. XVII-6 показан вакуумэрлифтный [Григорьев, 1955] иглофильтр. Приемная часть этого фильтра, обмотанная проволокой *1*, имеет длину 4—6 *м* и диаметр 100 *м*. Воздушная труба *2*, диаметром 25 *мм* входит в иглофильтр через сальник *3*. Внизу она имеет форсунку *4*. Нагнетаемый в форсунку ваккум-насосом воздух, выходя из нее и смешиваясь с водой, образует водо-воздушную смесь, которая поднимается в кольцевом пространстве между надфильтровой *5* и воздушной трубами и выводится из иглофильтра через патрубок *6*.

На рис. XVII-7 показан эжекторный иглофильтр [Григорьев, 1955]. По своим размерам он в основном сходен с вакуумэрлифтным иглофильтром. Здесь после погружения иглофильтра в грунт в него вводится на-

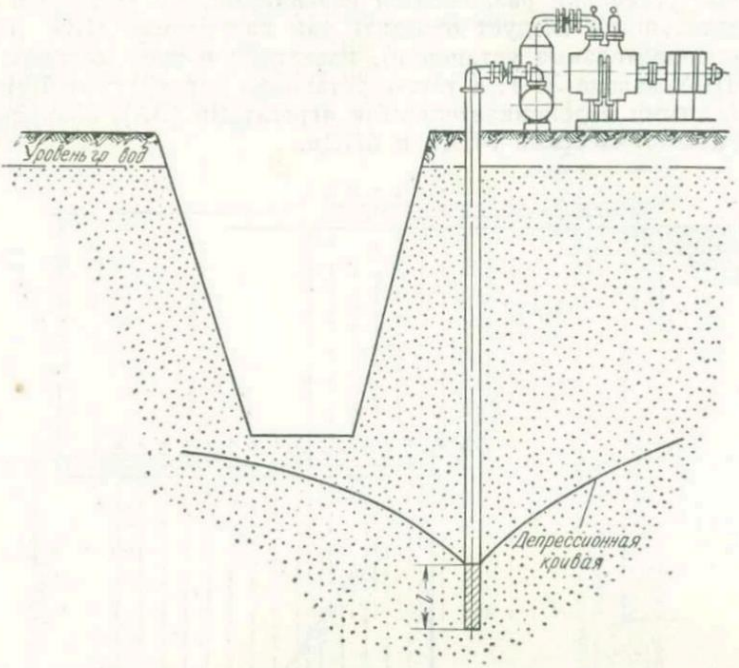


Рис. XVII-3. Схема однородной иглофильтровой установки для траншеи.

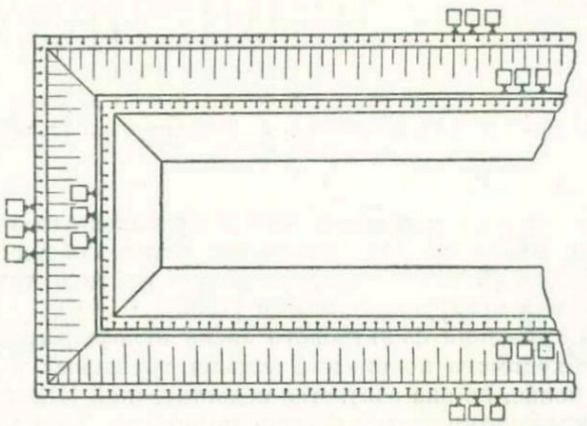


Рис. XVII-4. Схема двухъярусной иглофильтровой установки.

порная труба *1* диаметром 65 *мм* с присоединенным к ней внизу эжектором *2*. Рабочая вода, нагнетаемая высоконапорным насосом, через патрубок *5* подводится к эжектору по кольцевому пространству между надфильтровой и напорной трубами (которое разобщено от внутренней полости трубы *4* фильтра уплотняющим кольцом *3*) и далее вместе с под-

сосанной эжектором водой отводится от иглофильтра через напорную трубу *1*.

По своему конструктивному устройству современные легкие иглофильтровые установки различаются названиями. Из установок большой производительности следует отметить так называемые ПВУ (передвижные водопонизительные установки), известные в трех моделях: ПВУ-1, ПВУ-2, ПВУ завода № 1, а также установки конструкции Бурводстроя с укрупненными водопонизительными агрегатами (ВА), оборудованными центробежными насосами 5НДв и 6НДв.

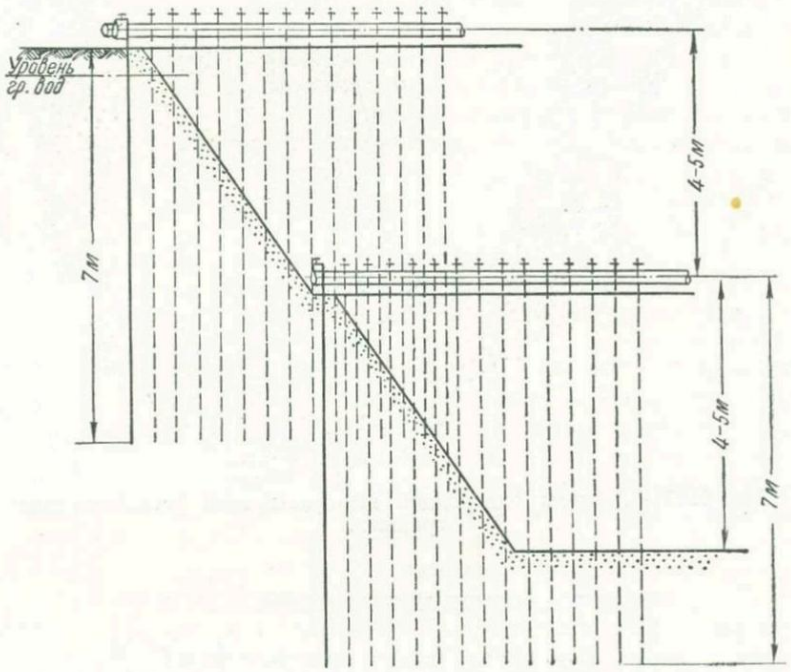


Рис. XVII-5. Разрез котлована с двухъярусной иглофильтровой установкой.

Из иглофильтровых установок малой производительности наиболее распространены ИФУ; существуют также более совершенные ЛИУ-3. Описание конструкций этих установок можно найти в книге В. М. Григорьева [1955] и в инструкции-пособии [1958].

Глубина погружения фильтрового звена иглофильтровых установок зависит от необходимого понижения уровня грунтовых вод и величины притока к установке, но она считается недостаточной [Инструкция, 1951], если верхний край сетки фильтра располагается на глубине менее 0,6 *м* от дна котлована для выемки, окруженной фильтрами со всех сторон, и на глубине менее 1,25 *м* — для выемки с фильтрами, расположенными по одной стороне (рис. XVII-3).

Главным преимуществом иглофильтровых установок является возможность их скоростного монтажа и быстрой переброски.

Наиболее эффективным понижение уровня грунтовых вод с помощью иглофильтров получается в песчаных грунтах с коэффициентами фильтрации от 2 до 40 *м/сутки* [Инструкции, 1951 и 1958]. Применяются же

иглофильтровые установки для песчаных и гравелистых грунтов с коэффициентами фильтрации приблизительно от 1 до 150 *м/сутки*.

Применение иглофильтровой установки должно осуществляться на основании проекта, который учитывает геологические и гидрогеологические условия площадки котлована и производство всех работ на территории строительства.

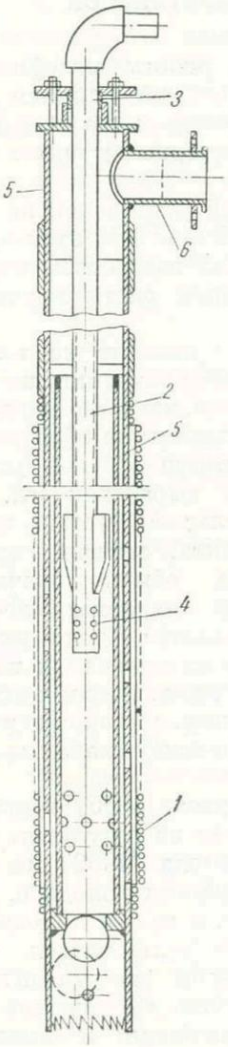


Рис. XVII-6. Эрлифтный иглофильтр.

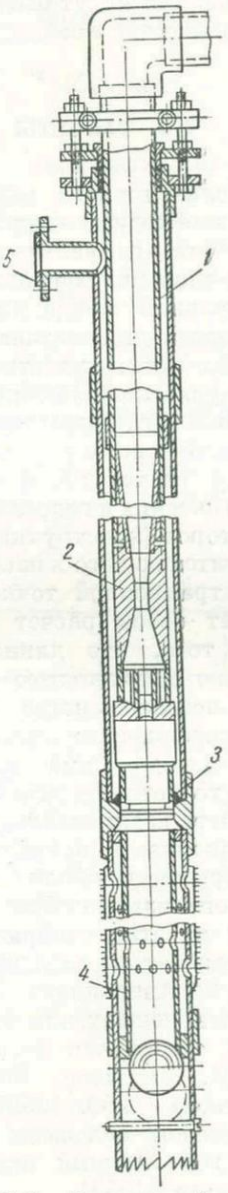


Рис. XVII-7. Эжекторный иглофильтр.

Обычные (легкие) иглофильтровые установки нередко проектируются без расчета. Это считается допустимым для так называемых «средних» [Григорьев, 1955] геологических и гидрогеологических условий, в частности, когда грунты, в которых проектируется водопонижение, не обла-

дают очень высокой водопроницаемостью или установка не располагается вблизи берега реки. В таких случаях для одноярусных кольцевых установок рекомендуется: 1) располагать иглофильтры на расстоянии около 1,2 *м* друг от друга, но не менее 0,6 *м* и 2) присоединять к одному иглофильтровому насосному агрегату линию длиной не более 120 *м*.

Эти указания могут быть использованы для ориентировочных соображений о количестве необходимого для иглофильтровой установки оборудования.

§ 2. РАСЧЕТЫ ИГЛОФИЛЬТРОВЫХ УСТАНОВОК

Для более точного выяснения характера работы иглофильтровой установки необходимо производство расчета, который сводится к определению дебита иглофильтровой установки, уровней около иглофильтров и величины сниженных уровней в наиболее характерных пунктах осушаемой строительной площадки.

Движение воды, создаваемое иглофильтровой установкой на различных участках пути, существенно различается. Можно при этом выделить следующие участки движения воды: 1) в пределах водоносного горизонта, 2) в обсыпке иглофильтров, 3) во всасывающей системе установки, 4) в напорной системе установки.[1]

Поэтому расчет иглофильтровой установки зависит не только от гидрогеологических и гидродинамических условий фильтрации, но и технических факторов (конструкция и размеры установки, качество монтажа, количество притекающего к насосам воздуха, характеристики оборудования).

С фильтрационной точки зрения расчет иглофильтровой установки представляет собой расчет взаимодействующих выработок (гл. XV).

Ввиду того, что длина иглофильтров большей частью невелика по сравнению с мощностью водоносного горизонта, степень гидродинамического несовершенства схемы иглофильтра обычно значительна. Другой особенностью расчета иглофильтров является небольшое расстояние между ними и, как правило, большое число их, исчисляемое часто сотнями штук. Все эти особенности привели к тому, что методы расчета взаимодействующих выработок в приложении к иглофильтровым установкам приобрели некоторую специфику, состоящую в использовании формул, наиболее правильно отображающих характер гидродинамического взаимодействия иглофильтров.

Исходя из этих соображений, В. М. Григорьев [1955] считает, что следует пользоваться зависимостями, основанными на результатах исследований С. Ф. Аверьянова [1949] и А. В. Романова [1952] по взаимодействию бесконечных линейных рядов несовершенных колодцев, распространяя их на случаи безнапорного движения, а также кольцевых рядов [Ю. П. Борисов, 1951]. Можно также пользоваться методом П. П. Аргунова [1950, 1955]. Упрощенные способы расчета иглофильтровых установок изложены в инструкции-пособии «Понижение уровня грунтовых вод легкими иглофильтровыми установками и эжекторными иглофильтрами» [1958].

---

[1] Этот последний участок, не связанный с остальными расчетами непосредственно, в дальнейшем не рассматривается, причем его расчет производится по методу обычных трубопроводов.

Линейный ряд иглофильтров при напорном движении воды

I. Несимметричный приток (однорядная установка)

$$Q_c = KMl_c\left(\frac{H_1 - Z_0}{L_1} + \frac{H_2 - Z_0}{L_2}\right)\frac{2\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}, \qquad \text{(XVII-1)}$$

$$Z_1 = H_1 - \left(\frac{H_1 - Z_0}{L_1} - \frac{Q_c}{KMl_c}\frac{1-\beta_1}{2\beta_1}\right)(L_1 - x), \qquad \text{(XVII-2)}$$

$$Z_2 = H_2 - \left(\frac{H_2 - Z_0}{L_2} - \frac{Q_c}{KMl_c}\frac{1-\beta_2}{2\beta_2}\right)(L_2 - x), \qquad \text{(XVII-3)}$$

где K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
M — мощность напорного водоносного горизонта, *м*;
l_c — длина секции;
L_1 и L_2 — расстояние от линии колодцев до границ потока или дальность влияния, *м* (рис. XVII-8);
H_1 и H_2 — напоры на расстояниях соответственно L_1 и L_2 от ряда иглофильтров, как показано на рис. XVII—8, *м*:

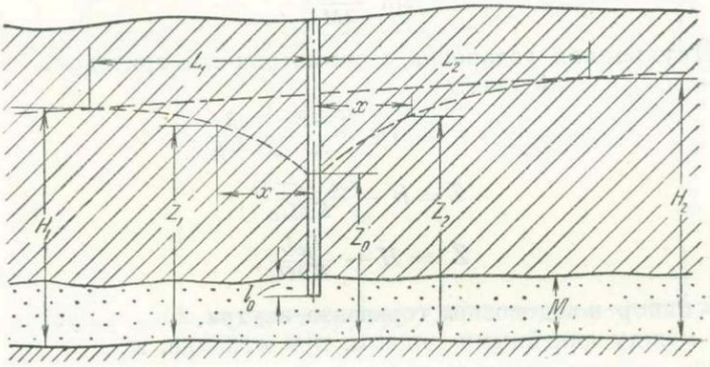


Рис. XVII-8. Схема линейной иглофильтровой установки при напорном движении.

Q_c — расход секции иглофильтровой установки, присоединяемой к одному насосу, *м³/сутки*;
Z_1 и Z_2 — напоры при откачке соответственно с двух разных сторон, на расстоянии x, от ряда, *м*;
Z_0 — напор в обсыпке фильтра (у иглы), *м*;

$$\beta_1 = \frac{1}{\left(1 + 1{,}47\frac{M}{L_1}\lg\frac{1}{\sin\frac{\pi l_0}{2M}}\right)\left(1 + 1{,}47\frac{a}{L_1}\lg\frac{a}{\pi r_0}\right)}, \qquad \text{(XVII-4)}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{\left(1 + 1{,}47\frac{M}{L_2}\lg\frac{1}{\sin\frac{\pi l_0}{2M}}\right)\left(1 + 1{,}47\frac{a}{L_2}\lg\frac{a}{\pi r_0}\right)}, \qquad \text{(XVII-5)}$$

a — половина расстояния между иглофильтрами, *м*;
l_0 — длина рабочей части иглофильтра [1], *м*;
r_0 — радиус [2] обсыпки фильтра, *м*.

[1] Для установок ПВУ $l_0 = 0{,}8$ *м*, для ИФУ $l_0 = 1$ *м*.
[2] Для установок ПВУ, ИФУ и ЛИУ-3 можно считать $r_0 = 0{,}06$ *м*.

Область применения этих формул ограничивается условиями $\frac{L_1}{a}>1$; $\frac{L_2}{a}>1$; $\frac{r_0}{a}<0{,}2$; кроме того при соотношениях $x<0{,}5\,M$ и $x<2a$ этими формулами можно пользоваться лишь для грубо ориентировочных расчетов.

II. Симметричный приток.

В этом случае в приведенные выше формулы (XVII-1—XVII-5) надо подставить

$$L_1=L_2=L,\ H_1=H_2=H;\ Z_1=Z_2=Z,\ \beta_1=\beta_2=\beta,$$

что дает

$$Q=\frac{2KMl_c\,(H-Z_0)}{L}\beta, \tag{XVII-6}$$

$$Z=H-\frac{Q_c\,(L-x)}{2KMl_c}, \tag{XVII-7}$$

$$\beta=\frac{1}{\left(1+1{,}47\frac{M}{L}\lg\frac{1}{\sin\frac{\pi l_0}{2M}}\right)\left(1+1{,}47\frac{a}{L}\lg\frac{a}{\pi r_0}\right)}, \tag{XVII-8}$$

III. Двухрядная установка с симметричным притоком.

Для этих условий имеем

$$Q_c=KMl_c\frac{H-Z_0}{L}\frac{2\beta}{1+\beta}, \tag{XVII-9}$$

$$Z=H-\frac{Q_c\,(L-x)}{KMl_c}, \tag{XVII-10}$$

$$Z'=H-\frac{Q_cL}{KMl_c}, \tag{XVII-11}$$

где Z' — напор в водоносном горизонте внутри контура установки, т. е. между линейными рядами, при откачке, *м*.

Здесь предполагается, что длина рядов по сравнению с расстоянием B между рядами довольно значительна и, кроме того, $B>M$.

Линейный ряд иглофильтров при безнапорном движении воды

I. Однорядная установка с несимметричным притоком (рис. XVII-9).

$$Q_c=\frac{Kl_c}{2}\left(\frac{H_1^2-Z_0^2}{L_1}+\frac{H_2^2-Z_0^2}{L_2}\right)\frac{2\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}, \tag{XVII-12}$$

$$Z_1=\sqrt{H_1^2-\left(\frac{H_1^2-Z_0^2}{L_1}-\frac{2Q_c}{Kl_c}\frac{1-\beta_1}{2\beta_1}\right)(L_1-x)}, \tag{XVII-13}$$

$$Z_2=\sqrt{H_2^2-\left(\frac{H_2^2-Z_0^2}{L_2}-\frac{2Q_c}{Kl_c}\frac{1-\beta_2}{2\beta_2}\right)(L_2-x)} \tag{XVII-14}$$

$$\beta_1=\frac{1}{\left(1+1{,}47\frac{Z_0}{L_1}\lg\frac{1}{\sin\frac{\pi l_0}{2Z_0}}\right)\left(1+1{,}47\frac{a}{L_1}\lg\frac{a}{\pi r_0}\right)}, \tag{XVII-15}$$

$$\beta_2=\frac{1}{\left(1+1{,}47\frac{Z_0}{L_2}\lg\frac{1}{\sin\frac{\pi l_0}{2Z_0}}\right)\left(1+1{,}47\frac{a}{L_2}\lg\frac{a}{\pi r_0}\right)}. \tag{XVII-16}$$

II. Однорядная установка с симметричным притоком.

В этом случае в формулы (XVII-12—XVII-16) надо подставить

$$L_1 = L_2 = L, \quad H_1 = H_2 = H, \quad Z_1 = Z_2 = Z, \quad \rho_1 = \beta_2 = \beta,$$

что дает

$$Q_c = \frac{Kl_c (H^2 - Z_0^2)}{L} \beta, \qquad \text{(XVII-17)}$$

$$Z = \sqrt{H^2 - \frac{Q_c (L - x)}{Kl_c}}, \qquad \text{(XVII-18)}$$

где

$$\beta = \frac{1}{\left(1 + 1{,}47 \frac{Z_0}{L} \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi l_0}{2Z_0}}\right)\left(1 + 1{,}47 \frac{a}{L} \lg \frac{a}{\pi r_0}\right)}. \qquad \text{(XVII-19)}$$

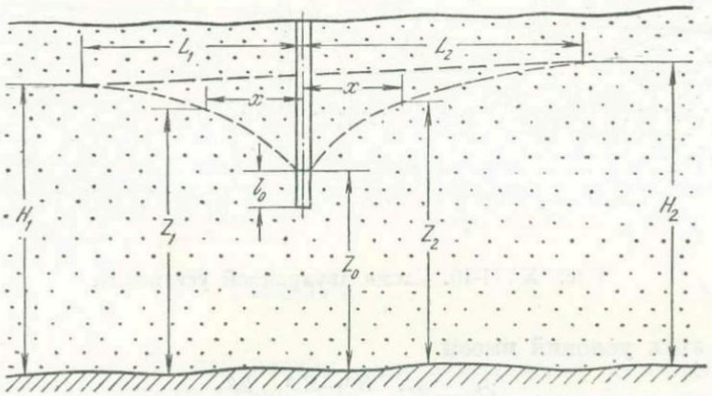


Рис. XVII-9. Схема линейной иглофильтровой установки при безнапорном движении.

Пример. Определить расход воды в одной секции (длиной $l_c = 75$ *м*) линейной иглофильтровой установки при расстоянии между рядами $2a = 1{,}5$ *м* и симметричном притоке в безнапорном водоносном горизонте с коэффициентом фильтрации $K = 25$ *м/сутки*. Начальный напор воды над водоупорной подошвой горизонта $H = 15$ *м*, а значение этого напора у фильтров при откачке $Z_0 = 10$ *м*. Поверхность земли находится на высоте 16,5 *м* от водоупорной подошвы водоносного горизонта.

Проверить также достаточность понижения уровня воды на расстоянии 3 *м* от иглофильтрового ряда, если дно осушаемой траншеи здесь находится на высоте 13 *м* от водоупорной подошвы горизонта, причем необходимо иметь запас не менее чем на глубину 1 *м* от дна траншеи. В расчете принято $l_0 = 0{,}8$ *м*, $r_0 = 0{,}06$ *м* и дальность влияния $L = 106$ *м*.

Определяем прежде всего по формуле (XVII-15)

$$\beta = \frac{1}{\left(1 + 1{,}47 \frac{10}{106} \lg \frac{1}{\sin \frac{3{,}14 \cdot 0{,}8}{2 \cdot 10}}\right)\left(1 + 1{,}47 \frac{0{,}75}{106} \lg \frac{0{,}75}{3{,}14 \cdot 0{,}06}\right)} = 0{,}878$$

и затем по формуле (XVII-17)

$$Q_c = \frac{25 \cdot 75\,(15^2 - 10^2)}{106}\,0{,}878 = 1950\ м^3/сутки.$$

Напор в расстоянии 3 *м* от ряда по формуле (XVII-18) будет

$$Z = \sqrt{15^2 - \frac{1950\,(106-3)}{25 \cdot 75}} = 11{,}8\ м.$$

Следовательно, уровень грунтовых вод под дном траншеи будет стоять на глубине $13 - 11{,}8 = 1{,}2 > 1$ *м* от дна.

II. Двухрядная установка с симметричным притоком (рис. XVII-10).

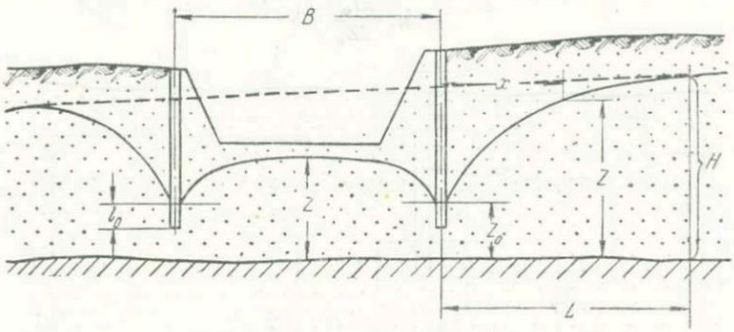


Рис. XVII-10. Схема двухрядной установки.

Для этих условий имеем

$$Q_c = Kl_c \frac{H^2 - Z_0^2}{2L} \frac{2\beta}{1+\beta}, \qquad \text{(XVII-20)}$$

$$Z = \sqrt{H^2 - \frac{2Q_c}{Kl_c}(L - x)}, \qquad \text{(XVII-21)}$$

$$Z' = \sqrt{H^2 - \frac{2Q_c}{Kl_c}L}. \qquad \text{(XVII-22)}$$

Предполагается, что длина рядов по сравнению с расстоянием B между ними значительна.

Пример. Определить расход воды в одной секции двухрядной линейной иглофильтровой установки в безнапорном водоносном горизонте, расположенной по обе стороны от проектируемого котлована ($B = 5$ *м*) при тех же данных, что и в предыдущем примере.

Значения L и β остаются теми же, что и в предыдущем примере. Расход определяем по формуле (XVII-20)

$$Q_c = 25 \cdot 75 \frac{15^2 - 10^2}{2 \cdot 106} \frac{2 \cdot 0{,}878}{1 + 0{,}878} = 1025\ м^3/сутки.$$

Напор между рядами найдем из формулы (XVII-21)

$$Z' = \sqrt{15^2 - \frac{2 \cdot 1025 \cdot 106}{25 \cdot 75}} = 10{,}5\ м.$$

При той же высоте 13 *м* дна котлована над водоупором, что и в предыдущем примере, глубина уровня грунтовых вод от дна получается равной

$$13 - 10{,}5 = 2{,}5 \ м.$$

Кольцевые установки

1. При напорном движении

$$Q_c = \frac{2{,}73\,KM\,(H - Z_0)}{n_c \lg \frac{R}{r}} \cdot \frac{2\beta}{1+\beta}, \qquad \text{(XVII-23)}$$

$$Z' = H - \frac{Q_c n_c \lg \frac{R}{r}}{2{,}73\,KM}, \qquad \text{(XVII-24)}$$

где Z' — напор внутри контура кольцевого ряда при откачке, *м*;
n_c — число секций;
R — радиус влияния, считая от центра окружности кольцевого ряда, *м*;
r — радиус оси кольцевого ряда, *м*;
β — определяется из формулы (XVII-8) при условии

$$L = 2{,}3\,r \lg \frac{R}{r}. \qquad \text{(XVII-25)}$$

Пример. Определить расход воды в кольцевой иглофильтровой установке, состоящей из двух секций ($n_c = 2$), образующей в плане прямоугольник размерами 72 × 87 *м* и ограждающей котлован, ниже которого залегает напорный водоносный горизонт мощностью $M = 9{,}7$ *м*, при следующих условиях: первоначальный напор воды над горизонтальной поверхностью нижнего водоупора $H = 15{,}7$ *м*, этот напор при откачке у кольцевого ряда $Z_0 = 10$ *м*, коэффициент фильтрации $K = 17{,}6$ *м/сутки*, число иглофильтров в секции $n = 167$ штук, $R = 107$ *м*.

В расчете принято $l_0 = 0{,}8$ *м*, $r_0 = 0{,}06$ *м*.

Определяем расчетное расстояние ($2a$) между иглами

$$2a = \frac{P}{n_c n} = \frac{2(72+87)}{2 \cdot 167} = 0{,}95 \ м.$$

Далее определяем радиус кольцевого ряда по формуле (XV-22)

$$r = \frac{P}{2\pi} = \frac{2(72+87)}{2 \cdot 3{,}14} = 50{,}6 \ м$$

(где P — периметр ограждения — суммарная длина коллекторов).

Величину L находим из формулы (XVII-25)

$$L = 50{,}6 \cdot 2{,}3 \lg \frac{107}{50{,}6} = 38{,}0 \ м.$$

Из формулы (XVII-8)

$$\beta = \frac{1}{\left(1+1{,}47\,\frac{9{,}7}{38{,}0}\,\lg\frac{1}{\sin\frac{\pi\,0{,}8}{2\cdot 9{,}7}}\right)\left(1+1{,}47\,\frac{0{,}475}{38{,}0}\,\lg\frac{0{,}475}{\pi\,0{,}06}\right)} = 0{,}74$$

и, наконец, по формуле (XVII-23) определяем расход

$$Q_c = \frac{2{,}73\cdot 17{,}6\cdot 9{,}7\,(15{,}7-10)}{2\cdot\lg\frac{107}{50{,}6}}\cdot\frac{2\cdot 0{,}74}{1+0{,}74} = 3450\ м^3/сутки.$$

Напор при откачке в центре котлована (внутри кольцевого ряда) находим из формулы (XVII-24)

$$Z' = 15{,}7 - \frac{3450\cdot 2\cdot\lg\frac{107}{50{,}6}}{2{,}73\cdot 17{,}6\cdot 9{,}7} = 10{,}85\ м.$$

Понижение уровня напорных вод по отношению к первоначальному уровню равно 4,85 *м*.

2. При безнапорном движении

$$Q_c = \frac{1{,}36K\,(H^2-Z_0^2)}{n_c\lg\frac{R}{r}}\cdot\frac{2\beta}{1+\beta}, \qquad \text{(XVII-26)}$$

$$Z' = \sqrt{H^2 - \frac{Q_c n_c\lg\frac{R}{r}}{1{,}36K}}, \qquad \text{(XVII-27)}$$

где β — определяется по формуле (XVII-19) при условии (XVII-25).

Помимо уравнений динамики подземных вод, при расчете иглофильтровой установки приходится пользоваться уравнением движения воды во всасывающей системе установки, имеющем [Григорьев, 1955] вид

$$Z_0 = h - h_{вс} + \xi\frac{Q_c}{n_c\omega} + 0{,}134\,\zeta\left(\frac{Q_c}{1000}\right)^2, \qquad \text{(XVII-28)}$$

где h — высота расположения оси насоса над горизонтальной поверхностью нижнего водоупора, *м*;

$h_{вс}$ — допускаемая высота всасывания, *м*.

Для установок, обслуживаемых агрегатами, включающими вакуум-насосы, $h_{вс}$ определяется по табл. XVII-1, 2 и 3, а для установок с самовсасывающими вихревыми насосами — по табл. XVII-4 и 5;

ξ — коэффициент[1] сопротивления входа воды в иглофильтр, *м*;

ω — площадь[2] приемной части иглофильтра, $м^2$, определяемая из формулы

$$\omega = 2\pi r_п l_0; \qquad \text{(XVII-29)}$$

[1] Для фильтров, проработавших до 1 месяца, можно принимать (Григорьев, 1955) $\xi = 0{,}05$ *м*, при большем сроке работы иглофильтра $\xi = 0{,}075$ *м*.

[2] Радиус $r_п$ приемной части иглофильтра можно принимать равным 0,03 *м*.

Таблица XVII-1

Значения допускаемых высот всасывания для насоса ПВУ

Q_c, *л/сек*	$h_{вс}$, *м*
25	8
50	8
75	7
100	6
125	5

Таблица XVII-2

Значения допускаемых высот всасывания для насоса 6НДв

Q_c, *л/сек*	$h_{вс}$, *м*
40	5,5
60	5,5
80	5,0
100	4,0

Таблица XVII-3

Значения допускаемых высот всасывания для насоса 5НДв

Q, *л/сек*	$h_{вс}$, *м*
40	7,2
50	6,5
60	6,0
80	4,5

Таблица XVII-4

Значения допускаемых высот всасывания для установок ИФУ

Q, *л/сек*	$h_{вс}$, *м*
0	6,8
5	6,3
10	5,8
15	4,8
20	3,5
25	2,3
30	1

Таблица XVII-5

Значения допускаемых высот всасывания для установок ЛИУ-3

Q, *л/сек*	$h_{вс}$, *м*
0	6,5
5	6,5
10	6,4
15	6,3
17	6

ζ — коэффициент сопротивления всасывающей системы, определяется из следующих формул:

для установок ПВУ-1

$$\zeta = 4700\frac{a^2}{l_c^2} + \varphi^3 l_c\left(0{,}00053 + \frac{0{,}000088}{a}\right) + 0{,}324; \qquad \text{(XVII-30)}$$

для установок ПВУ-2

$$\zeta = 4700\frac{a^2}{l_c^2} + \varphi^3 l_c\left(0{,}00029 + \frac{0{,}000056}{a}\right) + 0{,}196; \qquad \text{(XVII-31)}$$

для установок ИФУ

$$\zeta = 3827\frac{a^2}{l_c^2} + \varphi^3 l_c\left(0{,}0013 + \frac{0{,}000175}{a}\right) + 3{,}336, \qquad \text{(XVII-32)}$$

где l_c — длина секции;

φ — отношение длины наиболее длинной ветви секции (ее коллектора к половине длины секции; очевидно, что при расположении насосного агрегата у конца коллектора $\varphi = 2$.

Проектирование иглофильтровой установки начинается с разработки ее предварительной схемы, заключающей в себе установление числа ярусов, типов оборудования, высотного и планового расположения коллекторов и насосов и расстояний между иглофильтрами.

При предварительном назначении числа ярусов линейной установки можно, если она применяется при разработке траншей шириной (как обычно) 2—3 *м*, считать, что понижение уровня грунтовых вод S в наиболее удаленной от линейного ряда точке котлована для первого яруса будет не более чем на 3,5 *м*, второго яруса еще дополнительно на 3 *м* и третьего яруса также еще на 3 *м*.

Для первого яруса кольцевой установки понижение уровня в наиболее удаленной от ряда точке котлована может быть не более чем на 4,5 *м*, второго яруса — еще дополнительно на 4 *м* и третьего яруса — еще на 3,5 *м*.

Насосный агрегат и коллектор одноярусной (а также первый ярус многоярусной) установки чаще всего располагают ниже поверхности земли на дне выемки, а иногда и на поверхности земли. Ось коллектора установки трассируется с таким расчетом, чтобы после вскрытия котлована проектируемого сооружения на полную глубину коллектор оказался бы на берме шириной около 1 *м*. Насосное оборудование надо располагать возможно ниже. Однако для удобства монтажа рама насосного агрегата первого яруса устанавливается на высоте не менее 0,2 *м*, а последующих ярусов — не менее 0,5 *м* над уровнем подземных вод.

При определении типа иглофильтровой установки можно пользоваться табл. XVII-6 [Григорьев, 1955].

Таблица XVII-6

Данные для предварительного выбора иглофильтровой установки [1]

Удельный приток, $м^3/сутки$	Наиболее целесообразный тип оборудования	
	В одноярусных установках и первых ярусах многоярусных	В нижних ярусах многоярусных
$q < 15$ $15 < q < 40$ $q > 40$	ЛИУ-3 (или ИФУ) Установки Бурводстроя с ВА, оборудованными насосами 5НДв или 6НДв при 900 *об/мин* ПВУ или установки Бурводстроя, оборудованные насосами 6НДа при 900 *об/мин*	ЛИУ-3 Установки Бурводстроя с ВА, оборудованными насосами 5НДв при 1450 *об/мин* ПВУ

Для предварительного определения удельного притока воды можно пользоваться формулами (XVII-1, XVII-6, XVII-12, XVII-17, XVII-23 и XVII-26), принимая в них $\beta = 1$. За Z_0 в этих формулах можно принимать для линейных установок

$$Z_0 = H - (S + 1), \qquad \text{(XVII-33)}$$

для кольцевых установок

$$Z_0 = H - S. \qquad \text{(XVII-34)}$$

[1] Рекомендуемая область применения установок различных типов приведена также в инструкции [1958].

При разбивке водопонизительной линии на секции (длину которых желательно иметь одинаковой) можно исходить из следующих, диктуемых опытом рекомендаций:

а) для насосных агрегатов ИФУ и ЛИУ-3 — 60—90 *м*;

б) для насосных агрегатов ВА — 120 *м*;

в) для насосных агрегатов ПВУ — 180 *м*.

Для назначения расстояний между иглофильтрами можно пользоваться табл. XVII-7 [Григорьев, 1955]. При расчетах понижения уровней воды необходимо предусматривать некоторый запас, который в зависимости от производительности иглофильтровой установки и величины ущерба от кратковременного затопления котлована (в случае аварии) принимается равным от 0,5 до 1,5 *м*.

Таблица XVII-7

Ориентировочные расстояния между иглофильтрами

Требующая от яруса величина понижения S, *м*					Ориентировочное расстояние между иглами, *м*		
Линейные установки		Кольцевые установки			ВА	ПВУ	ЛИУ-3 (и ИФУ)
1 ярус	2 ярус	1 ярус	2 ярус	3 ярус			
4,0—3,0	3,5—2,5	5,0—4,0	4,5—3,5	4,0—3,0	0,6—1,2	0,6	0,75
3,0—2,5	2,5—2,0	4,0—3,5	3,5—3,0	3,0—2,5	1,4—1,8	0,6—1,2	0,75
2,5—2,0	2,0—1,5	3,5—3,0	3,0—2,5	2,5—2,0	1,8—2,4	1,2—1,8	1,50
2,0—1,5	1,5—1,0	3,0—2,5	2,5—2,0	2,0—1,5	2,4—3,0	1,8—2,4	1,50—2,25

Расчеты многоярусных установок по существу не отличаются от расчета одноярусных, причем не только для первых ярусов, но и для последующих, так как в подавляющем большинстве случаев с возможностью одновременной работы двух ярусов можно не считаться.

Глава XVIII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ПОДЗЕМНОГО ПОТОКА В БЕЗНАПОРНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТАХ

§ 1. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ

Равномерное движение подземных вод

При равномерном движении подземных вод в условиях достаточно широких подземных потоков, т. е. так называемой плоской задачи, следует рассматривать удельный расход q, приходящийся на единицу ширины подземного потока, который определяется по формуле (рис. XVIII-1)

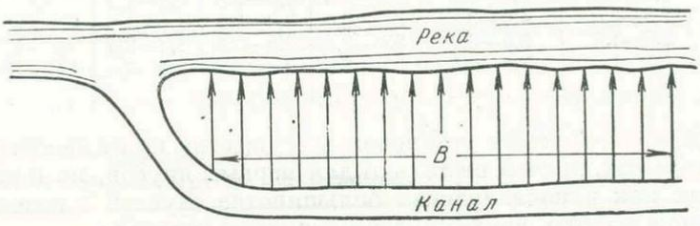


Рис. XVIII-1. Схема фильтрации в условиях подземного потока большой ширины.

$$q = \frac{Q}{B}, \qquad \text{(XVIII-1)}$$

где Q — полный расход, приходящийся на всю ширину подземного потока.

В этом случае, поскольку при равномерном движении уклон депрессионной поверхности равен уклону водоупора i, величина удельного расхода определится как (рис. XVIII-2)

$$q = Kh_0 i, \qquad \text{(XVIII-2)}$$

где K — коэффициент фильтрации;
i — уклон водоупора;
h_0 — постоянная по длине потока глубина,[1] называемая нормальной глубиной.

---

[1] Здесь h_0, названное Н. Н. Павловским «нормальной глубиной» потока, фактически является приведенной мощностью потока. *Науч. ред.*

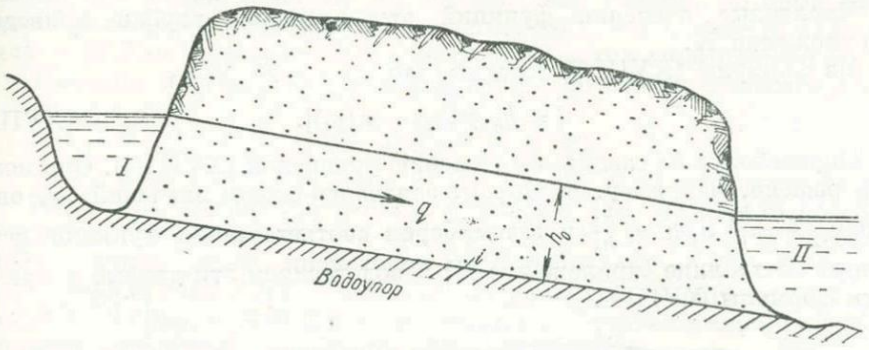


Рис. XVIII-2. Продольный разрез подземного потока в условиях равномерного движения.

Неравномерное движение

I. Водоупор имеет наклон в сторону падения уровня воды ($i > 0$).

Рассматривая, как и выше, плоскую задачу, укажем, что в этом случае возможны следующие формы кривой депрессии (рис. XVIII-3): кривая подпора A — при[1] $h > h_0$ и кривая спада B при $h < h_0$, где h — глубина потока в условиях неравномерного движения, h_0 — эта же глубина в условиях равномерного движения, при том же расходе. Линия $N - N$, являющаяся линией нормальных глубин, представляет собой ассимптоту кривых депрессий A и B.

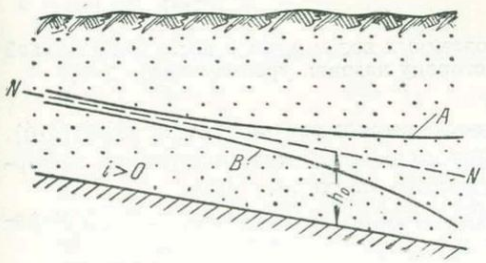


Рис. XVIII-3. Формы кривых депрессий при неравномерном движении подземных вод.

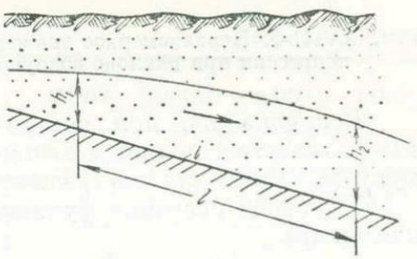


Рис. XVIII-4. Схема движения подземных вод при неравномерном движении.

Удельный расход можно определить по способу Н. Н. Павловского [1930] следующим образом (рис. XVIII-4). Если известны глубины подземного потока h_1 и h_2 на концах участка длиной l, уклон водоупора i и коэффициент фильтрации грунта K, то единичный расход q находится по формуле (XVIII-2). Для определения h_0 исходим из формулы Н. Н. Павловского

$$\frac{il}{h_0} = \varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1). \qquad \text{(XVIII-3)}$$

где $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$ и $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$ носят название относительных глубин, а $\varphi(\eta_2)$ и $\varphi(\eta_1)$ — функции относительных глубин, причем:

1) при $\eta > 1$ $\varphi(\eta) = \eta + 2{,}3 \lg(\eta - 1)$,

2) при $\eta < 1$ $\varphi(\eta) = \eta + 2{,}3 \lg(1 - \eta)$.

[1] h; h_1 и h_2 — мощности потока в разных его сечениях. *Науч. ред.*

Численные значения функций относительных глубин приведены в приложении X.

Из формулы (XVIII-3) следует, что

$$il = h_0 [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)]. \qquad \text{(XVIII-4)}$$

Определение h_0 сводится к решению уравнения (XVIII-4). Оно может быть решено, например, подбором: задаваясь рядом значений h_0, определяем $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$ и $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$ и затем берем соответственно функции $\varphi(\eta_2)$ и $\varphi(\eta_1)$ по таблице (приложение X) и подставляем эти данные в правую часть формулы XVIII-4.

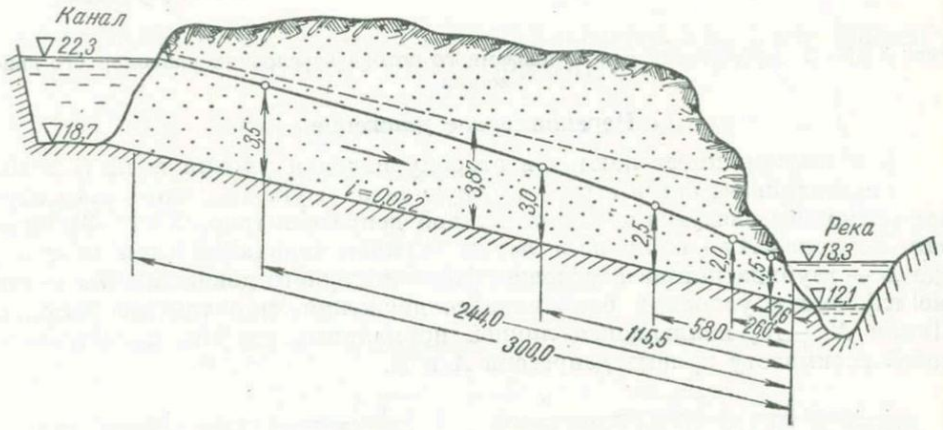


Рис. XVIII-5. Неравномерное движение подземных вод и пример построения кривой депрессии при наклоне водоупора в сторону падения уровня воды ($i > 0$).

Величина h_0, при которой удовлетворяется равенство (XVIII-4), где il известно, является искомой, которую надлежит подставить в формулу (XVIII-2) для определения удельного расхода.

Учитывая значения функции $\varphi(\eta)$, формулу (XVIII-3) можно переписать так

$$\frac{il}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 + 2{,}3 \lg \frac{\eta_2 - 1}{\eta_1 - 1} \qquad \text{(XVIII-5)}$$

и вместо формулы (XVIII-4) соответственно

$$il = h_0 \left(\eta_2 - \eta_1 + 2{,}3 \lg \frac{\eta_2 - 1}{\eta_1 - 1}\right). \qquad \text{(XVIII-6)}$$

Можно воспользоваться для определения h_0 формулой (XVIII-6). Аналогично изложенному выше, формула (XVIII-6) решается подбором; однако здесь нет необходимости пользоваться специальными таблицами функций $\varphi(\eta)$.

Вместо решения формул (XVIII-4) и (XVIII-6) подбором можно применить графический метод, поясняемый в следующем примере.

Пример. Берег реки, изображенный на рис. XVIII-5, сложен крупнозернистыми песчаными аллювиальными отложениями, коэффициент фильтрации которых $K = 8{,}5$ *м/сутки*. На расстоянии 300 *м* от реки проходит ирригационный канал, горизонт воды в котором находится на отметке 22,3 *м*; горизонт воды в реке — на отметке 13,3 *м*. Аллюви-

альные отложения залегают на водоупорных глинах, которые простираются в сторону реки; при этом отметка этого водоупорного слоя у канала — 18,7, а у реки — 12,1. Определить расход грунтового потока.

Находим прежде всего уклон водоупорного подстилающего слоя

$$i = \frac{18{,}7 - 12{,}1}{300} = 0{,}022.$$

Мощность подземного потока у канала $h_1 = 22{,}3 - 18{,}7 = 3\,6$ *м*, мощность подземного потока у реки $h_2 = 13{,}3 - 12{,}1 = 1{,}2$ *м*. Поскольку вдоль потока происходит уменьшение его мощности, то имеем кривую спада типа *B* (рис. XVIII-4). Следовательно, величина $h_0 > h_1 = 3{,}6$ *м*. Формулу XVIII-4 в соответствии с указанными выше обозначениями перепишем следующим образом

$$il = h_0\left[\varphi\left(\frac{h_2}{h_0}\right) - \varphi\left(\frac{h_1}{h_0}\right)\right].$$

Поскольку $il = 0{,}022 \cdot 300 = 6{,}6$ *м*, то

$$6{,}6 = h_0\left[\varphi\left(\frac{h_2}{h_0}\right) - \varphi\left(\frac{h_1}{h_0}\right)\right] = f(h_0).$$

Задаваясь теперь рядом значений $h_0 > 3{,}6$ *м*, будем определять $f(h_0)$, причем значения функций $\varphi\left(\frac{h_2}{h_0}\right)$ и $\varphi\left(\frac{h_1}{h_0}\right)$ берутся из приложения X.

Все вычисления по приведенной выше расчетной формуле сведены в табл. XVIII-1.

Таблица XVIII-1

h_0	$\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$	$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$	$\varphi(\eta_2)$	$\varphi(\eta_1)$	$\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)$	$f(h_0)$
3,7	0,325	0,975	—0,0681	—2,7157	2,6476	9,80
3,8	0,315	0,950	—0,0634	—2,0457	1,982	7,52
3,9	0,310	0,925	—0,0611	—1,6653	1,6042	6,25
4,0	0,300	0,900	—0,0567	—1,4026	1,3459	5,40
4,1	0,293	0,880	—0,0538	—1,2402	1,1864	4,87

Результаты подсчетов, приведенные в таблице, представлены на рис. XVIII-6 в виде графика функции $f(h_0)$, где по вертикальной оси отложены h_0, а по горизонтальной — соответственно вычисленные в табл. XVIII-1 величины $f(h_0)$. Из этого графика видно, что согласно приведенной выше расчетной формуле (XVIII-6) при $f(h_0) = 6{,}6$ нормальная глубина $h_0 = 3{,}87$ *м*. Следовательно, удельный расход по формуле (XVIII-2)

$$q = Kh_0 i = 8{,}5 \cdot 3{,}87 \cdot 0{,}022 = 0{,}723 \ м^2/сутки.$$

Определение q возможно также по приближенной формуле Г. Н. Каменского [1943]

$$q = k\frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{h_1 - h_2 + il}{l}, \qquad \text{(XVIII-7)}$$

где обозначения ясны из рис. XVIII-4.

Эта формула при сравнительно небольших уклонах водоупора дает вполне удовлетворительную точность.

Построение кривой депрессии для рассматриваемого случая $i > 0$ производится по формулам (XVIII-3) или (XVIII-5) следующим образом.

Предположим, что известны величины: h_2, i и h_0; требуется построить кривую депрессии.

Из формулы (XVIII-3) имеем

$$l = \frac{h_0}{i}[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)]. \qquad \text{(XVIII-8)}$$

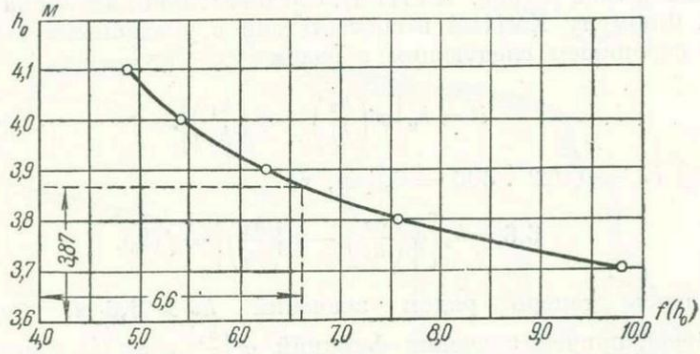


Рис. XVIII-6. График $f(h_0)$ для определения нормальной глубины подземного потока.

Поскольку h_2 и h_0 известно, — известными являются и величины $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$ и $\varphi(\eta_2)$. Будем теперь задаваться рядом значений h_1: если имеем кривую спада, то $h_1 > h_2$, если имеем кривую подпора, то $h_1 < h_2$. Таким образом делается известным $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$ и $\varphi(\eta_1)$ и, в конечном итоге, вся правая часть формулы (XVIII-8).

Очевидно, что метод построений кривой депрессии не изменится, если известной величиной является h_1, и задаются рядом значений h_2.

Пример. Построить кривую подземного потока между каналом и рекой, показанными на рис. XVIII-5.

Будем вести построение кривой депрессии вверх по течению. В этом случае $h_2 = 1{,}2$ *м*, $h_0 = 3{,}87$ *м* (эти данные взяты из предыдущего примера).

Относительная глубина

$$\eta_2 = \frac{h_2}{h_0} = \frac{1{,}2}{3{,}87} = 0{,}31.$$

$$\varphi(\eta_2) = -0{,}0611.$$

Подставляя известные величины в формулу (XVIII-8), получим

$$l = 176[-0{,}0611 - \varphi(\eta_1)].$$

Задаваясь рядом значений $h_1 > 1{,}2$, определяя η_1 и $\varphi(\eta_1)$ и подставляя эти величины в приведенную зависимость, получим соответствующие значения l. Все подсчеты сведены в табл. XVIII-2.

Таблица XVIII-2

h_1, м	$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$	$\varphi(\eta_1)$	l, м
1,5	0,390	—0,1043	7,60
2,0	0,515	—0,2087	26,00
2,5	0,645	—0,3907	58,00
3,0	0,775	—0,7169	115,50

По данным этой таблицы на рис. XVIII-5 построена кривая депрессии между каналом и рекой.

Вместо формулы (XVIII-8) построение кривой депрессии можно вести по формуле, вытекающей из приближенного решения (XVIII-7)

$$l = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2\frac{q}{K} - i(h_1 + h_2)}, \qquad \text{(XVIII-9)}$$

где предположено, что i, h_2 и h_0 известны. Определяя q из формулы (XVIII-2) и подставляя все величины в формулу (XVIII-9), задаемся рядом значений h_1 и находим соответствующие величины l.

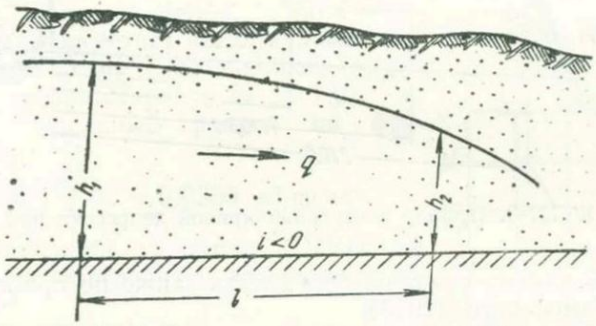


Рис. XVIII-7. Неравномерное движение подземных вод при наклоне водоупора в сторону, обратную падению уровня воды ($i < 0$).

II. Водоупор имеет наклон, обратный падению уровня воды ($i < 0$). В этом случае возможна лишь одна форма кривой депрессии — кривая спада (рис. XVIII-7).

Удельный расход можно определить по способу Н. Н. Павловского [1930] следующим образом. Если известны глубины подземного потока h_1 и h_2 на концах участка длиной l, обратный уклон водоупора i и коэффициент фильтрации породы K, то удельный расход q находится по формуле

$$q = Kih_0', \qquad \text{(XVIII-10)}$$

где h_0' — глубина некоторого фиктивного вспомогательного подземного потока в условиях равномерного движения, причем направление движения противоположно показанному на рис. XVIII-7.

Величина h_0' определяется по формуле (XVIII-4) из выражения

$$il = h_0' [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)], \qquad \text{(XVIII-11)}$$

где $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0'}$; $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0'}$ — относительные глубины, а $\varphi(\eta_2)$ и $\varphi(\eta_1)$ — функции этих относительных глубин, численные значения которых приведены в приложении XI.

Заметим, что $\varphi(\eta)$ имеет в этом случае следующий вид

$$\varphi(\eta) = -\eta + 2{,}3 \lg(\eta + 1). \qquad \text{(XVIII-12)}$$

Поэтому можно вместо формулы (XVIII-11) написать

$$il = h_0' \left(\eta_2 - \eta_1 + 2{,}3 \lg \frac{\eta_2 + 1}{\eta_1 + 1}\right). \qquad \text{(XVIII-13)}$$

Определение h_0' по формулам (XVIII-11) или (XVIII-13) выполняется аналогично нахождению h_0 при прямом уклоне водоупора, т. е. при $i > 0$, а именно: указанные уравнения решаются либо подбором, либо графическим способом.

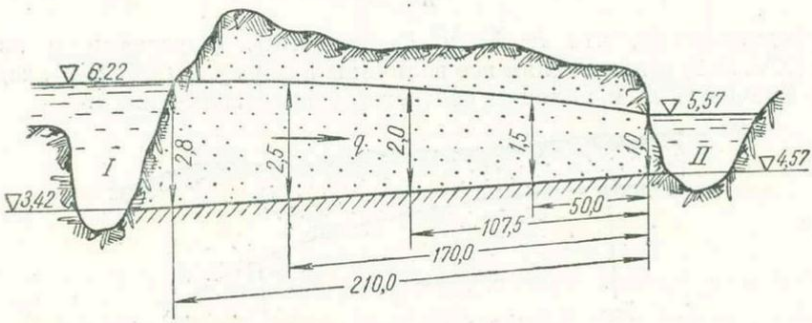


Рис. XVIII-8. Пример построения кривой депрессии при $i < 0$.

Удельный расход q можно определить также по приближенной формуле Г. Н. Каменского [1943]

$$q = K \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{h_1 - h_2 - il}{l}, \qquad \text{(XVIII-14)}$$

где обозначения ясны из рис. XVIII-7.

В следующем примере показано, как пользоваться формулами (XVIII-11) и (XVIII-14) для определения q.

Пример. Происходит движение подземного потока (рис. XVIII-8) из водоема I в водоем II в однородных среднезернистых песках, коэффициент фильтрации которых $K = 4{,}5$ *м/сутки*. Расстояние между водоемами 210 *м*.

Пески залегают на водоупорном слое глины, отметка которой у водоема I — 3,42, у водоема II — 4,57. Отметки горизонта воды в водоемах соответственно 6,22 и 5,57. Таким образом начальная глубина подземного потока у водоема I — $h_1 = 6{,}22 - 3{,}42 = 2{,}8$ *м* и у водоема II — $h_2 = 5{,}57 - 4{,}57 = 1{,}0$ *м*. Движение происходит в направлении подъема водоупора, причем уклон его

$$i = \frac{4{,}57 - 3{,}42}{210} = \frac{1{,}15}{210} = 0{,}0055.$$

Требуется определить удельный расход. Поскольку $il = 0{,}0055 \cdot 210 = 1{,}15$, то формулу (XVIII-11) можно представить в виде

$$1{,}15 = h_0'\left[\varphi\left(\frac{h_2}{h_0'}\right) - \varphi\left(\frac{h_1}{h_0'}\right)\right] = f(h_0').$$

Подставляя сюда ряд значений h_0' будем определять $f(h_0')$, причем значения функций $\varphi\left(\frac{h_2}{h_0'}\right)$ и $\varphi\left(\frac{h_1}{h_0'}\right)$ будем брать из таблицы приложения XI.

Все подсчеты сведены в табл. XVIII-3.

Таблица XVIII-3

h_0', *м*	$\eta_2 = \frac{h_2}{h_0'}$	$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0'}$	$\varphi\left(\frac{h_2}{h_0'}\right)$	$\varphi\left(\frac{h_1}{h_0'}\right)$	$\varphi\left(\frac{h_2}{h_0'}\right) - \varphi\left(\frac{h_1}{h_0'}\right)$	$f(h_0')$
0,4	2,50	7,00	—1,2472	—4,9206	3,6734	1,47
0,8	1,25	3,50	—0,4388	—1,9959	1,5571	1,265
1,2	0,835	2,34	—0,2279	—1,1411	0,9132	1,095
1,6	0,625	1,75	—0,1395	—0,7386	0,5991	0,96
2,0	0,500	1,40	—0,0945	—0,5245	0,4300	0,86

Результаты подсчетов представлены на рис. XVIII-9 в виде графика функции $f(h_0')$, из которого видно, что величине $f(h_0') = il = 1{,}15$ соответствует $h_0' = 1{,}02$ *м*. Следовательно, удельный расход по формуле (XVIII-10)

$$q = 4{,}5 \cdot 0{,}0055 \cdot 1{,}02 = 0{,}0253 \ м^2/сутки.$$

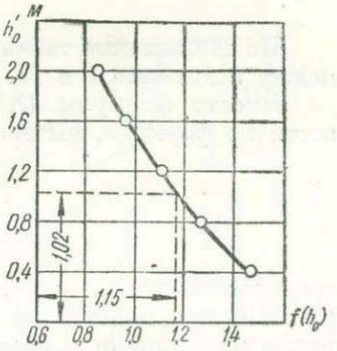


Рис. XVIII-9. График $f(h_0')$ для определения нормальной глубины вспомогательного подземного потока.

По приближенной формуле (XVIII-14) удельный расход определится следующим образом

$$q = 4{,}5\,\frac{2{,}8+1{,}0}{2} \cdot \frac{2{,}8-1{,}0-1{,}15}{210} =$$

$$= 0{,}0264 \ м^2/сутки.$$

Построение кривой депрессии для рассматриваемого случая $i < 0$ производится, исходя из формул (XVIII-11) или (XVIII-13) следующим образом.

Предположим, что известны величины h_2, i, h_0'; требуется построить кривую депрессии. Перепишем формулу (XVIII-11) так

$$l = \frac{h_0'}{i}\left[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right]. \qquad \text{(XVIII-15)}$$

Поскольку h_2 и h_0' известны, известными являются и величины $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$ и $\varphi(\eta_2)$. Будем теперь задаваться рядом значений $h_1 > h_2$; таким образом делается известным $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0'}$, $\varphi(\eta_1)$ и, в конечном итоге, вся правая часть уравнения (XVIII-15). Очевидно, что метод построения

кривой депрессии не изменится, если известной величиной является h_1, и задаются рядом значений h_2.

Пример. Построить депрессионную кривую подземного потока между водоемами *I* и *II*, показанными на рис. XVIII-8. Будем вести построение кривой депрессии вверх по течению. В этом случае $h_2 = 1,0$ *м*, $h_0' = 1,02$ *м* (эти данные взяты из предыдущего примера).

Относительная глубина $\eta_2 = \frac{h_2}{h'_0} = \frac{1,0}{1,02} = 0,98$, $\varphi(\eta_2) = -0,2969$.

Подставляя известные величины в формулу (XVIII-15), получим

$$l = 186\,[-0,2969\,\varphi - (\eta_1)].$$

Задаваясь рядом значений $h_1 > 1,02$, определяя η_1 и $\varphi(\eta_1)$ и подставляя эти величины в приведенную зависимость, получим соответствующие значения l.

Все подсчеты сведены в табл. XVIII-4.

Таблица XVIII-4

h_1, *м*	$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0'}$	$\varphi(\eta_1)$	l, *м*
1,5	1,47	—0,577	52,0
2,0	1,96	—0,8749	107,5
2,5	2,45	—1,2117	170,0

По данным этой таблицы на рис. XVIII-8 построена кривая депрессии между водоемами *I* и *II*.

Вместо формулы (XVIII-15) построение кривой депрессии можно вести по формуле, вытекающей из приближенного решения (XVIII-14)

$$l = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2\,\frac{q}{K} - i\,(h_1 + h_2)}, \qquad \text{(XVIII-16)}$$

где предположено, что i, h_2 и h_0' известны. Определяя q по формуле (XVIII-10) и подставляя все величины в формулу (XVIII-16), задаемся рядом значений h_1 и находим соответствующие величины l.

III. Водоупор залегает горизонтально ($i = 0$).

В этом случае (рис. XVIII-10) возможна лишь одна форма кривой депрессии — кривая спада. Если h_1 и h_2 — глубины подземного потока находящиеся на расстоянии l, тогда удельный расход определится по формуле

$$q = K\,\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \qquad \text{(XVIII-17)}$$

где K — коэффициент фильтрации породы; остальные обозначения ясны из рис. XVIII-10.

Кривая депрессии определяется из уравнения

$$h = \sqrt{h_2^2 + \frac{x}{l}\,(h_1^2 - h_2^2)}, \qquad \text{(XVIII-18)}$$

где h — ордината кривой депрессии на расстоянии x от глубины подземного потока h_2 в конце участка длиною l.

Для определения расхода потока и построения кривых спада и подпора — при неравномерном движении подземных вод — с достаточной точностью для практики можно пользоваться методом, предложенным Чжан Чжун—инем [1956].

IV. Радиальное движение воды при горизонтальном водоупоре.

Случай подобного движения может иметь место в излучине реки, дренирующей водоносный горизонт, или вообще тогда, когда наблюдается в плане не плоско-параллельное движение, а радиальное или близкое к нему, как показано на рис. XVIII-11. При этом можно рассматривать две схемы движения.

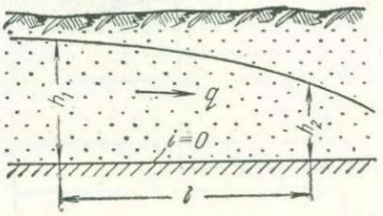


Рис. XVIII-10. Неравномерное движение подземных вод при горизонтальном водоупоре ($i=0$).

Первая схема соответствует расширению потока в плане и представлена рис. XVIII-12а; вторая схема соответствует сужению потока в плане и представлена на рис. XVIII-12б.

Если при этом исходить из положения, что между сечениями *1—1* и *2—2* переменная ширина потока b изменяется по линейному закону, т. е. что в расстоянии x от сечения *1—1* ширина потока будет

$$b = b_1 + (b_2 - b_1)\frac{x}{l}, \qquad \text{(XVIII-19)}$$

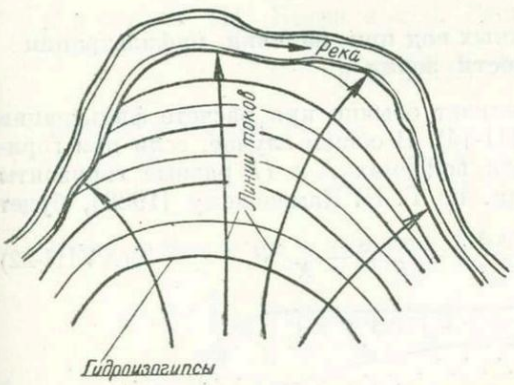


Рис. XVIII-11. Схема радиального движения подземных вод.

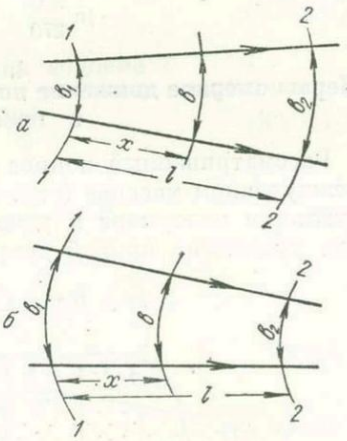


Рис. XVIII-12. Случаи расширения и сужения подземного потока в плане.

где b_1 и b_2 ширина в сечениях *1 — 1* и *2 — 2*, то расход потока определяется по формуле Г. Н. Каменского [1943]:

$$Q = K\frac{b_2 - b_1}{\ln\frac{b_2}{b_1}} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \qquad \text{(XVIII-20)}$$

где K — коэффициент фильтрации, а все другие обозначения указаны на рис. XVIII-13.

Кривая депрессии может быть построена по уравнению

$$h = \sqrt{h_1^2 - (h_1^2 - h_2^2)\frac{\ln\frac{b}{b_1}}{\ln\frac{b_2}{b_1}}}, \qquad \text{(XVIII-21)}$$

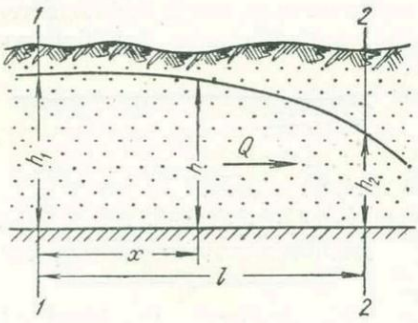


Рис. XVIII-13. Продольный разрез по пласту при радиальном движении подземных вод.

где b — ширина потока в расстоянии x от сечения *1—1*, определяется по формуле (XVIII-19).

Пример. Радиальный расходящийся подземный поток в песках, коэффициент фильтрации которых $K = 2$ *м/сутки*, характеризуется тем, что на протяжении $l = 700$ *м* ширина потока увеличивается от $b_1 = 270$ *м* до $b_2 = 900$ *м*. Разведочным бурением установлено, что мощность подземного потока на указанном протяжении уменьшается от $h_1 = 4{,}8$ *м* до $h_2 = 3{,}7$ *м*. Определить расход.

Подставляя в формулу (XVIII-20) эти данные, находим

$$Q = 2{,}0\,\frac{900 - 270}{\ln\frac{900}{270}} \cdot \frac{4{,}8^2 - 3{,}7^2}{2 \cdot 700} = 14{,}5 \text{ м}^3/\text{сутки}.$$

Неравномерное движение подземных вод при наличии инфильтрации с поверхности земли

Рассматриваемый вопрос возникает обычно при расчете фильтрации в междуречном массиве (рис. XVIII-14). В общем случае, если при горизонтальном водоупоре в реках или водоемах *I* и *II* разные горизонты воды, уравнение кривой депрессии, по Г. Н. Каменскому [1938], будет

$$h^2 = h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_2^2}{l}S + \frac{wl}{K}S - \frac{w}{K}S^2, \qquad \text{(XVIII-22)}$$

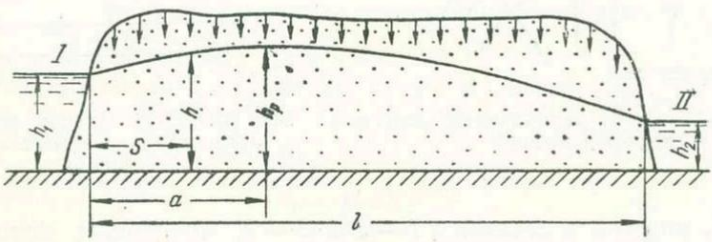


Рис. XVIII-14. Схема движения подземных вод при инфильтрации.

где S — расстояние от начального сечения — водоема I с большей глубиной до сечения подземного потока в котором глубина h;

l — расстояние между водоемами I и II;

w — величина инфильтрации — т. е. количество воды, просачивающейся с единицы поверхности в единицу времени.

Рассматривая, как и выше плоскую задачу, заметим, что полный инфильтрационный расход

$$q_0 = wl. \qquad \text{(XVIII-23)}$$

Кривая депрессии характеризуется максимумом, имеющим место при $S = a$, причем

$$a = \frac{l}{2} - K\frac{h_1^2 - h_2^2}{2wl}. \qquad \text{(XVIII-24)}$$

Как видно, здесь могут иметь место случаи, когда $a \leqslant 0$.

Случай I. Когда $a > 0$. Этот случай характеризуется тем, что на расстоянии a от водоема I сечение подземного потока является водораздельным. При этом происходит приток инфильтрационной воды к обоим водоемам I и II (этот случай и показан на рис. XVIII-14).

Расход в водоем I

$$q_1 = wa. \qquad \text{(XVIII-25)}$$

Расход в водоем II

$$q_2 = w(l - a). \qquad \text{(XVIII-26)}$$

Случай II. Когда $a = 0$. Расход в водоем I

$$q_1 = 0. \qquad \text{(XVIII-27)}$$

Расход в водоем II

$$q_2 = wl. \qquad \text{(XVIII-28)}$$

Случай III. Когда $a < 0$. Расход из водоема I

$$q_1 = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2l} - \frac{wl}{2}. \qquad \text{(XVIII-29)}$$

Расход в водоем II

$$q_2 = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2l} + \frac{wl}{2}. \qquad \text{(XVIII-30)}$$

Если уровни воды в водоемах I и II одинаковы, то

$$q_1 = q_2 = \frac{q_0}{2} = \frac{wl}{2}, \qquad \text{(XVIII-31)}$$

и

$$a = \frac{l}{2}. \qquad \text{(XVIII-32)}$$

Глубина подземного потока на водоразделе

$$h_p = \sqrt{h_1^2 + \frac{w}{K} \cdot \frac{l^2}{4}}, \qquad \text{(XVIII-33)}$$

Пример. Определить максимальную глубину грунтового потока в междуречном массиве (рис. XVIII-15), а также величины расходов в реку I и реку II, если расстояние между ними 1750 *м*, горизонтальный водоупор расположен на отметке 12,0 *м*, горизонты воды в реках I и II соответственно 16,5 и 14,0 *м*. Коэффициент фильтрации пород междуречного массива — 2 *м/сутки*. Величина инфильтрации — 0,0000345 *м/сутки*.

Таким образом значения пограничных глубин грунтового потока: $h_1 = 16{,}5 - 12{,}0 = 4{,}5$ *м*; $h_2 = 14{,}0 - 12{,}0 = 2{,}0$ *м*.

Водораздел находится в расстоянии a от реки I, определяемом по формуле (XVIII-24)

$$a = \frac{1750}{2} - 2\,\frac{4{,}5^2 - 2{,}0^2}{2 \cdot 0{,}0000345 \cdot 1750} = 605 \text{ м}.$$

Максимальная глубина потока на водоразделе определяется по формуле (XVIII-22), при $S = a = 605$ *м*.

$$h = \sqrt{4{,}5^2 - \frac{4{,}5^2 - 2{,}0^2}{1750}\,605 + \frac{0{,}0000345 \cdot 1750}{2}\,605 - \frac{0{,}0000345}{2}\,605^2} = 5{,}15 \text{ м}.$$

Удельный расход в реку I определяется по формуле (XVIII-25)

$$q_1 = 0{,}0000345 \cdot 605 = 0{,}0208 \text{ м}^2/\text{сутки}.$$

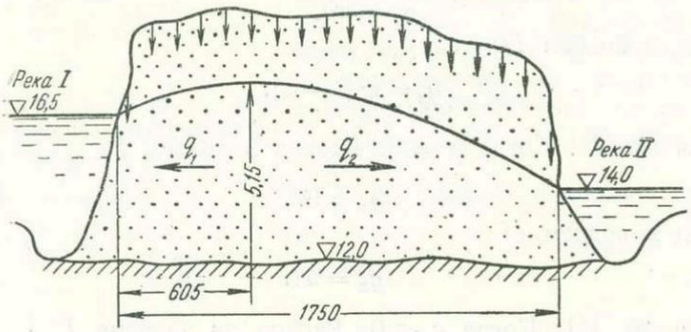


Рис. XVIII-15. Пример неравномерного движения подземных вод в междуречном массиве при инфильтрации.

Удельный расход в реку II определяется по формуле XVIII-26

$$q_2 = 0{,}0000345\,(1750 - 605) = 0{,}0395 \text{ м}^2/\text{сутки}.$$

Неравномерное движение подземных вод в условиях переменного значения уклона водоупора

На рис. XVIII-16 представлен случай, когда движение подземных вод происходит в условиях переменного значения уклона водоупора: на участке I длиной l_1, имеет место уклон i_1, на участке II длиной l_2 — уклон водоупора равен i_2.

Задача сводится к определению фильтрационного расхода по заданным значениям мощности подземного потока h_1 и h_3. Для решения этой задачи следует задаваться рядом значений удельного фильтрационного расхода: q_{I}, q_{II}, q_{III}, ... (имеется в виду определение удельного расхода в условиях плоской задачи). Далее по формуле (XVIII-7) для каждого из задаваемых расходов находится мощность подземного потока h_2 в начале второго участка; точно также находится h_1 в начале первого участка. Следовательно, получается ряд значений расхода q и соответствующих значений h_1.

Построением графика $q = f(h_1)$ можно по заданному h_1 определить искомый расход q. Изложенное поясняется следующим примером.

Пример. Определить величину удельного расхода подземного потока в междуречном массиве (рис. XVIII-17), если у водоема A мощ-

ность подземного потока $h_1 = 7{,}8$ *м*, у водоема B мощность подземного потока $h_4 = 0{,}8$ *м*. Массив характеризуется наличием трех участков: на участке I длиной $l_1 = 500$ *м* имеет место обратный уклон водоупора $i_1 = 0{,}012$; на участке II длиной $l_2 = 400$ *м* имеет место прямой уклон водоупора $i_2 = 0{,}003$; на участке III длиной $l_3 = 300$ *м* — водоупор горизонтален, т. е. $i_3 = 0$. Коэффициент фильтрации пород $K = 0{,}8$ *м/сутки*.

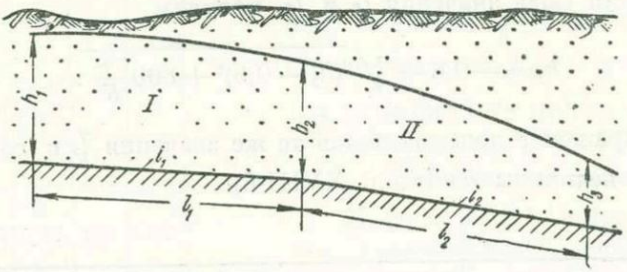


Рис. XVIII-16. Неравномерное движение подземных вод при переменном значении уклона водоупора.

Для определения величины q удобно задаваться рядом значений отношения $\frac{q}{K}$. При этом на участке III для нахождения h_3 применима формула (XVIII-17), из которой, учитывая обозначения на рис. XVIII-17, следует, что

$$h_3 = \sqrt{2\frac{q}{K}l_3 + h_4^2}.$$

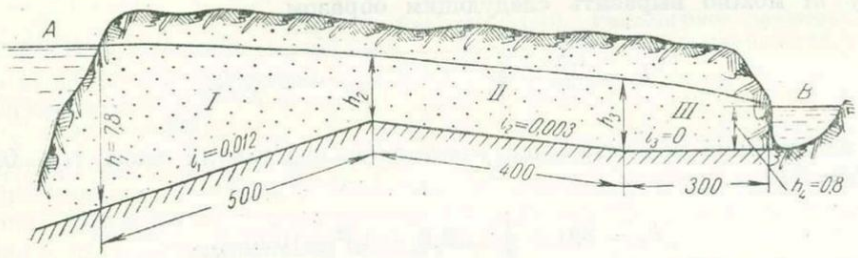


Рис. XVIII-17. Кривая депрессии при переменном значении уклона водоупора.

Подставляя сюда численные значения l_3 и h_4, найдем, что

$$h_3 = \sqrt{600\frac{q}{K} + 0{,}64}.$$

Задаваясь теперь рядом значений $\frac{q}{K}$, определим соответствующие величины h_3 (табл. XVIII-5).

Таблица XVIII-5

$\frac{q}{K}$	h_3
0,006	2,06
0,004	1,75
0,002	1,36

Переходя ко второму участку, будем исходить из формулы (XVIII-7), применяя к ней соответствующие обозначения рис. XVIII-17. При этом можно глубину h_2 выразить следующим образом

$$h_2 = \frac{-i_2 l_2}{2} + \sqrt{\left(h_3 - \frac{i_2 l_2}{2}\right)^2 + 2\frac{q}{K} l_2}.$$

Подставляя сюда значения i_2 и l_2, получим

$$h_2 = -0{,}6 + \sqrt{(h_3 - 0{,}6)^2 + 800\frac{q}{K}}.$$

В это выражение подставляются те же значения $\frac{q}{K}$ и соответственно вычисленные величины h_3 (табл. XVIII-6).

Таблица XVIII-6

$\frac{q}{K}$	h_3	h_2
0,006	2,06	2,03
0,004	1,75	1,53
0,002	1,36	0,88

Переходя теперь к первому участку, поскольку на нем имеет место обратный уклон, будем исходить из формулы (XVIII-14), применяя к ней соответствующие обозначения рис. XVIII-17. При этом искомую глубину h_1 можно выразить следующим образом

$$h_1 = \frac{i_1 l_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{i_1 l_1}{2} + h_2\right)^2 + 2\frac{q}{K} l_1}.$$

Аналогично подсчетам на участке *II*, подставляя сюда $i_1 = 0{,}012$ и $l_1 = 500$ *м*, найдем

$$h_1 = 3{,}0 + \sqrt{(3{,}0 + h_2)^2 + 1000\frac{q}{K}}.$$

В это выражение подставляются значения $\frac{q}{K}$ и соответственно вычисленные величины h_2 (табл. XVIII-7).

Таблица XVIII-7

$\frac{q}{K}$	h_3	h_2	h_1
0,006	2,06	2,03	8,60
0,004	1,75	1,53	8,05
0,002	1,36	0,88	7,17

Данные этой таблицы представлены на рис. XVIII-18 в виде графиков $h_1 = f\left(\frac{q}{K}\right)$, $h_2 = f\left(\frac{q}{K}\right)$ и $h_3 = f\left(\frac{q}{K}\right)$. Откладывая на этом гра-

фике $h_1 = 7{,}8$ *м* найдем, что $\frac{q}{K} = 0{,}0034$, откуда искомый удельный расход

$$q = 0{,}0034 \cdot 0{,}8 = 0{,}00272 \ м^2/сутки.$$

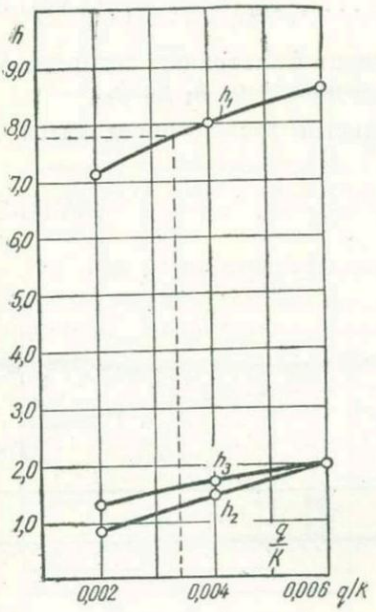


Рис. XVIII-18. Кривые $h = f\left(\frac{q}{K}\right)$ к примеру построения кривой депрессии при переменном значении уклона водоупора.

Что касается глубин подземного потока h_2 и h_3, то из графика (рис. XVIII-18) следует, что найденной величине $\frac{q}{K} = 0{,}0034$ соответствуют значения $h_2 = 1{,}3$ *м*; $h_3 = 1{,}6$ *м*.

§ 2. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В НЕОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ

Равномерное движение

На рис. XVIII-19 представлен случай равномерного движения в слоистых пластах, когда границы между

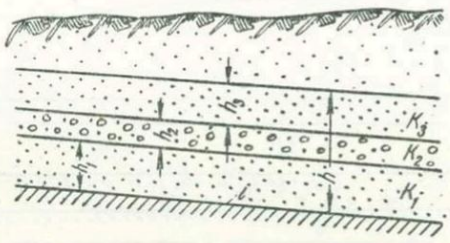


Рис. XVIII-19. Равномерное движение подземных вод в слоистых пластах.

пластами параллельны водоупору, а сами пласты характеризуются различной мощностью и коэффициентами фильтрации. Поскольку при равномерном движении уклон депрессионной поверхности равен уклону водоупора i, то удельный расход определяется по формуле

$$q = K_{ср} h i, \qquad \text{(XVIII-34)}$$

где

$$K_{ср} = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2 + \ldots + K_n h_n}{h}, \qquad \text{(XVIII-35)}$$

где $K_{ср}$ — среднее значение коэффициента фильтрации для n пластов, причем $h = h_1 + h_2 + \ldots + h_n$ — полная мощность водоносного горизонта.

K_1, K_2, K_3. . . и h_1, h_2, h_3. . . являются соответственно коэффициентами фильтрации и мощностями отдельных слоев.

Неравномерное движение подземных вод

I. Движение подземных вод в слоистых горизонтальных пластах, но кривая депрессии расположена в пределах пласта с постоянной водопроницаемостью.

Рассматриваемый случай характеризуется наличием нескольких слоев (рис. XVIII-20), причем мощности и коэффициенты фильтрации их соответственно M_1, M_2, M_3. . . и K_1, K_2, K_3. . . В условиях, когда кривая депрессии находится в пределах лишь верхнего слоя, приближенная величина удельного расхода, по Г. Н. Каменскому [1943]

$$q = K_1 M_1 \frac{h_1 - h_2}{l} + K_2 M_2 \frac{h_1 - h_2}{l} + \ldots + K_n \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \quad \text{(XVIII-36)}$$

где мощность верхнего n-го слоя, коэффициент фильтрации которого K_n, переменна и в пределах участка длиной l меняется от h_1 до h_2.

Для случая двухслойной толщи удельный расход определится по формуле (XVIII-36) следующим образом

$$q = K_1 M \frac{h_1 - h_2}{l} + K_2 \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \quad \text{(XVIII-37)}$$

где M — мощность нижнего слоя; остальные обозначения те же.

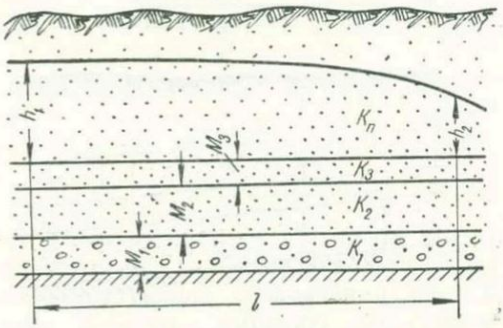


Рис. XVIII-20. Неравномерное движение подземных вод в слоистых пластах при $i = 0$.

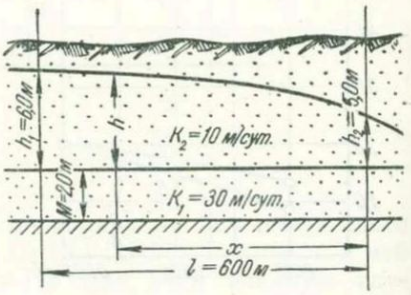


Рис. XVIII-21. Пример построения кривой депрессии в слоистых горизонтальных пластах.

Для определения ординаты кривой депрессии в верхнем слое в начале участка h_1 можно пользоваться формулой

$$h_1 = \sqrt{\left(M\frac{K_1}{K_2} + h_2\right)^2 + 2\frac{q}{K_2} l} - M\frac{K_1}{K_2}. \quad \text{(XVIII-38)}$$

Пример. Определить единичный расход и построить кривую депрессии грунтового потока в песчаных отложениях между скв. 1 и 2, расположенных по направлению движения потока; расстояние между скважинами $l = 600$ *м*; мощности водоносных слоев показаны на рис. XVIII-21. Коэффициенты фильтрации слоев песчаных отложений соответственно $K_1 = 30$ *м/сутки*; $K_2 = 10$ *м/сутки*.

Подставляя все известные величины в формулу (XVIII-37), найдем удельный расход

$$q = 30{,}0 \cdot 2{,}0\,\frac{6{,}0 - 5{,}0}{600} + 10{,}0\,\frac{6{,}0^2 - 5{,}0^2}{2 \cdot 600} = 0{,}1915\ м^2/сутки.$$

Вычисление ординат кривой депрессии производится по формуле (XVIII-38), в которой h_1 и l будут иметь переменные значения. Поэтому формула (XVIII-38) примет следующий вид

$$h = \sqrt{\left(M\frac{K_1}{K_2} + h_2\right)^2 + 2\frac{q}{K_2} x} - M\frac{K_1}{K_2}.$$

Подставляя сюда известные величины, получим

$$h = \sqrt{121 + 0{,}0383\,x} - 6{,}0.$$

Давая различные значения x (рис. XVIII-21), получим соответствующие ординаты кривой депрессии, отсчитываемые от подошвы верхнего слоя.

Результаты подсчетов сведены в табл. XVIII-8.

Таблица XVIII-8

x, *м*	0	100	200	300	400	500	600
h, *м*	5,0	5,17	5,29	5,51	5,68	5,84	6,0

II. Движение подземных вод в слоистых горизонтальных пластах, когда депрессия располагается в пределах нескольких водоносных слоев различной водопроницаемости.

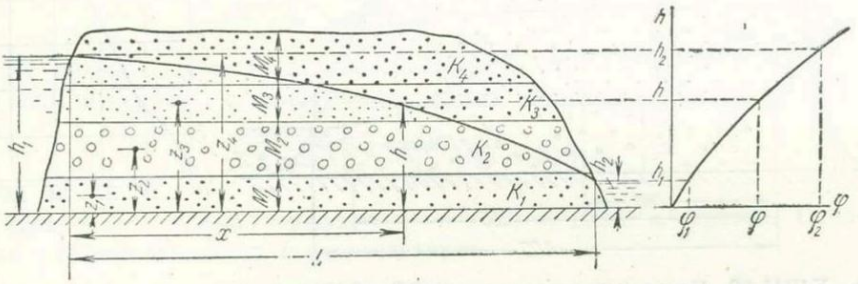


Рис. XVIII-22. Движение подземных вод в слоистых горизонтальных пластах; депрессия располагается в пределах нескольких водоносных слоев.

Этот случай показан на рис. XVIII-22. На протяжении длины L кривая депрессии пересекает несколько слоев, мощность и коэффициенты фильтрации которых соответственно M_1, M_2, M_3. . . и K_1, K_2, K_3. . . . Удельный фильтрационный расход, по Н. К. Гиринскому [1947]

$$q = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{L}, \qquad \text{(XVIII-39)}$$

где φ_1 и φ_2 — начальное и конечное значение потенциала Гиринского (см. ниже), соответствующие начальной и конечной глубине подземного потока h_1 и h_2.

Построение кривой депрессии ведется следующим образом. В промежуточном сечении подземного потока, характеризуемом координатами x и h, соответствующее значение потенциала Гиринского

$$\varphi = \varphi_1 - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{L}\,x. \qquad \text{(XVIII-40)}$$

С другой стороны, $\varphi = f(h)$, причем эта функциональная связь представлена особым графиком на рис. XVIII-22.

Потенциал Гиринского φ представляет собой следующее выражение

$$\varphi = K_1M_1(h - Z_1) + K_2M_2(h - Z_2) + \ldots + K_nM_n(h - Z_n), \qquad \text{(XVIII-41)}$$

где Z_1, Z_2, Z_3. . . — расстояния от водоупора до середины соответствующих слоев, h — глубина подземного потока, отсчитываемая от водоупора. Заметим, что потенциал Гиринского имеет размерность расхода.

Для построения графика $\varphi = f(h)$ задаются рядом значений h и для каждого из них по формуле (XVIII-41) определяют соответствующее значение φ.

Так, для $h = M_1$

$$\varphi = K_1 M_1 (h - Z_1);$$

для $h = M_1 + M_2$

$$\varphi = K_1 M_1 (h - Z_1) + K_2 M_2 (h - Z_2);$$

для $h = M_1 + M_2 + M_3$

$$\varphi = K_1 M_1 (h - Z_1) + K_2 M_2 (h - Z_2) + K_3 M_3 (h - Z_3) \text{ и т. д.}$$

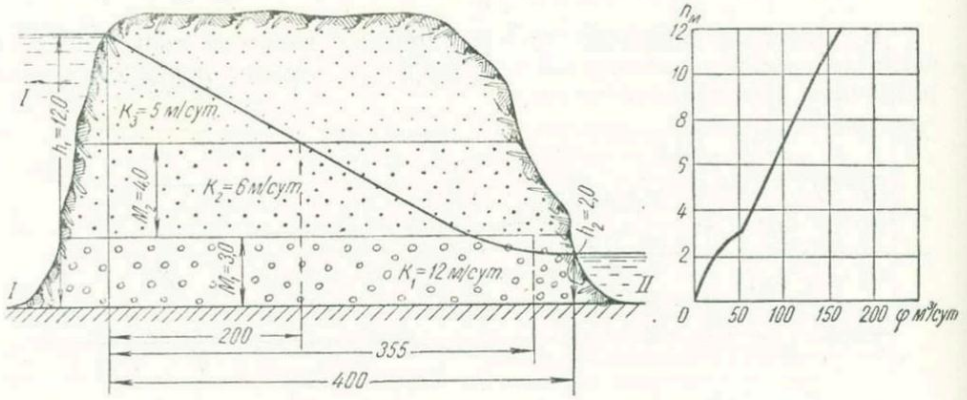


Рис. XVIII-23. Пример построения кривой депрессии в слоистых горизонтальных пластах междуречного массива.

Определение q и построение кривой депрессии показано на следующем примере.

Пример. Определить фильтрационный расход и построить кривую депрессии в междуречном массиве (рис. XVIII-23), сложенном из трех горизонтальных слоев. Мощность слоев $M_1 = 3{,}0$ *м*; $M_2 = 4{,}0$ *м*, $M_3 = 5{,}0$ *м*; коэффициенты фильтрации — $K_1 = 12$ *м/сутки*; $K_2 = 6{,}0$ *м/сутки*; $K_3 = 5{,}0$ *м/сутки*. Глубины воды в водоемах *I* и *II* — определяющие соответственно начальную и конечную глубины подземного потока — $h_1 = 12{,}0$ *м*, $h_2 = 2{,}0$ *м*. Расстояние между водоемами $L = 400$ *м*.

Для нижнего (первого) слоя $M_1 = 3{,}0$ *м*, $Z_1 = 1{,}5$ *м*, для ординаты $h = 3{,}0$ *м* (т. е. на границе первого и второго слоев) по формуле (XVIII-41) получим

$$\varphi = 12{,}0 \cdot 3{,}0\,(3{,}0 - 1{,}5) = 54 \text{ м}^3/\text{сутки}.$$

Для $h = 7{,}0$ *м*; $M_2 = 4{,}0$ *м*, $Z_2 = 3{,}0 + \frac{4{,}0}{2} = 5{,}0$ *м* по формуле (XVIII-41)

$$\varphi = 54{,}0 + 6{,}0 \cdot 4{,}0\,(7{,}0 - 5{,}0) = 54{,}0 + 48{,}0 = 102 \text{ м}^3/\text{сутки}.$$

Для начального значения потенциала φ_1 при $h_1 = 12{,}0$ *м*, $M_3 = 5{,}0$ *м*; $Z_3 = 3{,}0 + 4{,}0 + \frac{5{,}0}{2} = 9{,}5$ *м* по формуле (XVIII-41)

$$\varphi_1 = 54{,}0 + 48{,}0 + 5{,}0 \cdot 5{,}0\,(12{,}0 - 9{,}5) = 164{,}5\ м^3/сутки.$$

Для конечного значения потенциала φ_2 (у водоема *II*) при $h_2 = 2{,}0$ *м*; $M = 2{,}0$ *м*; $Z = 1{,}0$ *м*

$$\varphi_2 = 12{,}0 \cdot 2{,}0\,(2{,}0 - 1{,}0) = 24{,}0\ м^3/сутки.$$

По этим данным и построен график $\varphi = f(h)$ на рис. XVIII-23.

Таким образом, искомый удельный фильтрационный расход по формуле (XVIII-39)

$$q = \frac{164{,}5 - 24{,}0}{400} = 0{,}351\ м^2/сутки.$$

Для определения координат точек кривой депрессии из формулы (XVIII-40) имеем

$$x = \frac{\varphi_1 - \varphi}{\varphi_1 - \varphi_2} L = \frac{164{,}5 - \varphi}{164{,}5 - 24{,}0} 400.$$

Из графика $\varphi = f(h)$ (рис. XVIII-23) видим, что при $h = 3{,}0$ *м* $\varphi = 54{,}0$ $м^3/сутки$; следовательно, этому значению h соответствует

$$x = \frac{164{,}5 - 54{,}0}{164{,}5 - 24{,}0} 400 = 315\ м.$$

При $h = 7{,}0$ *м* по графику $\varphi = f(h) = 102{,}0$ $м^3/сутки$. Следовательно, этому значению h соответствует

$$x = \frac{164{,}5 - 102{,}0}{164{,}5 - 24{,}0} 400 = 178\ м.$$

Таким образом, координаты кривой депрессии следующие

h, *м*	2 0	3,0	7,0	12,0
x, *м*	400	315	178	0

III. Резкое изменение коэффициента фильтрации вдоль движения потока при горизонтальном водоупоре.

На рис. XVIII-24 показан случай фильтрации в междуречном массиве между водоемами A и B, глубины воды в которых соответственно h_1 и h_4. Расстояние между водоемами L характеризуется тем, что

$$L = l_1 + l_2 + l_3,$$

причем на границах l_1 и l_2, l_2 и l_3 происходит резкая смена коэффициентов фильтрации, значения которых соответственны участкам K_1, K_2, K_3.

Удельный расход в этом случае, по Г. Н. Каменскому [1943],

$$q = K_{ср} \frac{h_1^2 - h_4^2}{2L}, \qquad \text{(XVIII-42)}$$

где

$$K_{ср} = \frac{L}{\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2} + \frac{l_3}{K_3}}. \qquad \text{(XVIII-43)}$$

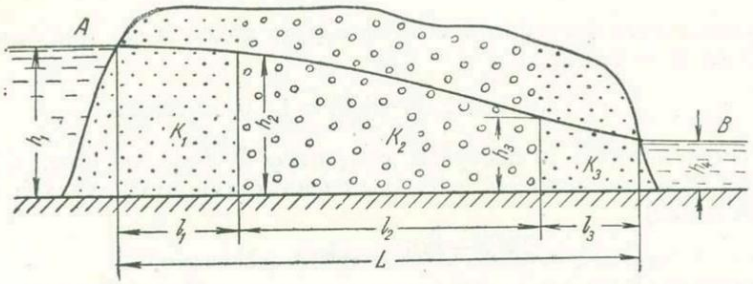


Рис. XVIII-24. Движение подземных вод в междуречном массиве при резкой смене коэффициента фильтрации вдоль движения

Мощности подземного потока на границах смены коэффициентов фильтрации (рис. XVIII-24) будут

$$h_2 = \sqrt{h_1^2 - \frac{2ql_1}{K_1}}, \qquad \text{(XVIII-44)}$$

$$h_3 = \sqrt{h_2^2 - \frac{2ql_2}{K_2}}. \qquad \text{(XVIII-45)}$$

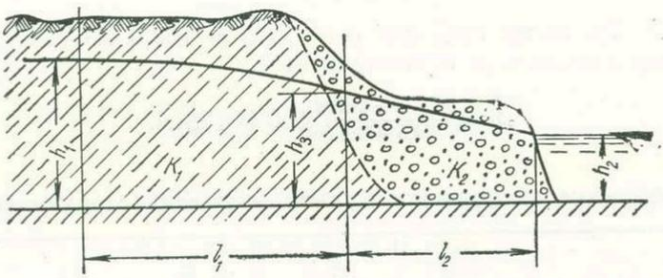


Рис. XVIII-25. Схема движения подземных вод при резкой смене коэффициента фильтрации вдоль движения.

Если коренные породы с коэффициентом фильтрации K_1 прикрыты аллювиальными отложениями, коэффициент фильтрации которых K_2 (рис. XVIII-25), причем протяженность этих отложений — l_2, то удельный расход может быть определен по глубине у реки h_2 и глубине подземного потока в коренных породах h_1, на расстоянии l_1 от места резкой смены коэффициентов фильтрации. Как и в предыдущем случае,

$$q = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2\left(\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2}\right)}. \qquad \text{(XVIII-46)}$$

Мощность подземного потока в раздельном сечении смены коэффициентов фильтрации

$$h_S = \sqrt{\frac{2ql_2}{K_2} + h_2^2} \qquad \text{(XVIII-47)}$$

или

$$h_s = \sqrt{h_1^2 - 2\frac{q}{K_1} l_1}. \qquad \text{(XVIII-48)}$$

Зная величину h_s, кривую депрессии в пределах коренных пород строят по формулам неравномерного движения при горизонтальном водоупоре.

IV. Постепенная смена коэффициента фильтрации вдоль потока.

Если, как то показано на рис. XVIII-26, коэффициент фильтрации водоносного горизонта изменяется вдоль движения не резко, а постепенно, по закону прямой линии, то в любом сечении x—x, отстоящем на расстоянии x от конечного сечения II, значение коэффициента фильтрации K может быть принято

$$K = K_2 - (K_2 - K_1)\frac{x}{L}, \qquad \text{(XVIII-49)}$$

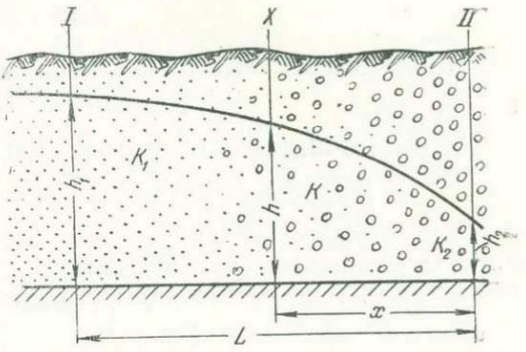


Рис. XVIII-26. Неравномерное движение подземных вод в условиях постепенного изменения коэффициента фильтрации.

где K_1 и K_2 — коэффициенты фильтрации в сечениях I и II;

L — расстояние между этими сечениями.

Удельный фильтрационный расход по формуле Г. Н. Каменского [1943]

$$q = K_{ср}\frac{h_1^2 - h_2^2}{2L}, \qquad \text{(XVIII-50)}$$

где

$$K_{ср} = \frac{K_2 - K_1}{\ln\frac{K_2}{K_1}}. \qquad \text{(XVIII-51)}$$

Ордината кривой депрессии h на расстоянии x от сечения II определится следующим образом

$$h = \sqrt{h_2^2 + 2qx\frac{\ln\frac{K_2}{K}}{K_2 - K}}. \qquad \text{(XVIII-52)}$$

Глава XIX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ПОДЗЕМНОГО ПОТОКА В НАПОРНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТАХ

§ 1. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ

Равномерное движение подземных вод

В водоносном горизонте, кровля и подошва которого могут быть приняты водоупорными, при постоянной его мощности M, — как показано на рис. XIX-1, — в условиях плоской задачи имеет место р а в н о м е р н о е движение. Скорость фильтрации сохраняет вдоль движения постоянное значение — вне зависимости от уклона кровли и почвы пласта

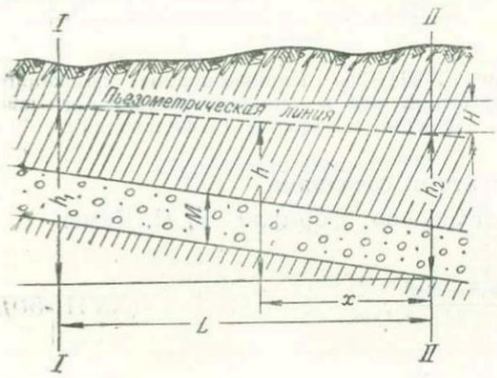


Рис. XIX-1. Равномерное движение подземных вод в пласте постоянной мощности.

Удельный фильтрационный расход

$$q = KM\frac{H}{L}, \qquad \text{(XIX-1)}$$

где K — коэффициент фильтрации породы;

M — постоянная мощность пласта;

H — разность напоров* h_1 и h_2 в сечениях $I—I$ и $II—II$, расстояние между которыми L.

Пьезометрическая линия в этом случае — прямая. Напор h в любом сечении пласта, отстоящем на x от конечного сечения $II—II$, будет

$$h = h_2 + \frac{H}{L}x. \qquad \text{(XIX-2)}$$

Неравномерное движение подземных вод в пластах переменной мощности

На рис. XIX-2а и 2б представлены случаи движения подземных вод в пластах, подошва и кровля которых могут быть приняты водонепроницаемыми, причем мощность пласта вдоль потока переменна. Возможны два случая движения (имея в виду плоскую задачу).

---

* Здесь h_1 и h_2 не напоры, а высота пьезометрических уровней в первом и втором сечении потока, измеряемая от некоторой условной горизонтальной плоскости. *Научн. ред.*

Первый случай (рис. XIX-2а) соответствует движению потока в сторону увеличивающейся мощности пласта, которое характеризуется пьезометрической линией, обращенной вогнутостью кверху.

Второй случай, показанный на рис. XIX-2б, соответствует движению потока в сторону уменьшающейся мощности пласта, которое характеризуется пьезометрической линией, обращенной вогнутостью книзу.

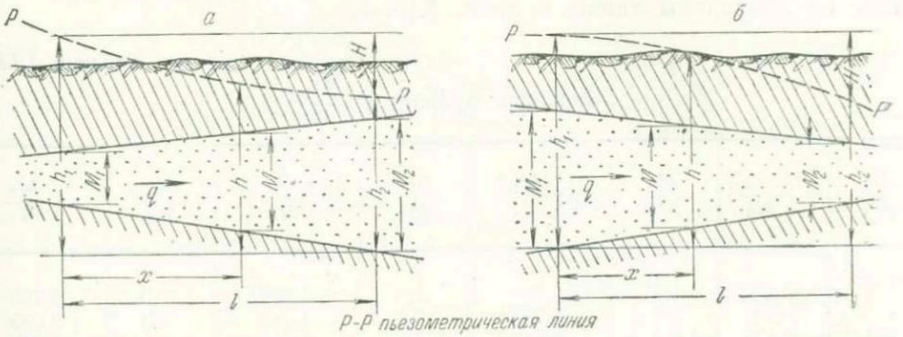


Рис. XIX-2. Неравномерное движение подземных вод в пластах переменной мощности.

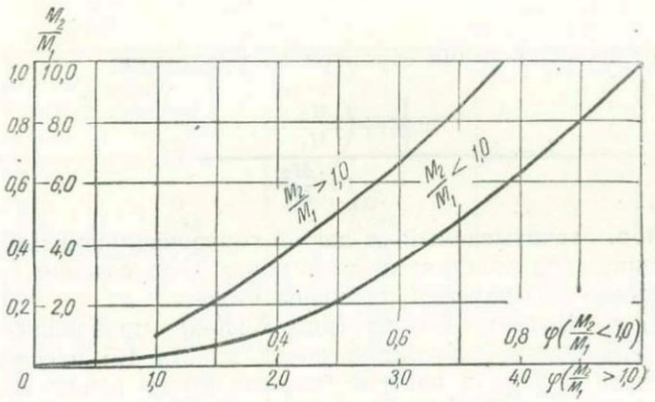


Рис. XIX-3. Кривые функций $\varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$.

При этом, по формулам В. И. Давидовича [1949], удельный фильтрационный расход

$$q = \frac{KH}{l} \cdot \frac{M_2 - M_1}{\ln \frac{M_2}{M_1}}, \qquad \text{(XIX-3)}$$

где K — коэффициент фильтрации пород;

$H = h_1 - h_2$ — разность напоров, отсчитываемых от любой горизонтальной плоскости в начале и в конце рассматриваемого участка длиною l;

M_1 и M_2 — соответственно начальная и конечная мощности пласта.

Вместо формулы (XIX-3) удельный расход можно выразить таким образом

$$q = K \frac{H}{l} M_1 \varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right), \qquad \text{(XIX-4)}$$

где

$$\varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right)=\frac{\frac{M_2}{M_1}-1}{\ln\frac{M_2}{M_1}}. \qquad \text{(XIX-5)}$$

Эта функция представлена на графике рис. XIX-3; численные значения ее приведены также в табл. XIX-1.

Таблица XIX-1

Значения функции $\varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$

$\frac{M_2}{M_1}$	$\varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$	$\frac{M_2}{M_1}$	$\varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$	$\frac{M_2}{M_1}$	$\varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$	$\frac{M_2}{M_1}$	$\varphi\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$
0	0	0,5	0,721	1,0	1,000	6,0	2.790
0,1	0.390	0,6	0,784	2,0	1,445	7,0	3,085
0,2	0,497	0,7	0,842	3,0	1,820	8,0	3.360
0,3	0,581	0,8	0,895	4,0	2,165	9,0	3,650
0,4	0,655	0,9	0,942	5,0	2·480	10,0	3,970

Пьезометрическая линия строится по уравнению

$$h=h_1-\frac{\ln\left[1+\left(\frac{M_2}{M_1}-1\right)\frac{x}{l}\right]}{\ln\frac{M_2}{M_1}}H, \qquad \text{(XIX-6)}$$

где h — напор, отсчитываемый от любой горизонтальной плоскости в сечении, отстоящем на расстоянии x от начального сечения (рис. XIX-2а и 2б); остальные обозначения пояснены выше.

Пример. Питание болота (рис. XIX-4) происходит по пласту из реки; коэффициент фильтрации пород пласта 1,5 *м/сутки*. Отметки горизонта воды в реке и водоеме соответственно равны 33,7 и 28,4, а мощности пласта $M_1 = 2{,}14$ *м*; $M_2 = 7{,}7$ *м*. Расстояние между водоемом и рекой $l = 475$ *м*. Определить фильтрационный расход воды и построить пьезометрическую линию.

Удельный фильтрационный расход воды определяем по формуле (XIX-3). Разность напоров в начале и в конце пласта $H = 33{,}7 - 28{,}4 = 5{,}3$ *м*.

$$q=\frac{1{,}5\cdot 5{,}3}{47}\cdot\frac{7{,}7-2{,}14}{\ln\frac{7{,}7}{2{,}14}}=0{,}073\ м^2/сутки.$$

Для построения пьезометрической линии по формуле (XIX-6) будем отсчитывать напоры от уровня воды в водоеме, т. е. от отметки 28,4. Тогда, очевидно, $h_1 = H$, $h_2 = 0$, и вместо формулы (XIX-6) будем иметь

$$h=H\left\{1-\frac{\ln\left[1+\left(\frac{M_2}{M_1}-1\right)\frac{x}{l}\right]}{\ln\frac{M_2}{M_1}}\right\}=5{,}3\left[1-\frac{\ln\left(1+2{,}6\frac{x}{l}\right)}{1{,}28}\right].$$

Задаваясь рядом значений x (для удобства вычислений целесообразно задаваться значениями $\frac{x}{l}$) и подставляя эти значения в приведенное выражение, определяем соответствующие пьезометрические напоры.

Все вычисления сведены в табл. XIX-2

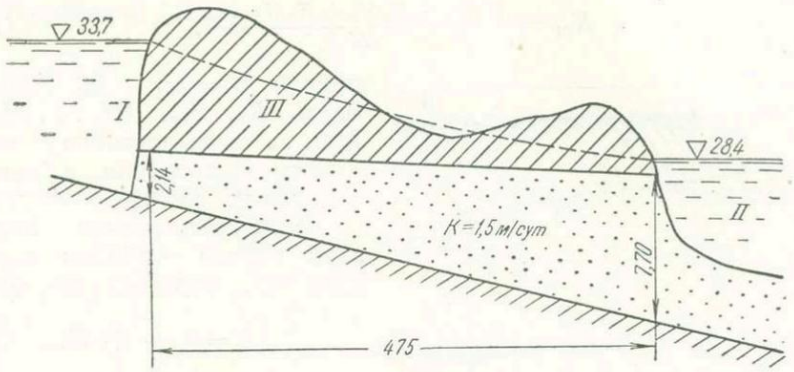


Рис. XIX-4. Построение пьезометрической линии и определение фильтрационного расхода в пласте переменной мощности.

Таблица XIX-2

$\frac{x}{l}$	x, м	$2{,}6\frac{x}{l}+1$	$\frac{\ln\left(2{,}6\frac{x}{l}+1\right)}{1{,}28}$	$1-\frac{\ln\left(2{,}6\frac{x}{l}+1\right)}{1{,}28}$	h, м $=5{,}3\left[1-\frac{\ln\left(2{,}6\frac{x}{l}+1\right)}{1{,}28}\right]$
0	0	1,0	0	1,0	5.30
0,1	47,5	1,26	0,184	0,816	4.35
0,2	95,0	1,52	0,332	0,668	3,55
0,3	142,5	1,78	0,455	0,545	2,90
0,4	190,0	2,04	0,558	0,442	2,30
0,5	237,5	2,30	0,650	0,350	1,85
0,6	285,0	2,56	0,742	0,258	1,37
0,7	332 5	2,82	0,815	0,185	0,98
0,8	380,0	3,08	0,885	0,115	0,61
0,9	427,5	3,34	0,945	0,055	0,29
1,0	475,0	3,60	1,000	0	0

По данным табл. XIX-2 на рис. XIX-4 построена пьезометрическая кривая.

§ 2. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В НЕОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ

Равномерное движение в слоистом пласте

Случай равномерного напорного движения в водоносном горизонте, образованном несколькими слоями с различными коэффициентами фильтрации, представлен на рис. XIX-5.

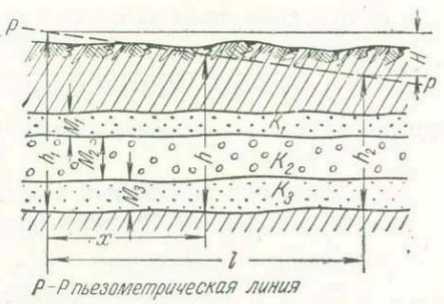


Рис. XIX-5. Равномерное движение подземных вод в слоистом пласте.

Если кровля и почва этого пласта могут быть приняты водоупорными то удельный фильтрационный расход воды определяется по формуле

$$q = K_{ср} M \frac{H}{l} \qquad \text{(XIX-7)}$$

где

$$K_{ср} = \frac{K_1 M_1 + K_2 M_2 + K_3 M_3 \ldots}{M}, \qquad \text{(XIX-8)}$$

причем $M = M_1 + M_2 + M_3 \ldots$. Здесь K_1, K_2, $K_3 \ldots$, M_1, M_2, $M_3 \ldots$ соответственно коэффициенты фильтрации и мощности отдельных слоев.

Пьезометрическая линия в этом случае — прямая и, следовательно, строится по формуле

$$h = h_1 - \frac{x}{l} H. \qquad \text{(XIX-9)}$$

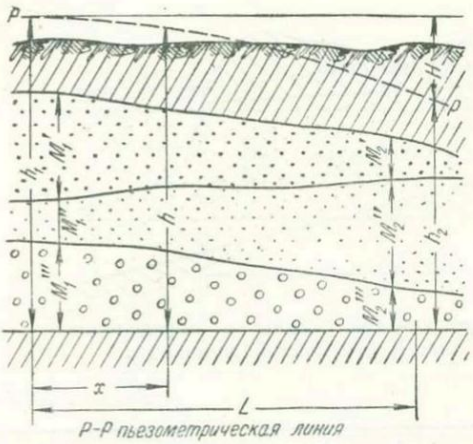


Рис. XIX-6. Движение подземных вод в слоистом пласте переменной мощности.

Движение подземных вод в слоистом пласте переменной мощности

Если водоносный пласт состоит из нескольких слоев, характеризуемых различными значениями коэффициентов фильтрации K_1, K_2, K_3 и переменной мощностью каждого слоя, как это показано на рис. XIX-6, то удельный фильтрационный расход определяется, по В. И. Аравину и С. Н. Нумерову [1955],

$$q = [K_1 (M_1' + M_2'') + K_2 (M_1'' + M_2'') + K_3 (M_1''' + M_2''') + \ldots] \frac{H}{2L}, \qquad \text{(XIX-10)}$$

где M_1' и M_2' — мощности в начале и конце участка длиною L в первом слое;

M_1'' и M_2'' — то же во втором слое и т. д.;

K_1, K_2, K_3 — коэффициенты фильтрации слоев.

Построение пьезометрической линии производится по формуле

$$h = h_1 - \frac{2qx}{K_1 (M_1' + M_2') + K_2 (M_1'' + M_2'') + K_3 (M_1''' + M_2''') + \ldots}, \qquad \text{(XIX-11)}$$

где h — напор в сечении, отстоящем на расстоянии x от начального.

Движение подземных вод в пластах переменной мощности при коэффициенте фильтрации, изменяющемся вдоль потока

Движение подземных вод в пластах переменной мощности (рис. XIX-7а и 7б) может характеризоваться изменением коэффициента фильтрации вдоль движения по линейному закону, причем

$$K = K_1 + (K_2 - K_1) \frac{x}{l}. \qquad \text{(XIX-12)}$$

Здесь K — коэффициент фильтрации породы пласта в сечении, отстоящем на расстоянии x от начального сечения;

K_1 и K_2 — соответственно коэффициенты фильтрации в начале и конце участка длиной l.

Удельный фильтрационный расход определяется по формуле В. И. Давидовича [1949]

$$q = \frac{K_1M_2 - K_2M_1}{\ln \frac{K_1M_2}{K_2M_1}} \cdot \frac{H}{l}. \qquad \text{(XIX-13)}$$

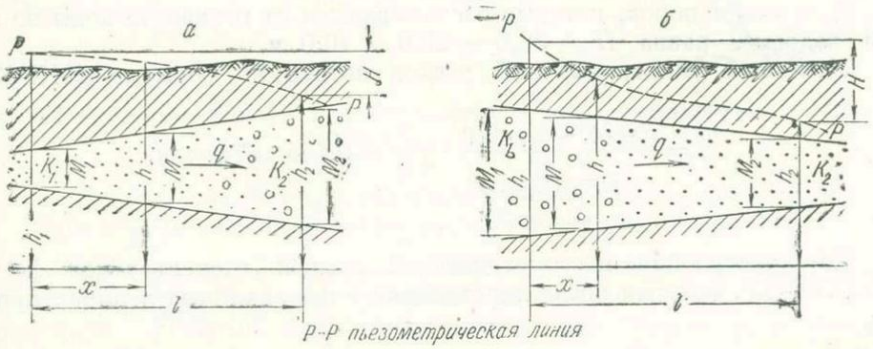


Рис. XIX-7. Неравномерное движение подземных вод в пластах переменной мощности при постепенно изменяющемся коэффициенте фильтрации.

Пьезометрическая линия строится по уравнению

$$h = h_1 - \frac{\ln \frac{K_1M}{KM_1}}{\ln \frac{K_1M_2}{K_2M_1}} H, \qquad \text{(XIX-14)}$$

где h — напор в сечении, находящемся в расстоянии x от начального;

$M = M_1 + (M_2 - M_1)\frac{x}{l}$ — мощность в том же сечении.

Вместо формулы (XIX-14) для построения пьезометрической линии удобно пользоваться следующим видом уравнения

$$h = h_1 - \frac{\ln \frac{\left(\frac{M_2}{M_1} - 1\right)\frac{x}{l} + 1}{\left(\frac{K_2}{K_1} - 1\right)\frac{x}{l} + 1}}{\ln \frac{K_1M_2}{K_2M_1}} H, \qquad \text{(XIX-15)}$$

где обозначения те же.

Форма пьезометрической кривой определяется из следующих соображений:

а) если $K(M_2 - M_1) + M(K_2 - K_1) > 0$, то пьезометрическая кривая имеет выпуклость вниз;

б) если $K(M_2 - M_1) + M(K_2 - K_1) < 0$, то пьезометрическая кривая имеет выпуклость вверх;

в) если $K(M_2 - M_1) + M(K_2 - K_1) = 0$, то пьезометрическая линия характеризуется наличием точки перегиба.

Пример. Между водоемами I и II (рис. XIX-8) фильтрация происходит по уменьшающемуся в мощности пласту. Мощность его у водоема I — $M_1 = 12$ *м*; у водоема II — $M_2 = 4{,}0$ *м*. Коэффициент фильтрации пласта переменный, изменяется по линейному закону, причем у водоема I — $K_1 = 0{,}1$ *м/сутки*, у водоема II — $K_2 = 2$ *м/сутки*. Отметки воды в водоемах I и II соответственно 30,0 и 20,0, а расстояние между ними $L = 400$ *м*. Определить удельный фильтрационный расход потока и построить пьезометрическую линию.

Разность напоров, которые отсчитываются от горизонта воды во втором водоеме, равна $H = 30{,}0 - 20{,}0 = 10{,}0$ *м*.

Удельный фильтрационный расход потока по формуле (XIX-13)

$$q = \frac{0{,}1 \cdot 4{,}0 - 2{,}0 \cdot 12{,}0}{\ln \frac{0{,}1 \cdot 4{,}0}{2{,}0 \cdot 12{,}0}} \cdot \frac{10}{400} = 0{,}144 \ м^2/сутки.$$

Для построения пьезометрической кривой воспользуемся формулой (XIX-15), которая после подстановки в нее заданных величин примет вид

$$h = 10\left[1 + \frac{\ln \dfrac{1 - 0{,}67\,\dfrac{x}{l}}{1 + 19{,}0\,\dfrac{x}{l}}}{4{,}095}\right].$$

Задаваясь рядом значений x и подставляя их в приведенное выражение, найдем соответствующие значения h; все подсчеты сведены в табл. XIX-3.

Таблица XIX-3

$\frac{x}{l}$	x, *м*	$1 - 0{,}67\,\frac{x}{l}$	$1 + 19\,\frac{x}{l}$	$\ln\left(\frac{1 - 0{,}67\,\frac{x}{l}}{1 + 19\,\frac{x}{l}}\right)$	$\frac{\ln\left(\frac{1 - 0{,}67\,\frac{x}{l}}{1 + 19\,\frac{x}{l}}\right)}{4{,}095}$	$1 + \frac{\ln\left(\frac{1 - 0{,}67\,\frac{x}{l}}{1 + 19\,\frac{x}{l}}\right)}{4{,}095}$	h, *м*
0	0	1,000	1,0	0	0	1,000	10,00
0,2	80	0,866	4,8	—1,71	—0,417	0,583	5,83
0.4	160	0,732	8,6	—2,47	—0,602	0,398	3,98
0.6	240	0,598	12,4	—3,04	—0,745	0,255	2,55
0,8	320	0,464	16,2	—3,55	—0,865	0,135	1,55
1,0	400	0,330	20,0	—4,09	—1,000	0	0

По данным этой таблицы на рис. XIX-8 построена пьезометрическая линия.

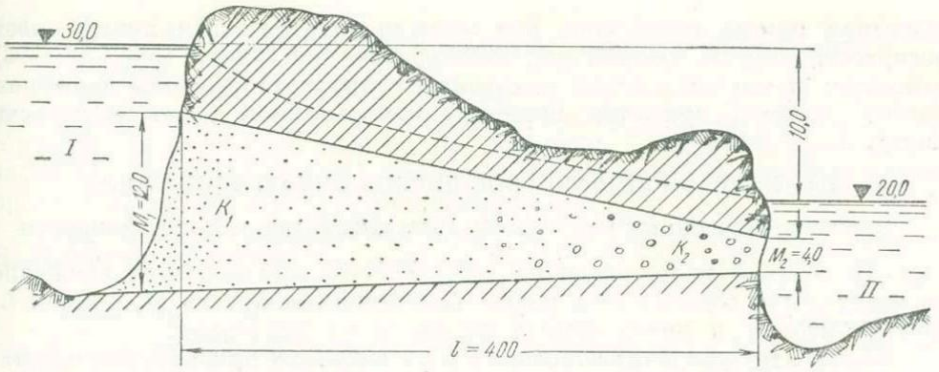


Рис. XIX-8. Неравномерное движение подземных вод в междуречном массиве при постепенном изменении коэффициента фильтрации.

Движение подземных вод в пласте постоянной мощности при коэффициенте фильтрации, изменяющемся вдоль потока

Схема движения, показанная на рис. XIX-9а и 9б, является частным случаем рассмотренных выше условий движения подземных вод в пласте переменной мощности при коэффициенте фильтрации, изменяющемся вдоль потока.

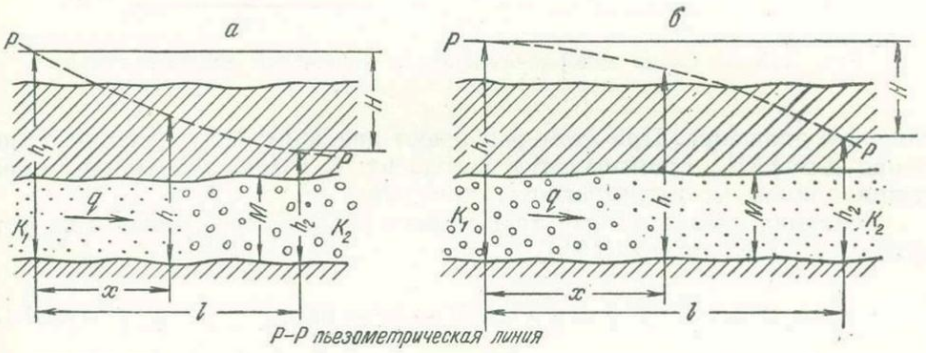


Рис. XIX-9. Неравномерное движение подземных вод в пласте постоянной мощности при постепенном изменении коэффициента фильтрации.

По формуле Г. Н. Каменского [1943], удельный фильтрационный расход

$$q = \frac{K_1 - K_2}{\ln \frac{K_1}{K_2}} M \frac{H}{l}. \qquad \text{(XIX-16)}$$

Пьезометрическая линия может быть построена по уравнению

$$= h_1 - \frac{\ln\left[1 + \left(\frac{K_2}{K_1} - 1\right)\frac{x}{l}\right]}{\ln \frac{K_2}{K_1}} H. \qquad \text{(XIX-17)}$$

Здесь возможны два вида пьезометрической линии. Первый (рис. XIX-9а) относится к случаю, когда коэффициент фильтрации вдоль

движения потока возрастает, при этом пьезометрическая линия имеет вогнутость кверху. Второй вид пьезометрической линии (рис. XIX-9б) относится к случаю, когда коэффициент фильтрации вдоль движения потока убывает; при этом пьезометрическая линия имеет вогнутость книзу.

§ 3. НАПОРНО-БЕЗНАПОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Движение подземных вод в однородном пласте постоянной мощности

Этот случай представлен на рис. XIX-10, где показано движение из водоема *I* к водоему *II* в пласте постоянной мощности M, длиной L, причем кровля и почва пласта являются водоупорными.

Если в этих условиях горизонт воды в водоеме *I* выше кровли пласта, а в водоеме *II* ниже кровли пласта, то в пласте имеет место напорно-без-

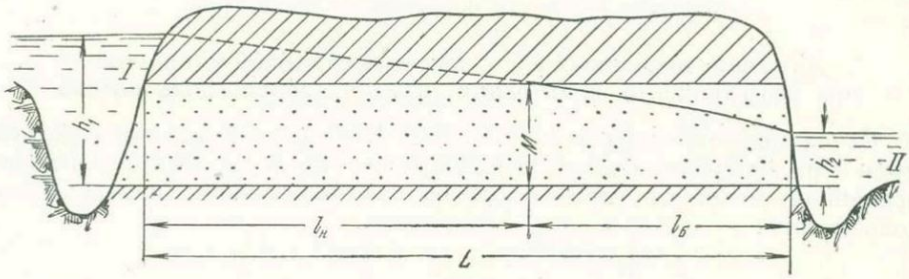


Рис. XIX-10. Схема напорно-безнапорного движения подземных вод.

напорное движение. При этом различают две зоны: зону напорного движения длиной $l_н$, примыкающую к водоему *I*, и зону безнапорного движения длиной $l_б$, примыкающую к водоему *II*.

Величина удельного фильтрационного расхода определяется по формуле В. И. Давидовича [1948]

$$q = \frac{K}{2L}(2h_1M - h_2^2 - M^2). \qquad \text{(XIX-18)}$$

Напорный режим переходит в безнапорный в сечении, где пьезометрическая линия переходит в депрессионную, на расстоянии $l_н$ от начала, причем

$$l_н = \frac{KM(h_1 - M)}{q}. \qquad \text{(XIX-19)}$$

Пьезометрическая линия в напорной зоне строится по формуле

$$h = h_1 - \frac{h_1 - M}{l_н}\,x. \qquad \text{(XIX-20)}$$

Депрессионная линия в безнапорной зоне строится по формуле

$$h = \sqrt{M^2 - 2\frac{q}{K}x}, \qquad \text{(XIX-21)}$$

где h — глубина подземного потока на расстоянии x от границы между зонами с напорным и безнапорным режимом.

Движение подземных вод в слоистом горизонтальном пласте

Если в слоистом горизонтальном пласте (рис. XIX-11), кровля и почва которого водоупорны, питание осуществляется из области *I*, где горизонт воды выше кровли, а разгрузка осуществляется в области *II*, где горизонт воды ниже кровли, то в таком слоистом пласте происходит напорно-безнапорное движение.

Удельный фильтрационный расход определяется по формуле Н. К. Гиринского [1947]

$$q = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{L}, \qquad \text{(XIX-22)}$$

где L — длина участка;

φ_1 и φ_2 — начальное и конечное значения потенциала Гиринского, соответствующего глубинам h_1 и h_2, причем

$$\varphi_1 = (K_1M_1 + K_2M_2 + \ldots + K_nM_n)\,h_1 - (K_1M_1Z_1 + K_2M_2Z_2 + \ldots + K_nM_nZ_n), \qquad \text{(XIX-23)}$$

где K_1, K_2, K_3 — коэффициенты фильтрации отдельных слоев;

M_1, M_2, M_3 — мощности слоев;

Z_1, Z_2, Z_3 — расстояния от центров тяжести слоев до водоупорной почвы пласта.

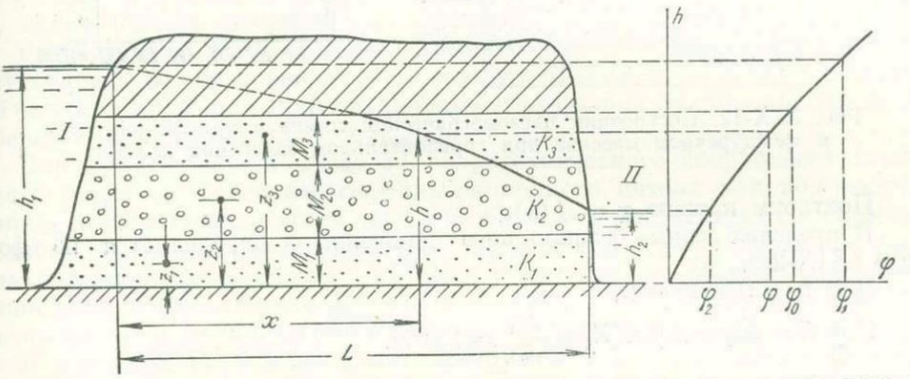


Рис. XIX-11. Движение подземных вод в междуречном массиве при горизонтальном залегании слоев.

Что касается величины φ_2, то ее удобно снимать с графика $\varphi = f(h)$, который строится следующим образом. В пределах между $h = 0$ и $h = M_1 + M_2 + M_3 + \ldots$ величина φ определяем по формуле

$$\varphi = K_1M_1(h - Z_1) + K_2M_2(h - Z_2) + \ldots + K_nM_n(h - Z_n). \qquad \text{(XIX-24)}$$

Здесь h — глубина подземного потока в зоне безнапорного движения; при этом для построения графика $\varphi = f(h)$ в этой зоне целесообразно задаваться величинами $h = M_1$, $h = M_1 + M_2$, $h = M_1 + M_2 + M_3$ и т. д. В зоне напорного движения, где напор изменяется в пределах от $h = M_1 + M_2 + \ldots + M_n$ до $h = h_1$, график $\varphi = f(h)$ представляется прямой (рис. XIX-11).

Построение как депрессионной кривой в пределах безнапорной зоны, так и пьезометрической линии в пределах напорной зоны ведется следую-

щим образом. Задаваясь величиной x, для которой определяется значение h, находим соответствующую величину потенциала Гиринского

$$\varphi = \varphi_1 - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{L} x \qquad \text{(XIX-25)}$$

и по графику $\varphi = f(h)$ находим искомое значение h.

Изложенное поясняется следующим примером.

Пример. Определить величину удельного фильтрационного расхода при движении воды из водоема *I* в водоем *II* (рис. XIX-12) по горизонтальному пласту, образованному из четырех слоев, характеризуемых следующими коэффициентами фильтрации и мощностями: $K_1 = 1$ *м/сутки*, $K_2 = 12$ *м/сутки*; $K_3 = 3$ *м/сутки*; $K_4 = 8$ *м/сутки*; $M_1 = 4{,}0$ *м*, $M_2 = 2{,}0$ *м*; $M_3 = 6{,}0$ *м*; $M_4 = 2{,}0$ *м*. Определить также местоположение границы перехода напорного движения в безнапорное, если расстояние между водоемами $L = 900$ *м*; начальный напор (глубина воды в водоеме *I*) $h_1 = 18{,}0$ *м*; конечная глубина $h_2 = 5{,}0$ *м*.

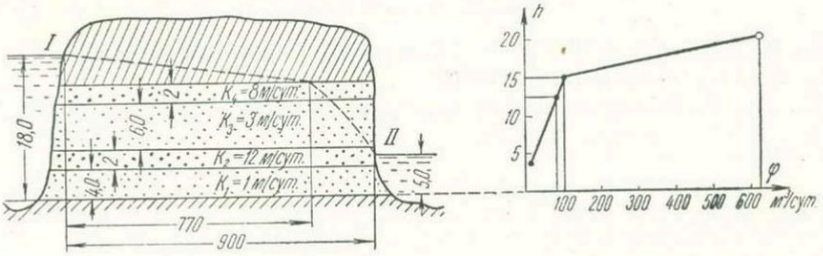


Рис. XIX-12. Построение пьезометрической линии и кривой депрессии в междуречном массиве при горизонтальном залегании пластов.

Построим кривую $\varphi = f(h)$.

В пределах зоны безнапорного движения φ определяется по формуле (XIX-24).

При $h = 0$ и $\varphi = 0$.

При $h = M_1 = 4{,}0$ *м*; $Z_1 = \frac{M_1}{2} = 2{,}0$ *м*.

$$\varphi = K_1 M_1 (h - Z_1) = 1 \cdot 4\,(4{,}0 - 2{,}0) = 8 \ м^3/сутки.$$

При $h = M_1 + M_2 = 4{,}0 + 2{,}0 = 6{,}0$ *м*, $Z_2 = M_1 + \frac{M_2}{2} = 5{,}0$ *м*.

$$\varphi = 8{,}0 + K_2 M_2 (h - Z_2) = 8{,}0 + 12{,}0 \cdot 2{,}0\,(6{,}0 - 5{,}0) = 32{,}0 \ м^3/сутки.$$

При $h = M_1 + M_2 + M_3 = 4{,}0 + 2{,}0 + 6{,}0 = 12{,}0$ *м*.

$$Z_3 = M_1 + M_2 + \frac{M_3}{2} = 9{,}0 \ м.$$

$$\varphi = 32{,}0 + K_3 M_3 (h - Z_3) = 32{,}0 + 3{,}0 \cdot 6{,}0\,(12{,}0 - 9{,}0) = 86 \ м^3/сутки.$$

При $h = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 4{,}0 + 2{,}0 + 6{,}0 + 2{,}0 = 14{,}0$ *м*.

$$Z_4 = M_1 + M_2 + M_3 + \frac{M_4}{2} = 13{,}0 \ м.$$

$$\varphi = 86{,}0 + K_4 M_4 (h - Z_4) = 86{,}0 + 8{,}0 \cdot 2{,}0\,(14 - 13) = 102 \ м^3/сутки.$$

Глава XX

РАСЧЕТЫ ФИЛЬТРАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

§ 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Гидротехническими сооружениями являются плотины, здания гидроэлектростанций, судоходные шлюзы, водоприемники и др.

Общая особенность этих сооружений состоит в том, что они создают в реке подпор, в результате которого с верховой стороны сооружения (в верхнем бьефе), где уровень воды выше, напор оказывается больше, чем с низовой стороны (в нижнем бьефе), где уровень воды остается таким же, каким был до возведения сооружения.

Разность напоров (H на рис. XX-1) создает фильтрационный поток, поступающий из образовавшегося в верхнем бьефе водохранилища в нижний бьеф и обтекающий гидротехническое сооружение со стороны подошвы и береговых примыканий сооружения.

Под фильтрацией в пределах гидротехнического сооружения понимается движение обтекающего фильтрационного потока как под сооружением — в толще основания, так и в обход — в примыканиях к берегам и дамбам, сопрягающим сооружение с берегом или другим гидротехническим сооружением (боковая фильтрация). Так как до возведения сооружения долина реки обычно имеет подземный поток, то подпор в реке вызывает также и подпор подземных вод, изменяющий их расход к реке.

В пределах гидротехнического сооружения взаимодействие подземного потока и обтекающего сооружение фильтрационного потока оказывается весьма сложным.

Если, как это чаще всего бывает, подземная длина сооружения в два и более раза превышает его подземную ширину, то расчет фильтрации можно выполнять не как пространственную задачу, а как две плоские задачи: фильтрацию под сооружением и фильтрацию в обход сооружения [*ТУ* и *Н* — Расчеты фильтрации, 1941].

Главной частью расчета фильтрации в основании сооружения является:

1) определение фильтрационного напора в разных точках под подошвой гидротехнического сооружения;

2) определение расхода фильтрационного потока под сооружением;

3) определение скорости фильтрации потока при выходе его по дну за сооружением с низовой стороны (в нижнем бьефе).

В случае наиболее простого вида гидротехнического сооружения — земляной плотины — расчет сводится:

1) к определению положения депрессионной поверхности в плотине;

2) к определению расхода фильтрационного потока в теле плотины и в ее основании.

Для обходного фильтрационного потока главной частью расчета является:

1) определение расхода обходного фильтрационного потока и

2) определение скорости выхода фильтрационного потока по берегу за сооружением в нижнем бьефе.

Знание фильтрационных напоров под подошвой сооружения необходимо для определения действующего со стороны грунта на подошву

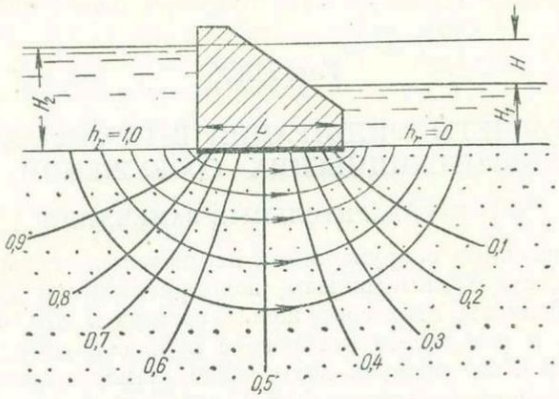


Рис. XX-1. Схема гидротехнического сооружения, создающего подпор.

давления жидкости, играющего весьма важную роль в устойчивости гидротехнического сооружения.

Величины скорости фильтрационного потока при выходе его в нижний бьеф нужны для определения фильтрационной устойчивости грунта за сооружением (на вынос и суффозию).

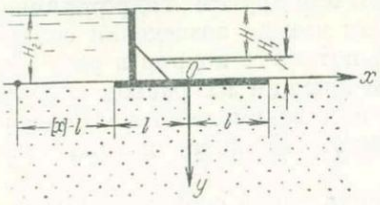


Рис. XX-2. Схема плоского флютбета.

Значения расхода фильтрационного потока, обтекающего гидротехническое сооружение (а для земляной плотины и потока, проходящего через ее тело), определяются для выяснения размера утечки воды из водохранилища.

Находящаяся под водой подземная часть гидротехнического сооружения называется флютбетом; в простейшем случае, когда флютбет не имеет развитых в глубину элементов, он называется плоским и схематически изображается отрезком горизонтальной прямой (рис. XX-2).

Для создания более благоприятных, с точки зрения устойчивости сооружения, условий фильтрации под сооружением применяются различные устройства, к числу которых принадлежат: 1) понуры, 2) шпунты зубья и завесы и 3) дренажи.

Понур служит для удлинения подземного контура гидротехнического сооружения по горизонтали, которое обычно достигается путем устройства водонепроницаемого покрытия дна реки в верхнем бьефе.

Эффективным способом развития обтекаемого подземного контура сооружения является соединение флютбета с вертикальными водонепроницаемыми шпунтами и завесами, чаще всего располагаемыми ближе

к верховой грани гидротехнического сооружения, за понуром. В некоторых случаях они устраиваются в начале понура. Схема флютбета с одним шпунтом или завесой показана на рис. XX-4.

Следует отметить, что шпунтовые стенки (металлические и деревянные), а также устраивающиеся обычно путем нагнетания в грунт цементного или битумного раствора завесы из-за своей неплотности могут обладать известной водопроницаемостью, что иногда учитывают при расчетах фильтрации.

Неглубокие конструктивные зубья в расчетах не учитываются.

Дренажи применяются для снятия фильтрационного давления. Дренаж в основании гидротехнического сооружения может быть горизонтальным (прокладка трубы или отсыпка обратного фильтра под подошвой сооружения) и вертикальным (в виде ряда скважин).

В местах сопряжения гидротехнического сооружения с берегами (дамбами) по конструктивным соображениям устанавливаются врезающиеся в берег массивы, называемые устоями. В целях развития обтекаемого контура устоя применяются (обычно располагающиеся перпендикулярно ему) водонепроницаемые шпунтовые стенки, железобетонные или деревянные диафрагмы и глиняные ядра, входящие в тело сопрягающей дамбы по всей ее высоте. Без этих устройств устой называется плоским и схематически изображается прямой линией см. рис. XX-25). За устоями в сопряжении часто укладывается вертикальный дренаж.

Последовательное изложение теории и способов расчета фильтрации в пределах гидротехнических сооружений можно найти в работах Н. Н. Павловского [1922], В. И. Аравина и С. Н. Нумерова [1953], [1955], М. Д. Чертоусова [1957] и др. В данной книге даются лишь краткие сведения о расчетах.

§ 2. ФИЛЬТРАЦИЯ В ОСНОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Изменение напора на величину H от верхнего бьефа до нижнего в пределах фильтрационного потока, обтекающего гидротехническое сооружение, может быть представлено линиями равного фильтрационного напора, которые вместе с ортогональными им линиями тока образуют гидродинамическую сетку (сетку фильтрации, рис. XX-1).

Каждой линии равного напора отвечает свое значение приведенного напора h_r, представляющего отношение

$$\frac{H_r}{H} = h_r,$$

где H_r — значение напора во взятой точке потока, отсчитанного от горизонта нижнего бьефа.

С помощью гидродинамической сетки, как будет показано дальше, можно определить все необходимые для практики расчетные фильтрационные величины.

Для ряда простейших подземных контуров сооружений и для простых гидрогеологических условий основные характеристики фильтрационного потока могут быть определены по готовым формулам, некоторые из них приводятся ниже.

Во всех приведенных ниже расчетных формулах схема флютбета принимается плоской, т. е. пренебрегают величиной глубины погружения флютбета в грунт, что упрощает расчет. Точность, требуемая от рас-

четов, позволяет это делать в случаях, когда глубина погружения флютбета в грунт не превышает одной десятой длины $2l$ (рис. XX-2) флютбета [*ТУ* и *Н* — Расчеты фильтрации, 1941].

Упрощение расчета получается также для флютбета, расположенного на проницаемом основании бесконечной мощности.

Точность, предъявляемая к фильтрационным расчетам, позволяет принимать мощность проницаемого основания T бесконечно большой при условии, что

$$\frac{T}{l_1 + l_2} > 2{,}5 \quad \text{и} \quad \frac{T}{S} > 5{,}0,$$

где $l_1 + l_2$ и S — соответственно длина флютбета и глубина шпунта (см. рис. XX-6).

При расчете берется то из неравенств, которое дает большее значение T.

Если схема содержит флютбет без шпунта или только шпунт, то достаточно одного из указанных условий.

Фильтрационный поток в основании гидротехнического сооружения иногда может в конечной своей части оказаться безнапорным.

Условия для подобной напорно-безнапорной фильтрации создаются в случаях, когда с низовой стороны гидротехнического сооружения вода отсутствует. Схемы напорно-безнапорной фильтрации здесь не рассматриваются.

Все приведенные ниже формулы относятся к изотропным грунтам. В случае анизотропного основания (при коэффициенте фильтрации грунта в вертикальном направлении, равном $K_в$, и в горизонтальном направлении $K_г$), задача сначала решается как для однородного основания, а затем все горизонтальные размеры области фильтрации увеличиваются в $\sqrt{\frac{K_в}{K_г}}$ раз.

Для полученной таким образом приведенной области фильтрации коэффициент фильтрации

$$K = \sqrt{K_в K_г}. \qquad \text{(XX-1)}$$

Характеристиками потока, для которых ниже даются формулы, являются следующие.

1. Изменение приведенного напора

$$h_x = \frac{H_x - H_1'}{H} \qquad \text{(XX-2)}$$

в функции от координаты x точки по подошве флютбета (рис. XX-2).

Здесь H_x — напор у подошвы в точке с координатой x;

H — напор на сооружении;

H_1' — напор в нижнем бьефе; если плоскость проходит через начало координат (рис. XX-2), то $H_1' = H_1$.

Зная величину h_x, можно найти давление в данной точке на подошву сооружения по формуле

$$P = \gamma (H_1 + t + h_x H), \qquad \text{(XX-3)}$$

где H_1 — глубина воды в нижнем бьефе;

t — глубина погружения флютбета в грунт (на рис. XX-2 флютбет плоский, т. е. $t = 0$);

γ — удельный вес воды.

2. Удельный фильтрационный расход

$$q = \frac{Q}{b}, \tag{XX-4}$$

где Q — фильтрационный расход под всем сооружением;
b — ширина (размер в направлении, перпендикулярном потоку) сооружения.

3. Изменение градиента потока фильтрации

$$I = \frac{v}{K} \tag{XX-5}$$

в функции от координаты x — точки по дну нижнего бьефа.
Здесь K — коэффициент фильтрации;
v — скорость фильтрации при выходе потока по дну нижнего бьефа.

Решение основных приведенных ниже задач было получено акад. Н. Н. Павловским [1922].

А. Проницаемое основание неограниченной мощности

1. Плоский флютбет [Н. Н. Павловский, 1922] (рис. XX-2).

Уравнение изменения приведенного напора по подошве флютбета сооружения имеет вид

$$h_x = \frac{1}{\pi} \arccos \frac{x}{l}, \tag{XX-6}$$

где $l \leqslant x \leqslant l$, причем l — половина длины флютбета.

Удельный фильтрационный расход в основании флютбета в данной схеме будет равен бесконечности. Однако удельный фильтрационный расход q, поступающий в основание на участке конечной длины $|x| - l$ верхнего бьефа, будет конечной величиной и в зависимости от x будет выражаться формулой

$$q = \frac{KH}{\pi} \operatorname{arch} \frac{-x}{l}, \tag{XX-7}$$

где $\infty < x \leqslant l$; $|x|$ обозначает абсолютную величину x.

Градиент потока при выходе по дну нижнего бьефа в зависимости от координаты x — точки выхода определяется по формуле

$$I = \frac{H}{\pi \sqrt{x^2 - l^2}}, \tag{XX-8}$$

где $l \leqslant x < \infty$.

Величины h_x, $\frac{q}{KH}$ и $\frac{I}{H}$ можно также определить с помощью табл. XX-1 и XX-2.

2. Одиночный непроницаемый шпунт [Н. Н. Павловский, 1922] (рис. XX-3).

Удельный фильтрационный расход, обтекающий шпунт, в данной схеме равен бесконечности, а удельный фильтрационный расход, посту-

пающий на участке верхнего бьефа конечной длины $|x|$ будет конечной величиной и в зависимости от x определяется по формуле

$$q = \frac{KH}{\pi} \operatorname{arsh} \frac{-x}{S}, \qquad \text{(XX-9)}$$

где $\infty < x \leqslant 0$.

Градиент потока фильтрации при выходе в нижний бьеф в зависимости от абсциссы x точки выхода определяется по формуле

$$I = \frac{H}{\pi \sqrt{S^2 + x^2}}, \qquad \text{(XX-10)}$$

где $0 \leqslant x < \infty$.

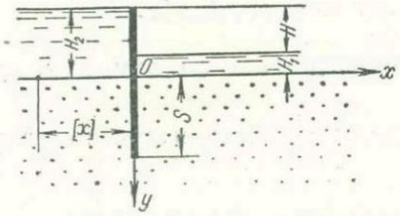


Рис. XX-3. Схема одиночного шпунта.

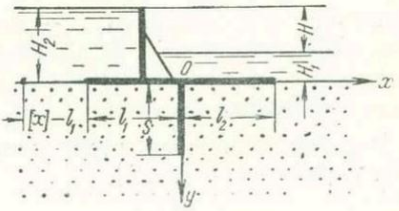


Рис. XX-4. Схема плоского флютбета со шпунтом.

3. Плоский флютбет с одним непроницаемым шпунтом [Н. Н. Павловский, 1922] (рис. XX-4).

Таблица XX-1

Значения h_x в функции от $\frac{x}{l}$

$\frac{x}{l}$	h_x	$\frac{x}{l}$	h_x
—1,00	1,00	0,20	0,44
—0,98	0,94	0,40	0,37
—0,95	0,90	0,60	0,29
—0,90	0,86	0,80	0,21
—0,80	0,80	0,90	0,14
—0,60	0,71	0,95	0,10
—0,40	0,63	0,98	0,06
—0,20	0,56	1,00	0,00
0,00	0,50		

Уравнение изменения приведенного напора по подошве для части флютбета со стороны верхнего бьефа имеет вид

$$h_x = 1 - \frac{1}{\pi} \arccos\left[\frac{1}{a}\left(\sqrt{S^2 + x^2} + b\right)\right], \qquad \text{(XX-11)}$$

где $l_1 \leqslant x \leqslant 0$;

для части флютбета со стороны нижнего бьефа имеем

$$h_x = \frac{1}{\pi} \arccos\left[\frac{1}{\pi}\left(\sqrt{S^2 + x^2} - b\right)\right], \qquad \text{(XX-12)}$$

где $0 \leqslant x \leqslant l_2$.

Здесь

$$a = 0{,}5\,(\sqrt{S^2 + l_2^2} + \sqrt{S^2 + l_1^2})$$

и

$$b = 0{,}5\,(\sqrt{S^2 + l_2^2} - \sqrt{S^2 + l_1^2}). \qquad \text{(XX-13)}$$

Таблица XX-2

Значения $\frac{q}{KH}$ и $\frac{I}{H}$ в функции от $\frac{|x|}{l}$

$\frac{\lvert x\rvert}{l}$	1,00	1,05	1,11	1,20	1,32	1,48	1,67	1,90	2,18	2,51	2,90	5,00
$\frac{q}{KH}$	0,00	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,73
$\frac{I}{H}$	∞	0,99	0,65	0,48	0,37	0,29	0,24	0,20	0,17	0,14	0,12	0,07

Удельный фильтрационный расход, поступающий в основание флютбета на участке длиной $|x| - l$ дна верхнего бьефа, в зависимости от x определяется по формуле

$$q = \frac{KH}{\pi} \operatorname{arch}\left[\frac{1}{a}\,(\sqrt{S^2 + x^2} + b)\right], \qquad \text{(XX-14)}$$

где $\infty < x \leqslant -l_1$.

Градиент потока при выходе по дну нижнего бьефа в зависимости от абсциссы x точки выхода определяется по формуле

$$I = \frac{xH}{\pi\sqrt{S^2 + x^2}} \sqrt{\frac{\sqrt{S^2 + l_2^2} + \sqrt{S^2 + x^2}}{(x^2 - l_2^2)\,(\sqrt{S^2 + l_1^2} + \sqrt{S^2 + x^2})}}, \qquad \text{(XX-15)}$$

где $l_2 \leqslant x < \infty$.

Величина h_x может быть также определена по номограмме (рис. XX-5).

Б. Проницаемое основание ограниченной мощности

1. Плоский флютбет без шпунтов [Н. Н. Павловский, 1922] (рис. XX-6).

Уравнение изменения приведенного напора по подошве флютбета имеет вид

$$h_x = F_1, \qquad \text{(XX-16)}$$

где F_1 — функция от $\frac{x}{l}$ и $\frac{l}{T}$, определяемая из графика (рис. XX-7).

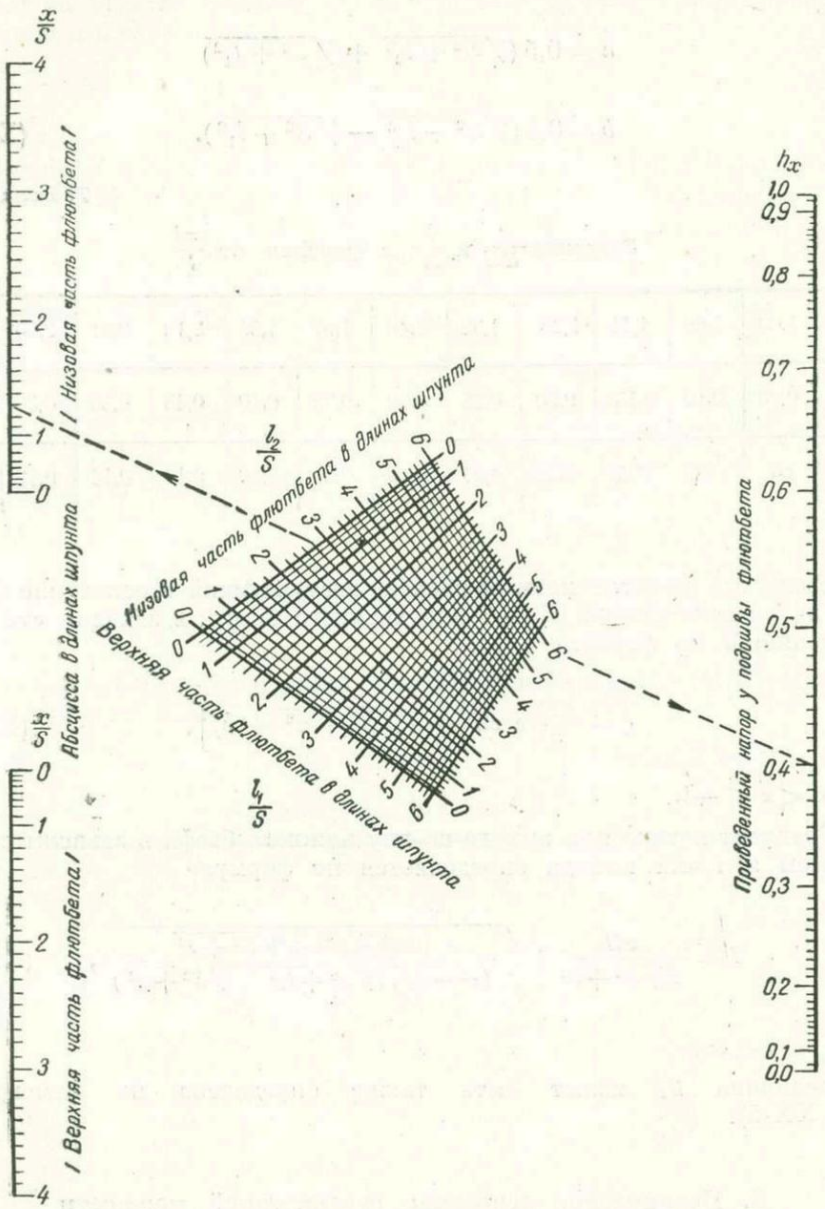


Рис. XX-5. Номограмма для определения h_x.

Удельный фильтрационный расход в основании под флютбетом равен

$$q = KHF_2, \qquad \text{(XX-17)}$$

где F_2 — функция от $\frac{l}{T}$, определяемая из графика (рис. XX-8).

Градиент при выходе фильтрационного потока в нижний бьеф по дну равен

$$I = \frac{H}{T} F_3, \quad \text{(XX-18)}$$

где F_3 — функция от $\frac{l}{T}$ и $\frac{x-l}{T}$, определяемая из табл. XX-3.

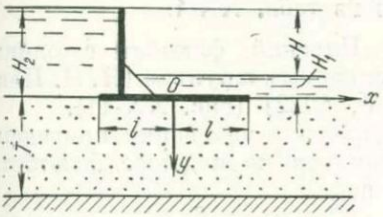


Рис. XX-6. Схема флютбета при ограниченном основании.

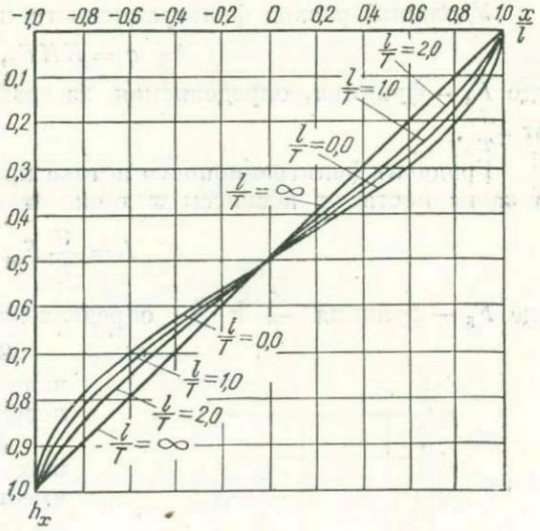


Рис. XX-7. График h_x в функции от $\frac{x}{l}$.

Таблица XX-3

Значения функции F_3

$\frac{l}{T}$ \ $\frac{x-l}{T}$	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
0,2	1,81	1,08	0,468	0,182	0,038
0,4	1,36	0,87	0,395	0,160	0,032
0,6	1,17	0,74	0,345	0,142	0,030
0,8	1,01	0,63	0,305	0,125	0,026
1,0	0,91	0,58	0,275	0,112	0,022
2,0	0,594	0,379	0,180	0,073	0,014
3,0	0,441	0,281	0,133	0,054	0,011
4,0	0,35	0,224	0,106	0,043	0,009
5,0	0,291	0,185	0,088	0,036	0,007

2. Одиночный непроницаемый шпунт [Н. Н. Павловский, 1922] (рис. XX-9).

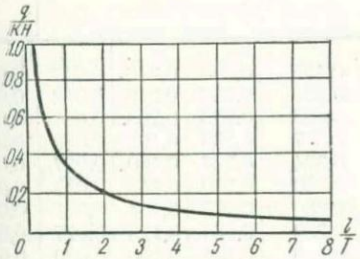


Рис. XX-8. График q/KH в функции от l/T.

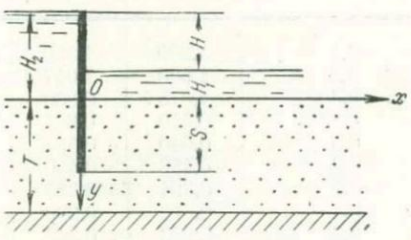


Рис. XX-9. Схема шпунта при ограниченном основании.

Удельный расход фильтрационного потока равен

$$q = KHF_4, \qquad \text{(XX-19)}$$

где F_4 — функция, определяемая из графика рис. XX-10 в зависимости от $\frac{S}{T}$.

Градиент фильтрационного потока при выходе по дну нижнего бьефа в зависимости от абсциссы x точки выхода определяется по формуле

$$I = \frac{H}{T} F_5, \qquad \text{(XX-20)}$$

где F_5 — функция $\frac{S}{T}$ и $\frac{x}{T}$, определяемая из табл. XX-4.

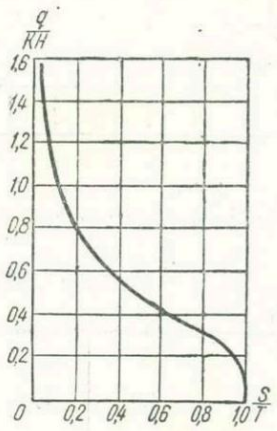


Рис. XX-10. График q/KH в функции S/T.

3. Плоский флютбет с одним непроницаемым шпунтом [Н. Н. Павловский, 1922] (рис. XX-11).

Уравнение изменения приведенных напоров по подошве флютбета имеет вид

$$h_x = \frac{F}{K_э}, \qquad \text{(XX-21)}$$

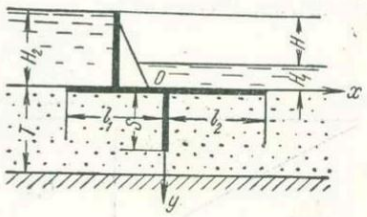


Рис. XX-11. Схема флютбета со шпунтом при ограниченном основании.

где F — функция от величин φ и λ^* (называемая неполным эллиптическим интегралом 1 рода), определяемая из таблицы приложения IX; $K_э$ — функция от λ^* (называемая полным эллиптическим интегралом 1 рода при прямом модуле), определяемая из таблицы приложения VIII.

Таблица XX-4

Значения функции F_5

$\frac{S}{T}$ \ $\frac{x}{T}$	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0	3,0
0,1	3,200	1,390	0,724	0,455	0,308	0,216	0,043	0,08
0,2	1,600	1,047	0,662	0,431	0,298	0,210	0,042	0,08
0,3	1,075	0,860	0,586	0,403	0,283	0,203	0,040	0,08
0,4	0,810	0,687	0,511	0,377	0,263	0,192	0,039	0,08
0,5	0,640	0,554	0,432	0,334	0,237	0,180	0,037	0,08
0,6	0,488	0,450	0,330	0,250	0,210	0,165	0,035	0,08
0,7	0,394	0,355	0,280	0,230	0,188	0,144	0,031	0,07
0,8	0,316	0,290	0,245	0,200	0,164	0,125	0,027	0,06
0,9	0,243	0,240	0,228	0,190	0,144	0,100	0,020	0,04

* За λ принята в таблицах величина, обычно обозначаемая λ^2.

Здесь

$$\lambda = \frac{2(a_1 + a_2)}{(1 + a_1)(1 + a_2)}, \quad \varphi = \arcsin \sqrt{\frac{(1 + a_1)(a_2 + u)}{(a_1 + a_2)(1 + u)}}, \qquad \text{(XX-22)}$$

где

$$a_1 = \sqrt{\operatorname{th}^2 \frac{\pi l_1}{2T} + \operatorname{tg}^2 \frac{\pi S}{2T}} \cos \frac{\pi S}{2T},$$

$$a_2 = \sqrt{\operatorname{th}^2 \frac{\pi l_2}{2T} + \operatorname{tg}^2 \frac{\pi S}{2T}} \cos \frac{\pi S}{2T}, \qquad \text{(XX-23)}$$

$$u = \pm \sqrt{\operatorname{th}^2 \frac{\pi x}{2T} + \operatorname{tg}^2 \frac{\pi S}{2T}} \cos \frac{\pi S}{2T}. \qquad \text{(XX-24)}$$

В формуле (XX-24) верхний знак (+) берется для верховой части флютбета до шпунта ($-l_1 \leqslant x \leqslant 0$), а нижний знак (—) — для низовой части флютбета за шпунтом ($0 \leqslant x \leqslant l_2$).

Удельный фильтрационный расход равен

$$q = KH \frac{K_э'}{K_э}, \qquad \text{(XX-25)}$$

где $K_э'$ — функция от λ (называемая полным эллиптическим интегралом 1 рода при дополнительном модуле), определяемая из таблицы приложения VIII.

Градиенты при выходе фильтрационного потока по дну нижнего бьефа определяются из формулы

$$I = \frac{\pi q}{4TK_бK_э' \cos \frac{\pi S}{2T} |u|} \sqrt{\frac{(1 + a_1)(1 + a_2)(1 - u^2)\left(u^2 - \sin^2 \frac{\pi S}{2T}\right)}{(a_1 + |u|)(|u| - a_2)}}, \qquad \text{(XX-26)}$$

где $l_2 \leqslant x < \infty$.

4. Плоский флютбет со шпунтом, доведенным до водоупора [В. П. Недрига и Е. Я. Хапалова, 1952].

Здесь шпунт считается проницаемым.

Для производства расчета фильтрации в данном случае фактическая область фильтрации, показанная на схеме (рис. XX-12а), приводится к фиктивной — показанной на расчетной схеме (рис. XX-12б), на которой элемент (фрагмент) основания длиной 1 *м* со шпунтом посередине (при общей длине флютбета, равной $l_1 + 1\ м + l_2$) заменяется виртуальной длиной $l_{вир}$ без шпунта.

Расчетная схема при этом отвечает схеме плоского флютбета без шпунта на проницаемом основании с мощностью T при длине флютбета, равной $l_1 + l_{вир} + l_2$.

Виртуальная длина для песчаных и супесчаных оснований, соответственно, при металлических шпунтах берется равной от 400 до 200 *м* и при деревянных шпунтах — от 50 до 35 *м*.

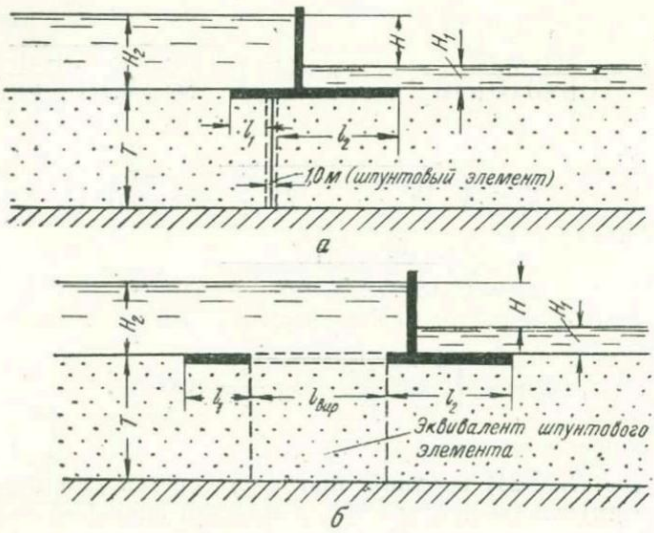


Рис. XX-12. Схема флютбета со шпунтом, доходящим до водоупора.

§ 3. ФИЛЬТРАЦИЯ В ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИНАХ

Плотины, для которых здесь даются расчетные формулы, делятся следующим образом.

1. Земляные плотины на непроницаемом основании. Такие плотины не имеют развитого противофильтрационного контура. Сюда входят плотины из однородного грунта, плотины с ядром и с экраном, имеющие внутренний дренаж либо дренажную призму.

2. Земляные плотины на проницаемом основании без развитого противофильтрационного контура.

3. Земляные плотины с развитым противофильтрационным контуром. Сюда входят земляные плотины на проницаемом основании с экраном, с развитым понуром или зубом и с дренажной призмой.

4. Плотины из каменной наброски.

Для всех схем расчета земляных плотин даются удельный, т. е. отнесенный к погонной единице плотины, фильтрационный расход q через тело и в основании плотины и уравнение депрессионной кривой: $y = f(x)$.

В теле плотины из каменной наброски вода принимается на уровне нижнего бьефа и дается величина градиента потока при его выходе из основания в тело плотины.

А. Земляные плотины на непроницаемом основании

1. Плотина из однородного грунта с внутренним дренажем (рис. XX-13).

Приведенное решение получено С. Н. Нумеровым при условии $\frac{L}{H} > 1$.

Удельный фильтрационный расход равен

$$q = \frac{KH}{\frac{L}{H} + \cos(\alpha\pi) f_1 + \sqrt{\left[\frac{L}{H} + \cos(\alpha\pi) f_1\right]^2 - 2\sin(\alpha\pi) f_2 + 1}}. \qquad \text{(XX-27)}$$

Уравнение кривой депрессии в теле плотины имеет вид:

$$\frac{x}{H} = \frac{Ky}{q}\left(1 - \frac{y}{2H}\right) - f_3 + \frac{q}{KH}\operatorname{tg}(\alpha\pi)\, f_4. \qquad \text{(XX-28)}$$

Здесь $\alpha\pi$ — угол наклона верхового откоса плотины к горизонту в радианах;

f_1, f_2, f_3, f_4 — функции, причем первые две зависят от α, а вторые от α и от u, где

$$u = \operatorname{th}\frac{K\pi y}{2q}. \qquad \text{(XX-29)}$$

Значение функций f_1, f_2, f_3 и f_4 даны в табл. XX-5 и XX-6.

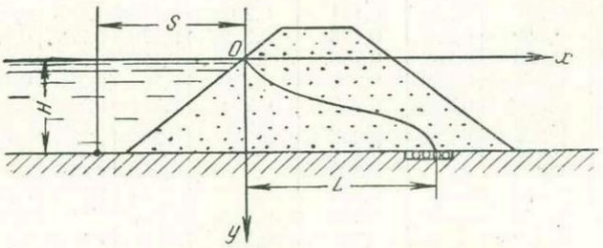


Рис. XX-13. Плотина из однородного грунта.

Таблица XX-5

Значение функций f_1 и f_2

α	f_1	f_2	α	f_1	f_2
0,05	0,420	0,333	0,26	0,397	0,291
0,06	0,416	0,329	0,27	0,398	—
0,07	0,413	0,325	0,28	0,399	—
0,08	0,410	0,321	0,29	0,401	—
0,09	0,407	0,318	0,30	0,403	—
0,10	0,405	0,315	0,31	0,405	—
0,11	0,403	0,312	0,32	0,407	—
0,12	0,401	0,309	0,33	0,410	—
0,13	0,399	0,307	0,34	0,413	—
0,14	0,397	0,305	0,35	0,416	—
0,15	0,396	0,303	0,36	0,419	—
0,16	0,395	0,301	0,37	0,423	—
0,17	0,394	0,299	0,38	0,427	—
0,18	0,393	0,297	0,39	0,431	—
0,19	0,393	0,296	0,40	0,436	—
0,20	0,393	0,295	0,41	0,441	—
0,21	0,393	0,294	0,42	0,446	—
0,22	0,393	0,293	0,43	0,451	—
0,23	0,394	0,292	0,44	0,457	—
0,24	0,395	0,291	0,45	0,464	—
0,25	0,396	0,291			

Примечание. При $\alpha > 0{,}25$ значение f_2 сохраняется равным 0,291.

Таблица XX-6

Значение функций f_3 и f_4

u	a									
	0,05		0,10		0,15		0,2		0,25	
	f_3	f_4	f_3	f_4	f_3	f_4	f_3	f_4	f_3	f_4
0,05	0,031	0,030	0,030	0,029	0,030	0,028	0,029	0,027	0,027	0,025
0,10	0,060	0,056	0,058	0,054	0,057	0,052	0,054	0,049	0,050	0,045
0,15	0,087	0,080	0,084	0,077	0,081	0,073	0,077	0,068	0,071	0,062
0,20	0,113	0,102	0,109	0,098	0,104	0,092	0,098	0,085	0,090	0,077
0,25	0,138	0,123	0,133	0,117	0,126	0,109	0,118	0,101	0,108	0,091
0,30	0,162	0,142	0,155	0,134	0,147	0,125	0,137	0,115	0,125	0,103
0,35	0,184	0,160	0,175	0,151	0,166	0,140	0,155	0,128	0,140	0,114
0,40	0,206	0,177	0,196	0,166	0,184	0,154	0,171	0,140	0,154	0,124
0,45	0,227	0,193	0,215	0,181	0,202	0,167	0,186	0,151	0,168	0,134
0,50	0,247	0,209	0,234	0,196	0,219	0,179	0,201	0,162	0,181	0,143
0,55	0,266	0,223	0,252	0,208	0,235	0,190	0,215	0,172	0,193	0,151
0,60	0,285	0,237	0,269	0,220	0,250	0,201	0,229	0,181	0,204	0,159
0,65	0,303	0,250	0,285	0,232	0,265	0,211	0,242	0,189	0,215	0,166
0,70	0,320	0,263	0,301	0,243	0,279	0,221	0,254	0,197	0,226	0,172
0,75	0,337	0,275	0,316	0,253	0,292	0,230	0,266	0,205	0,236	0,179
0,80	0,354	0,286	0,331	0,263	0,305	0,239	0,277	0,213	0,245	0,185
0,85	0,370	0,297	0,345	0,273	0,318	0,247	0,288	0,220	0,254	0,190
0,90	0,385	0,308	0,359	0,282	0,330	0,255	0,298	0,226	0,263	0,196
0,95	0,400	0,319	0,372	0,291	0,342	0,263	0,308	0,233	0,272	0,201
1,00	0,414	0,329	0,385	0,300	0,353	0,270	0,318	0,239	0,280	0,208

2. Плотина из однородного грунта с дренажной призмой [П. А. Шапкин, 1947] (рис. XX-14).

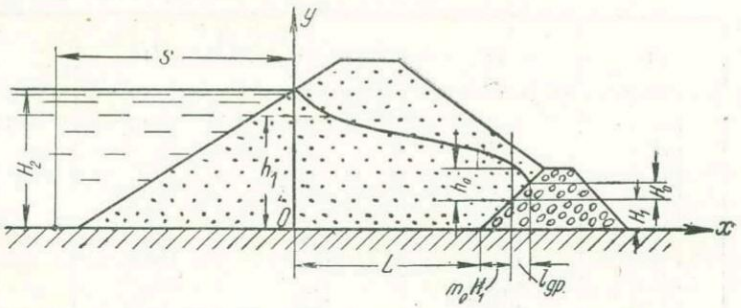


Рис. XX-14. Плотина с дренажной призмой.

На схеме m и m_0 — коэффициенты откосов (т. е. котангенсы углов наклона к горизонту откосов) плотины и дренажной призмы с верховой стороны.

Удельный фильтрационный расход равен

$$q = K\left[\frac{H_2C + L + m_0H_1}{C^2} - \sqrt{\left(\frac{H_2C + L + m_0H_1}{C^2}\right)^2 - \frac{H_2^2 - H_1^2}{C^2}}\right]. \quad \text{(XX-30)}$$

Уравнение кривой депрессии имеет вид

$$y = \sqrt{h_1^2 - 2h_0x}\,. \quad \text{(XX-31)}$$

Здесь

$$h_1 = -\frac{L + m_0 H_1}{C} + \sqrt{\left(\frac{L + m_0 H_1}{C}\right)^2 + \frac{2H_2 (L + m_0 H_1)}{C} + (h_0 + H_1)^2} \quad \text{(XX-32)}$$

есть условно принимаемое в расчете при построении кривой депрессии (вместо фактической своей величины, равной H_2) приближенное значение глубины фильтрационного потока над отметкой водоупора в точке пересечения верхового откоса плотины с горизонтом воды в верхнем бьефе, а

$$h_0 \approx \frac{(H_2 - H_1) C + L + m_0 H_1}{C^2} -$$

$$- \sqrt{\left[\frac{(H_2 - H_1) C + L + m_0 H_1}{C^2}\right]^2 - \left(\frac{H_2 - H_1}{C}\right)^2} \quad \text{(XX-33)}$$

есть приближенное значение глубины фильтрационного потока над уровнем воды нижнего бьефа в сечении, проходящем через точку пересечения этого уровня с верховым откосом дренажной призмы; точка выхода кривой депрессии в дренажную призму располагается выше уровня нижнего бьефа, причем привязывающие ее размеры H_0 и $l_{др}$ определяются по формулам

$$\begin{aligned} H_0 &= \alpha h_0, \\ l_{др} &= \delta h_0. \end{aligned} \quad \text{(XX-34)}$$

Значения коэффициента C в зависимости от коэффициента m верхового откоса плотины определяются по табл. XX-7.

Таблица XX-7

Значения коэффициента C

m	0,5	1,0	1,5	2,0	2.5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
C	0,232	0,393	0,492	0,554	0,595	0,624	0,647	0,663	0,676	0,687

Значения коэффициентов α и δ в зависимости от m_0 — коэффициента верхового откоса дренажной призмы — берутся по табл. XX-8.

Таблица XX-8

Значения коэффициентов α и δ

m_0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
α	1,000	0,500	0,334	0,250	0,200	0,167	0,143
δ	0,000	0,250	0,334	0,376	0,400	0,418	0,429

В случае отсутствия воды в нижнем бьефе расчеты выполняются по тем же формулам, при условии подстановки в них $H_1 = 0$.

3. Плотина с ядром и дренажной призмой [Справ. по гидротехн., 1955] (рис. XX-15).

Удельный фильтрационный расход равен

$$q = K\frac{h^2 - H_1^2}{2L}. \qquad \text{(XX-35)}$$

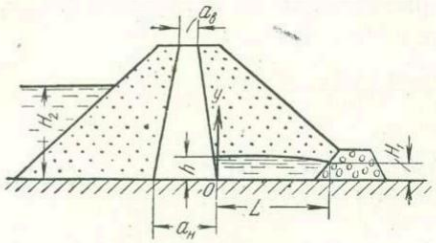


Рис. XX-15. Плотина с ядром и дренажной призмой.

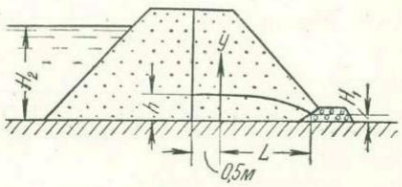


Рис. XX-16. Плотина со шпунтом.

Уравнение кривой депрессии за ядром ($0 \leqslant x \leqslant L$) имеет вид

$$y = \sqrt{h^2 - \frac{2q}{K}x}.$$

Здесь K — коэффициент фильтрации тела плотины;

h — глубина фильтрационного потока в вертикальном сечении OY сразу за ядром, определяющаяся по формуле

$$h = \sqrt{\frac{H_2^2 L + H_1^2 \sigma a}{L + \sigma a}}, \qquad \text{(XX-36)}$$

где a — средняя толщина ядра;

если $a_в$ — толщина ядра на отметке верхнего бьефа и

$a_н$ — толщина ядра внизу, то

$$a = \frac{a_в + a_н}{2},$$

$$\sigma = \frac{K}{K_я},$$

$K_я$ — коэффициент фильтрации грунта ядра.

На рис. XX-16 показана схема расчета плотины из супесчаного или песчаного грунта с металлическим шпунтом (в предположении, что шпунт в какой-то степени проницаем). Расчет производят по тем же формулам (XX-35) и (XX-36), полагая в них $a = 1$ *м*, $\sigma = 200$—400 и считая начало координат отстоящим от шпунта в сторону нижнего бьефа на величину $\frac{a}{2} = 0{,}5$ *м*.

4. Плотина с экраном и дренажной призмой [Справ. по гидротехн., 1955] (рис. XX-17).

Здесь α — угол наклона к горизонту средней плоскости экрана;

$a_в$, $a_н$ — толщина экрана, соответственно, на отметке горизонта верхнего бьефа и внизу.

Ось ординат OY проходит через точку пересечения горизонта верхнего бьефа с нижней гранью (основанием) экрана.

Удельный фильтрационный расход равен

$$q = K\frac{h^2 - H_1^2}{2L}. \qquad \text{(XX-37)}$$

Уравнение кривой депрессии (при $0 \leqslant x \leqslant L$) имеет вид

$$y = \sqrt{h^2 - \frac{2q}{K}x}. \qquad \text{(XX-38)}$$

Здесь h — глубина фильтрационного потока в сечении OY, определяемая по формуле

$$h = \sqrt{\frac{K_э L(H_2 - a^2\cos^2\alpha) + KH_1^2\sin\alpha}{K_э L + Ka\sin\alpha}}, \qquad \text{(XX-39)}$$

где K — коэффициент фильтрации тела плотины;
$K_э$ — коэффициент фильтрации экрана.

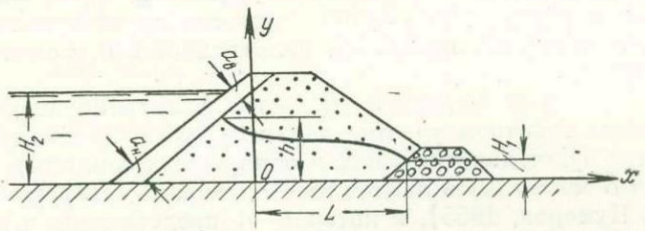


Рис. XX-17. Плотина с экраном и дренажной призмой.

При отсутствии воды в нижнем бьефе расчет производят по тем же формулам (XX-37); (XX-38) и (XX-39), считая в них $H_1 = 0$.

Б. Земляные плотины (без разнитого подземного контура) на проницаемом основании

Расчет земляной плотины на водопроницаемом основании может быть выполнен следующим приближенным способом.

Кривая депрессии в плотине строится в предположении, что основание непроницаемо, т. е. по приведенным на стр. 474—479 формулам в зависимости от конструкции плотины. При этом определяется также и фильтрационный расход через тело плотины, к которому для получения общего удельного фильтрационного расхода q через тело и в основании плотины добавляется удельный фильтрационный расход q_0 в основании плотины, определенный в предположении, что тело плотины проницаемо. Это может быть сделано [Е. А. Замарин и В. В. Фандеев, 1954] по формуле

$$q_0 = K_0\frac{HT}{nL}, \qquad \text{(XX-40)}$$

где K_0 — коэффициент фильтрации грунта основания;
T — мощность проницаемого слоя основания;
L — длина плотины по основанию;
H — напор на плотине;
n — коэффициент, определяемый из табл. XX-9.

Таблица XX-9

Значения коэффициента n

$\frac{L}{T}$	20	5	4	3	2	1
n	1,15	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87

При таком способе расчета плотины на проницаемом основании положение депрессионной кривой окажется выше фактического его положения, а фильтрационные расходы будут больше действительных.

Если $\frac{K_0}{K_\Phi} > 40$ или $\frac{K_0}{K} > 40$ (где K_Φ и K — коэффициенты фильтрации, соответственно, противофильтрационных устройств и тела плотины), то общий удельный фильтрационный расход q можно считать равным расходу q_0 в основании.

Описанный выше способ расчета пригоден для проницаемого основания как конечной, так и бесконечной мощности.

При этом в случае бесконечной мощности проницаемого основания, как это видно из формулы (XX-40), фильтрационный расход оказывается равным бесконечности.

Однако если рассматривать удельный фильтрационный расход q_s, поступающий на конечном участке верхнего бьефа длиной S (рис. XX-14), то расход этот будет конечным и для однородных земляных плотин в зависимости от S может быть найден из следующего уравнения [В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, 1955], в котором q_s представлено в неявном виде

$$\frac{S}{H} = \frac{q_s}{KH}\left(1 + \frac{\frac{m}{m_0} - 1}{2m} \cdot \frac{q_s}{KH}\right) + \left(\frac{L}{H} - \frac{\frac{m}{m_0} + 1}{2m}\right) \operatorname{sh}^2 \frac{\pi q_1}{2KH}, \qquad \text{(XX-41)}$$

где m и m_0 — коэффициенты откоса (котангенсы угла наклона откоса) верховых граней плотины и дренажной призмы.

Для плотины с внутренним дренажем (рис. XX-13) надо принять в уравнении (XX-41) $m_0 = \infty$.

Это уравнение приходится решать подбором (задаваясь величиной q_s, до совпадения правой части уравнения с заданным значением $\frac{S}{H}$).

Размер S на рис. XX-13 и XX-14 показан для плотин, расположенных на проницаемом основании.

В. Земляные плотины с развитым противофильтрационным контуром

1. Плотина с экраном и понуром и с внутренним дренажем [П. А. Шанкин, 1947] (рис. XX-18).

Предполагается, что тело плотины и ее основание имеют одинаковый коэффициент фильтрации K; толщина δ экрана постоянна; $m = \operatorname{ctg} \alpha$.

Удельный фильтрационный расход равен

$$q = KT_1\varepsilon_2\left[\frac{(H-h)\operatorname{ch}(mh\varepsilon_2) - T_2}{\operatorname{sh}(mh\varepsilon_2)}\right] + \frac{K_э(H-h)^2}{2\delta\sin\alpha} =$$

$$= K\frac{h^2 + 2hT}{2(L - mh)}. \qquad \text{(XX-42)}$$

Уравнение кривой депрессии имеет вид

$$y = \sqrt{T^2 + \frac{2q}{K}(L - x)}. \qquad \text{(XX-43)}$$

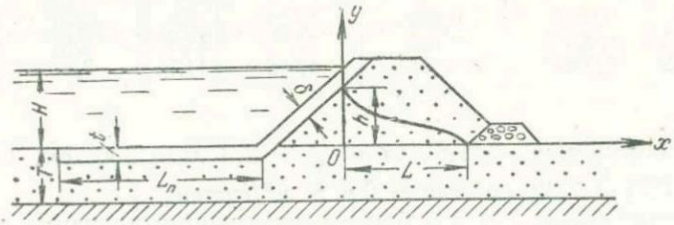


Рис. XX-18. Плотина с экраном и понуром.

Здесь

$$T_2 = \frac{T_1\varepsilon_2(H-h)\operatorname{sh}(L_п\varepsilon_1)}{T\varepsilon_1[\operatorname{ch}(L_п\varepsilon_1) - C]\operatorname{sh}(mh\varepsilon_2) + T_1\varepsilon_2\operatorname{sh}(mh\varepsilon_2)\operatorname{ch}(L_п\varepsilon_1)},$$

$$C = \frac{T\varepsilon_1}{0{,}637\ln\left(1 + \frac{T}{t}\right)\operatorname{sh}(L_п\varepsilon_1) + T\varepsilon_1\operatorname{ch}(L_п\varepsilon_1)}, \qquad \text{(XX-44)}$$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{K_п}{KTt}}; \quad \varepsilon_2 = \sqrt{\frac{K_э}{KT_1\delta\cos\alpha}},$$

$$T_1 = T + 0{,}5h,$$

h — ордината депрессионной кривой при выходе кривой из экрана;
$K_п$ — коэффициент фильтрации понура;
$K_э$ — коэффициент фильтрации экрана.

Эффективная длина понура равна

$$L_п(эф) = \frac{2{,}5}{\varepsilon}, \qquad \text{(XX-45)}$$

где $\varepsilon = \sqrt{\frac{K_п}{Kt(T-t)}}$.

Задача определения удельного фильтрационного расхода решается подбором. Задаваясь величиной h, подставляем ее в уравнение (XX-42) до тех пор, пока левая и правая части его не окажутся равными. После этого можно построить депрессионную кривую.

Пример. Найти удельный расход потока, фильтрующегося через тело и в основании земляной плотины с экраном и понуром при следующих условиях (П. А. Шанкин, 1947].

$H = 27$ *м*, $T = 19{,}65$ *м*, $L = 147$ *м*, $t = \delta = 2{,}25$ *м*, $L_п = 123$ *м*, $K_п = 0{,}0001$, $K_э = 0{,}00004$ *см/сек*, $K = 0{,}024$ *см/сек*, $\operatorname{ctg}\alpha = m = 3{,}0$.

Имеем $0{,}637 \ln\left(1 + \frac{T}{t}\right) = 1{,}45$, $T\varepsilon_1 = 0{,}191$, $L_п\varepsilon_1 = 1{,}2$, $\operatorname{sh}(L_п\varepsilon_1) = 1{,}51$, $\operatorname{ch}(L_п\varepsilon_1) = 1{,}81$, $C = 0{,}0755$.

Задаемся различными значениями величины h, сведя расчет в таблицу (табл. XX-10).

Таблица XX-10

Определение величины h

h, *м*	T_1	ε_2	$\operatorname{sh}(mh\varepsilon_2)$	$\operatorname{ch}(mh\varepsilon_2)$	T_2	В уравнении (XX-42)	
						левая часть	правая часть
13,5	26,4	0,0054	0,222	1,024	9,9	2,76	4,32
12,0	25,65	0,00546	0,197	1,020	11,32	3,15	3,54
11,63	25,42	0,00554	0,191	1,018	11,7	3,3	3,3

Таким образом $h = 11{,}60$ *м* и $\frac{q}{k} = 3{,}3$ *м* $= 330$ *см*, откуда $q = 0{,}024 \times 330 = 7{,}92$ *см*^{3}/*сек* $= 0{,}685$ *м*^{3}/*сутки*.

2. Плотина с экраном и зубом и с внутренним дренажем [М. З. Гузов, 1953] (рис. XX-19).

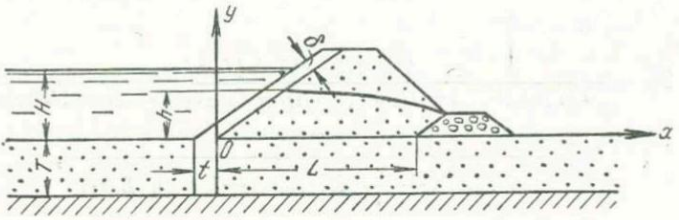


Рис. XX-19. Плотина с экраном и зубом.

Здесь предполагается, что тело плотины и основание ее имеют одинаковый коэффициент фильтрации K и что толщина зуба t равна толщине экрана δ; $m = \operatorname{ctg}\alpha$.

Удельный фильтрационный расход через плотину и ее основание равен

$$q = K\frac{h^2 + 2Th}{2L}. \qquad \text{(XX-46)}$$

Уравнение депрессионной кривой имеет вид

$$y = \sqrt{(T+h)^2 - \frac{2q}{K}x}. \qquad \text{(XX-47)}$$

Здесь h есть фиктивная ордината кривой депрессии в сечении на оси OY в предположении, что кривая эта мысленно продолжена в верхний бьеф; h определяется по формуле

$$h = -\frac{T(1+P\sin\alpha)}{1+P} + \sqrt{\left(T\frac{1+P\sin\alpha}{1+P}\right)^2 + \frac{PH(H+2T\sin\alpha)}{1+P}}, \qquad \text{(XX-48)}$$

где $P = \frac{K_э L}{K\delta\sin\alpha}$.

Г. Плотина из каменной наброски с экраном и понуром

Для случая, когда плотина находится на проницаемом основании ограниченной мощности, расчетная схема показана на рис. XX-20.

Удельный фильтрационный расход в теле и в основании плотины, слагающийся из суммы расходов, поступающих под понур, через понур и через экран, будет равен

$$q = \frac{K(H_2 - H_1)}{\Phi} + \frac{K_э(H_2^2 - H_1^2)}{2\delta \sin \alpha}, \qquad \text{(XX-49)}$$

где K — коэффициент фильтрации основания плотины;
$K_э$ — коэффициент фильтрации экрана;
$K_п$ — коэффициент фильтрации понура;

$$\Phi = \frac{\operatorname{th}(\varepsilon L_п)}{\varepsilon (T - t)}, \qquad \text{(XX-50)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{K_п}{Kt(T - t)}}. \qquad \text{(XX-51)}$$

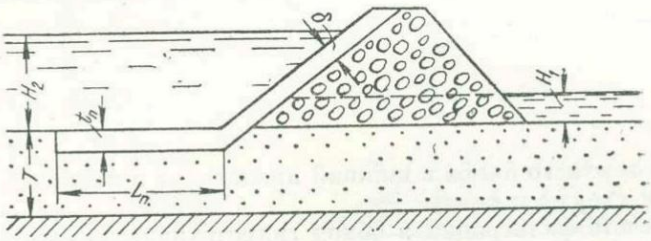


Рис. XX-20. Плотина из каменной наброски.

Градиент потока фильтрации (максимальный) при выходе из основания в тело плотины равен:

$$I_{max} = \frac{H_2 - H_1}{T\Phi \sqrt{\sin \frac{\pi S}{2T}}}. \qquad \text{(XX-52)}$$

Эффективная длина понура определяется по формуле (XX-45).

Если плотина стоит на непроницаемом основании, то $T = 0$, $t = 0$, $\varphi = \infty$ и вместо формулы (XX-49) получим формулу

$$q = \frac{K_э(H_2^2 - H_1^2)}{2\delta \sin \alpha}. \qquad \text{(XX-53)}$$

§ 4. ФИЛЬТРАЦИЯ В ОБХОД ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

Фильтрационный поток, обтекающий гидротехническое сооружение со стороны примыкания сооружения к берегу, в большинстве случаев оказывается во взаимодействии с береговым подземным потоком. Этот поток, двигающийся примерно перпендикулярно обходному потоку (рис. XX-21), прижимает обходное течение к берегу, стремясь сузить занятую этим течением область. В результате образуется некоторая конечная длина B зоны в верхнем бьефе гидротехнического сооружения,

в пределах которой в береговой грунт на участке примыкания сооружения поступает обходной поток, причем в некоторых случаях этот поток может быть равным нулю. Вместе с тем возможны также условия, при которых влияние подземного потока отсутствует.

В случаях, с которыми в практике приходится встречаться чаще, фильтрация в обход гидротехнического сооружения бывает безнапорной; однако имеют место также и случаи напорной фильтрации. Возможна также напорно-безнапорная обходная фильтрация, которая в дальнейшем из рассмотрения исключается.

На рис. XX-22 показана в плане фильтрация в обход гидротехнического сооружения.

Продольный разрез, сделанный по линии тока AB для случая безнапорной фильтрации, показан на рис. XX-23, а для случая напорной фильтрации — на рис. XX-24, откуда видно, что в последнем случае движе-

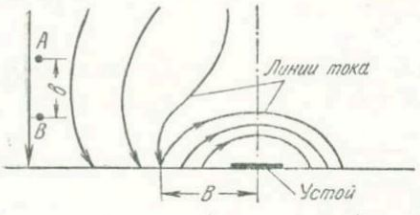


Рис. XX-21. Схема береговой фильтрации.

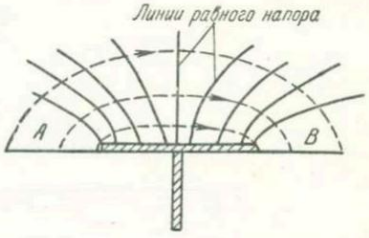


Рис. XX-22. Схема обтекания устоя.

ние воды из верхнего бьефа в нижний происходит в пласте, ограниченном водоупорами сверху и снизу.

При расчете фильтрации в обход гидротехнического сооружения необходимо знать величину расхода q_0, притекающего к реке (грунтового потока) до устройства водохранилища. Для этого необходимо пробурить на берегу две скважины на некотором расстоянии b друг от друга так, чтобы они лежали примерно на одной линии тока (точки A и B на рис. XX-21).

Если через h_A и h_B обозначить высоту уровня воды в скважинах над ложем подстилающего водоупора, то удельный (на единицу длины реки) фильтрационный расход можно определить по формулам:

в случае безнапорного движения воды

$$q_0 = K\frac{h_A^2 - h_B^2}{2b}, \qquad \text{(XX-54)}$$

при напорном движении воды

$$q_0 = K\frac{T(h_A - h_B)}{b}, \qquad \text{(XX-55)}$$

где T — мощность пласта, в котором происходит обходная фильтрация.

В основе приводимых ниже формул для расчета фильтрации в обход гидротехнического сооружения лежит решение рассматриваемой задачи как плоской.

Если предположить, что в результате плоской задачи (например, для случая, показанного на рис. XX-22) построены линии равных напоров

$h_r = \text{const}$, то фактические напоры H можно определить, пользуясь [В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, 1955] в случае напорной фильтрации формулой

$$H = H_1 + Hh_r, \tag{XX-56}$$

а в случае безнапорной фильтрации — формулой

$$H = \sqrt{H_1^2 + (H_2^2 - H_1^2)\, h_r}, \tag{XX-57}$$

где H_2 и H_1 — отметки горизонтов воды соответственно в верхнем и нижнем бьефе, а $H = H_2 - H_1$, причем отсчет отметок может производиться от любой горизонтальной плоскости. На рис. XX-23 и XX-24 отсчет производится от поверхности подстилающего водоупорного ложа.

При этом за входное и выходное сечения обходного фильтрационного потока принимаются вертикальные сечения, совпадающие с линиями урезов воды в верхнем и нижнем бьефах (сечения m и n на рис. XX-23 и XX-24).

Аналогично, с помощью плоской задачи могут быть найдены фактические расходы обходного потока.

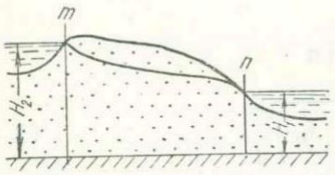


Рис. XX-23. Схема безнапорной боковой фильтрации.

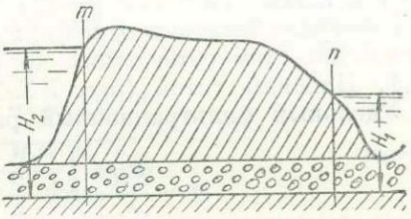


Рис. XX-24. Схема напорной боковой фильтрации.

Ниже указаны способы определения удельного фильтрационного расхода q в условиях плоской задачи, а также градиента фильтрационного потока I при выходе потока в нижний бьеф для различных случаев фильтрации в обход гидротехнического сооружения без учета и при учете влияния подземного потока.

После определения удельного фильтрационного расхода q фактический расход фильтрационного потока в обход гидротехнического сооружения определится в случае напорной фильтрации по формуле

$$Q = Tq, \tag{XX-58}$$

а в случае безнапорной фильтрации по формуле

$$Q = \frac{H_2^2 - H_1^2}{2H}\, q, \tag{XX-59}$$

где T — мощность пласта, в котором происходит обходная фильтрация.

Иной способ расчета фильтрации в обход гидротехнического сооружения разработан В. П. Недрига [Справочник по гидротехнике, 1955].

А. Фильтрация в обход сооружений без учета влияния подземного потока

При расчете фильтрации в обход гидротехнического сооружения без учета влияния грунтового потока удельный фильтрационный расход q, в уравнениях (XX-58) и (XX-59), определяется по формулам (для соответствующего обтекаемого фильтрационным потоком контура) фильтрации в основании гидротехнического сооружения (§ 1, гл. XX).

Также по формулам (§ 2, гл. XX) определяются для напорной фильтрации и градиенты I фильтрационного потока при выходе в нижний бьеф и могут быть найдены значения h_x для плоского устоя в формулах (XX-56) и (XX-57).

Градиент I фильтрационного потока при выходе в нижний бьеф для безнапорной фильтрации определяется путем умножения формул (§ 2, гл. XX) на отношение

$$\lambda = \frac{H_2^2 - H_1^2}{2HH_1}. \qquad \text{(XX-60)}$$

Б. Фильтрация в обход сооружений с учетом влияния подземного потока

Для расчетов фильтрации в обход гидротехнического сооружения с учетом влияния грунтового потока ниже даются формулы, по которым определяются величины q в формулах (XX-58) и (XX-59) и I для двух простейших схем обтекаемого контура.

1. Плоский устой (рис. XX-25).

Удельный фильтрационный расход равен

$$q = \frac{KH}{\pi}\left[\operatorname{arch}\frac{B}{l} - \sqrt{1 - \left(\frac{l}{B}\right)^2}\right], \qquad \text{(XX-61)}$$

где B — длина зоны обходной фильтрации в верхнем бьефе, отсчитываемая от оси сооружения и определяющаяся при напорной фильтрации по формуле

$$B = \frac{KT(H_2 - H_1)}{\pi q_0}, \qquad \text{(XX-62)}$$

а при безнапорной фильтрации — по формуле

$$B = \frac{K(H_2^2 - H_1^2)}{2\pi q_0}. \qquad \text{(XX-63)}$$

Градиент фильтрационного потока при выходе в нижний бьеф ($x > l$) определяется при напорной фильтрации по формуле

$$I = \frac{\frac{H_2 - H_1}{\pi} + \frac{q_0 x}{KT}}{\sqrt{x^2 - l^2}}, \qquad \text{(XX-64)}$$

а при безнапорной фильтрации — по формуле

$$I = \frac{\frac{H_2^2 - H_1^2}{2\pi} + \frac{q_0 x}{K}}{H_1\sqrt{x^2 - l^2}}. \qquad \text{(XX-65)}$$

2. Береговая диафрагма или завеса (рис. XX-26).
Удельный фильтрационный расход равен

$$q = \frac{KH}{\pi}\left[\operatorname{arsh}\frac{B}{S} - \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{S}{B}\right)^2}}\right], \qquad \text{(XX-66)}$$

где B — длина зоны обходной фильтрации в верхнем бьефе, отсчитываемая от оси шпунта и определяемая при напорной фильтрации по формуле

$$B = \sqrt{\left[\frac{KT(H_2 - H_1)}{\pi q_0}\right]^2 - S^2}, \qquad \text{(XX-67)}$$

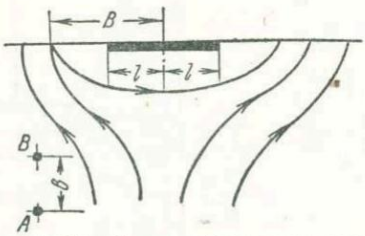


Рис. XX-25. Схема обтекания плоского устоя.

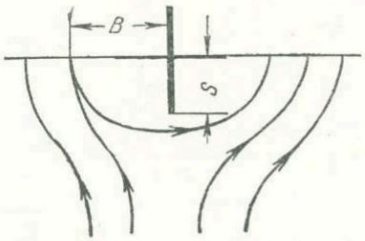


Рис. XX-26. Схема обтекания береговой диафрагмы.

а при безнапорной фильтрации — по формуле

$$B = \sqrt{\left[\frac{K(H_2^2 - H_1^2)}{2\pi q_0}\right]^2 - S^2}. \qquad \text{(XX-68)}$$

Градиент фильтрационного потока при выходе в нижний бьеф ($x \geqslant 0$) определяется
при напорной фильтрации по формуле

$$I = \frac{\frac{H_2 - H_1}{\pi} + \frac{q_0}{KT}\sqrt{S^2 + x^2}}{\sqrt{S^2 + x^2}}, \qquad \text{(XX-69)}$$

а при безнапорной фильтрации — по формуле

$$I = \frac{\frac{H_2^2 - H_1^2}{2\pi} + \frac{q_0}{K}\sqrt{S^2 + x^2}}{H_1\sqrt{S^2 + x^2}}. \qquad \text{(XX-70)}$$

§ 5. ФИЛЬТРАЦИЯ В СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

На рис. XX-27 показана схема гидротехнического сооружения на скальном основании. Хотя закон падения H напора (от H_2 до H_1) в основании неизвестен, ввиду неправильного характера трещин, но с некоторым приближением он может быть принят линейным.

Если с верховой стороны под сооружением (рис. XX-27б) создается завеса (нагнетанием в пробуренные скважины цементного раствора или битума), то сразу за завесой напор резко падает и становится равным

$H_1 + a_1 H$, где a_1 меняется от 0,3 для слаботрещиноватых пород до 0,6 для сильнотрещиноватых пород [М. М. Гришин, 1954—1955].

В случае вертикального дренажа основания (рис. XX-27в) в створе скважин напор падает до $H_1 + a_2 H$, где $a_2 = 0{,}1—0{,}3$.

При определении силы давления воды в основании сооружения следует иметь в виду, что давление действует не на всю подошву, а только на часть ее, соответствующую неплотностям в контакте скалы и сооружения.

В связи с этим для слаботрещиноватой скалы, фактически действующей считают лишь половину полученной по расчету силы, для сильнотрещиноватой скалы расчетную силу не уменьшают.

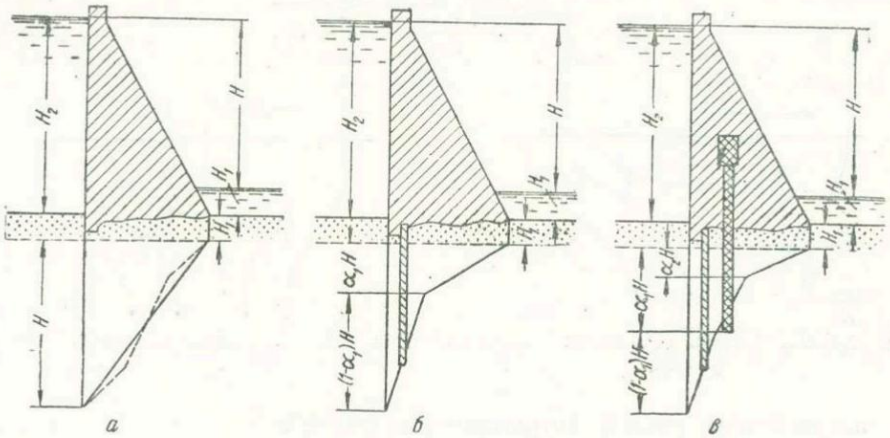


Рис. XX-27. Схема фильтрации в скальном основании.

Удельный фильтрационный расход q в скальном основании может быть грубо исчислен по формуле.

$$q = K \frac{H}{L} T, \qquad \text{(XX-71)}$$

где K — коэффициент фильтрации;
T — глубина зоны трещиноватости скалы;
L — длина подземного контура сооружения.

§ 6. ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ФИЛЬТРАЦИИ

Графический способ расчета состоит в том, что гидродинамическая сетка строится от руки, подвергаясь несколько раз исправлениям. При этом построенная сетка должна удовлетворять следующим условиям.

Линии тока и линии равного напора, из которых состоит гидродинамическая сетка, обычно должны быть плавными. Исключение составляют обтекаемые контуры непроницаемых зон области фильтрации и границы слоев разной проницаемости, при пересечении с которыми угол отклонения линий от нормали должен удовлетворять условию (рис. XX-28).

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{K_1}{K_2}, \qquad \text{(XX-72)}$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты фильтрации смежных слоев.

При пересечении линий тока с линиями равного напора должно быть соблюдено условие ортогональности (условие перпендикулярности их друг другу), а отношения средних длин к высотам в каждой ячейке сетки в пределах области однородной проницаемости должны быть равны.

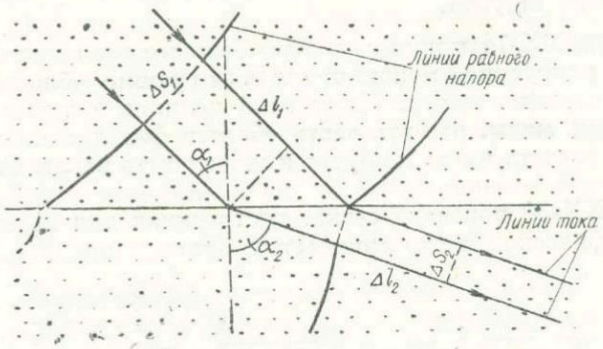


Рис. XX-28. Схема линии тока.

Простейшим будет случай, когда ячейки квадратные. При переходе границы сред с разной проницаемостью квадраты превращаются в прямоугольники, как показано на рис. XX-28 (на котором принято, что $K_1 < K_2$), причем отношение сторон прямоугольника должно удовлетворять условию

$$\frac{\Delta S_2}{\Delta l_2} = \frac{K_1}{K_2}. \qquad \text{(XX-73)}$$

Если поверхность водоупора от подошвы флютбета находится на большом расстоянии, то линии равных напоров с некоторой глубины, неза-

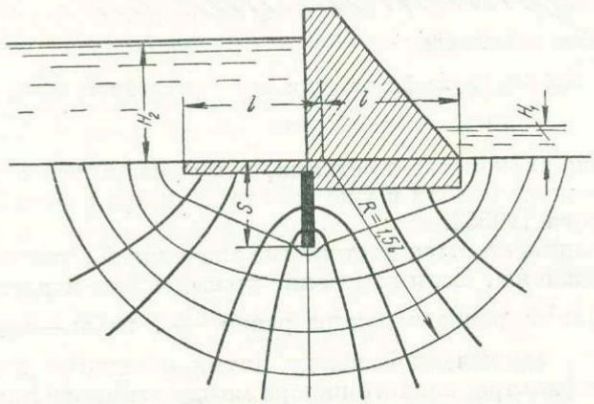


Рис. XX-29. Сетка фильтрации при глубоком водоупоре.

висимо от формы подземного контура сооружения, принимают форму полуокружностей, центры которых приблизительно находятся в середине подземного контура (рис. XX-29).

За самую близкую из них к сооружению можно принять полуокружность, радиус которой равен

$$R \approx 3l \qquad \text{(XX-74)}$$

или

$$R \approx 1{,}5S, \qquad \text{(XX-74')}$$

где $2l$ — длина горизонтальной проекции подземного контура сооружения;
S — глубина шпунта.

Из формул XX-74 принимается наибольшее значение R. Указанную окружность с радиусом R можно принять за границу области фильтрации, для которой строится сетка. Ниже этой границы скорости фильтрации будут настолько малы, что эта часть области фильтрации практического значения для расчета иметь не будет и может быть исключена из рассмотрения.

На рис. XX-30 показана сетка, построенная для двухслойного основания. Графическое построение сеток фильтрации требует известного

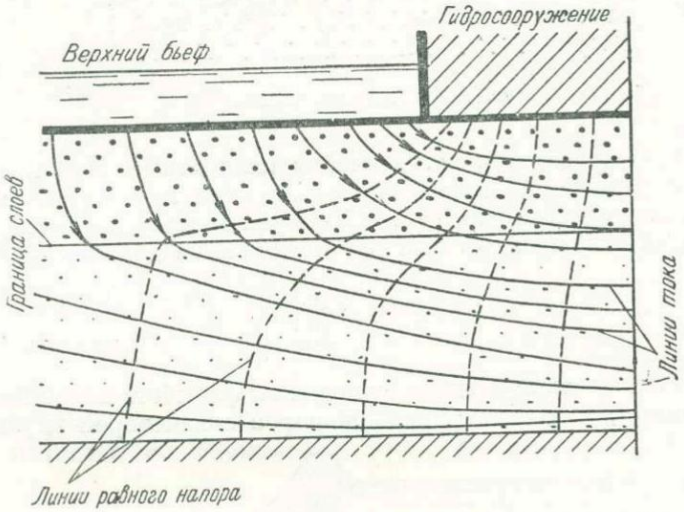


Рис. XX-30. Сетка фильтрации при двухслойном основании.

навыка, а также знакомства с сетками, встречающимися в ряде основных задач, которые можно найти в уже указанной выше работе В. И. Аравина и С. Н. Нумерова [1955].

На сетке надписываются постоянные значения h_r, отвечающие каждой линии равного напора. Если изменение приведенного напора между двумя соседними линиями равного напора равно $\frac{1}{m}$, то m — число квадратов в одной полосе, заключенной между двумя соседними линиями тока.

Изменение фильтрационного напора между этими же линиями равного напора равно

$$\Delta H = \frac{H}{m}, \qquad \text{(XX-75)}$$

где H — разность напоров в верхнем и нижнем бьефах.

После того как сетка фильтрации построена, можно перейти к определению необходимых характеристик фильтрационного потока.

Напор H_r в любой точке области фильтрации может быть найден по формуле

$$H_r = H_1' + Hh_r, \qquad \text{(XX-76)}$$

где H_1' — напор в нижнем бьефе.

Если плоскость сравнения проходит через ось x (рис. XX-29), то $H_1' = H_1$ — глубина воды в нижнем бьефе; если же плоскость сравнения проходит по горизонту воды в нижнем бьефе, как это чаще всего делается то $H_1 = 0$.

Для точек, не лежащих на линиях равного напора, h_r определяется путем интерполяции.

Фильтрационное давление в любой точке области может быть найдено по формуле

$$P = \gamma (H_r - y'), \qquad \text{(XX-77)}$$

где y' — глубина точки от плоскости сравнения напоров.

Если плоскость сравнения проходит через ось x, то $y' = y$.

Для определения в заданной точке величины градиента потока или скорости надо через эту точку провести линию тока.

В пределах любого отрезка дуги линии тока, заключенного между двумя линиями равного напора, разница (падение) напоров для которых равна ΔH, средний градиент потока равен:

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta S}, \qquad \text{(XX-78)}$$

где ΔS — длина рассматриваемого отрезка дуги линии тока.

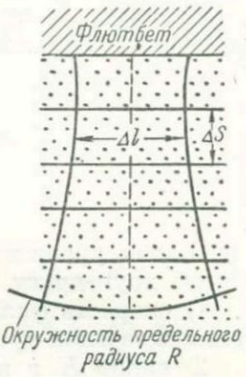


Рис. XX-31. Схема к расчету расхода по сетке фильтрации.

Значение I, определенное из формулы (XX-78), относят к точке, расположенной в центре взятого отрезка дуги.

Средняя скорость фильтрации на взятом отрезке дуги линии тока, также относимая к точке, расположенной в центре отрезка, равна

$$v = KI. \qquad \text{(XX-79)}$$

Удельный фильтрационный расход в основании гидротехнического сооружения может быть определен следующим образом.

Выбирается полоса, заключенная между двумя линиями равного напора. Из двух других границ полосы одной является отрезок контура сооружения, другой — отрезок линии водоупора либо окружности с радиусом, определенным по одной из формул (XX-74). Полоса разбивается по длине на несколько частей со средними размерами сторон ячейки Δl и ΔS (рис. XX-31). При этом удельный фильтрационный расход в основании сооружения будет равен

$$q = K\Delta H \sum_{1}^{n} \frac{\Delta S}{\Delta l}, \qquad \text{(XX-80)}$$

где n — число всех квадратов в полосе, заключенной между двумя линиями равного напора, разница (падение) напора для которых равна ΔH.

Так как обычно высоты ΔS для всех ячеек сетки берутся одинаковыми, то формулой (XX-80) можно пользоваться в виде

$$q = K \frac{H}{m} \Delta S \sum_{1}^{n} \frac{1}{\Delta l}. \qquad \text{(XX-81)}$$

§ 7. МЕТОД ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ

Метод электрогидродинамических аналогий (метод ЭГДА), предложенный в 1922 г. академиком Н. Н. Павловским, позволяет с помощью специального электрического прибора, именуемого установкой ЭГДА, построить гидродинамическую сетку области фильтрации в условиях любой практической задачи.

Метод ЭГДА основан на сходстве процесса протекания двух совершенно различных физических явлений: движения фильтрационного тока в проницаемой среде и движения электрического тока в проводящей среде.

Характер этого сходства устанавливается путем сопоставления уравнений, выражающих закон Дарси и закон Ома, а именно

$$v = -K \frac{dH}{dl} \qquad \text{(XX-82)}$$

и

$$i = -C \frac{dU}{dl}.$$

В этих уравнениях следующие величины играют совершенно аналогичную друг другу роль:

1) скорость фильтрации v и плотность тока (сила тока на единицу площади сечения проводника) i;

2) напор H и электрический потенциал U;

3) коэффициент фильтрации K и коэффициент электропроводности C,

4) l — путь, проходимый фильтрационным или электрическим током.

Благодаря этой аналогии оказывается возможным заменить испытание фильтрационной модели электрической моделью, которая для плоской задачи будет представлять проводящую пластинку, выполненную в форме, отвечающей геометрическому подобию по отношению к своему фильтрационному оригиналу.

На электрической модели линии равного потенциала будут отвечать линиям равного напора оригинала; шины с заданным потенциалом, входящие в состав модели в качестве ее элементов, будут отвечать границам фильтрационной области с заданным напором; линии электрического тока — линиям фильтрационного тока; контуры изоляции — контурам непроницаемости.

При однородной области фильтрации величина коэффициента фильтрации на форму гидродинамической сетки не влияет.

Если же область фильтрации состоит из слоев разной проницаемости, то отношение коэффициентов электропроводимости смежных зон электрической модели к коэффициентам фильтрации соответствующих пластов оригинала должно быть постоянным

$$\frac{C_1}{K_1} = \frac{C_2}{K_2} = \ldots = \frac{C_n}{K_n}. \qquad \text{(XX-83)}$$

В качестве материала для моделей за последнее время получила распространение электропроводная бумага, изготовляемая мастерскими бумаги в СССР и имеющая разную проводимость. Употребляются также агар-агар (растительный желатин) и электролиты.

Метод ЭГДА можно применять для самых различных плоских и пространственных задач напорной и безнапорной фильтрации.

Здесь в дальнейшем метод ЭГДА будет рассматриваться применительно к опытам с моделями из электропроводной бумаги для плоской задачи напорной фильтрации в основании гидротехнических сооружений.

При изготовлении модели надо по возможности упрощать ее, схематизируя и осредняя гидрогеологические условия и форму области фильтрации.

При небольшой мощности T проницаемого (рис. XX-32) пласта длина L моделируемой области фильтрации может быть определена по формуле

$$L = 2l + (3 \div 4)\,T, \qquad \text{(XX-84)}$$

где $2l$ — длина горизонтальной проекции подземного контура сооружения.

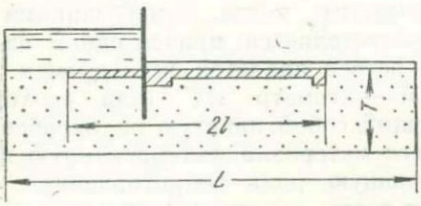


Рис. XX-32. Модель ЭГДА при малой глубине водоупора.

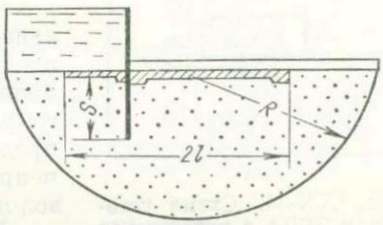


Рис. XX-33. Модель ЭГДА при большой глубине водоупора.

В случае большой мощности проницаемого пласта моделируемая часть области фильтрации близка к полуокружности, центр которой приблизительно находится в середине подземного контура сооружения, причем радиус полуокружности определяется по формуле (XX-74) (рис. XX-33).

В опытах задаются потенциалами u_r, приведенными, т. е. отнесенными к полному падению $u_{\max} - u_{\min}$ потенциала. Таким образом $u_{r\,\max} = 1$; $u_{r\,\min} = 0$. Численно приведенный потенциал u_r в соответствующих точках области фильтрации совпадает с приведенным напором h_r.

В любой точке области фильтрации зависимость приведенных напоров и потенциалов от напоров H выражается формулой

$$u_r = h_r = \frac{H - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}, \qquad \text{(XX-85)}$$

причем $h_{r\,\max} = 1$, $h_{r\,\min} = 0$.

Если напор задается только на границах модели, отвечающих верхнему и нижнему бьефам, то $u_r = h_r = 1$ отвечает верхнему бьефу, а $u_r = h_r = 0$ — нижнему бьефу.

Если в пласте имеется установленный гидрогеологическими исследованиями естественный напор H', причем величина H' лежит между значениями напора в верхнем и нижнем бьефах, то значение приведенного

потенциала на границе этого пласта должно быть задано, исходя из формулы (XX-85), после подстановки в нее $H = H'$.

Если же значение напора в упомянутом пласте больше, чем в верхнем бьефе, или меньше, чем в нижнем бьефе, то оно должно быть принято соответственно за H_{max} или за H_{min}, и тогда приведенный потенциал на шине верхнего или соответственно нижнего бьефа, по заданному значению напора H здесь, определится из формулы (XX-85).

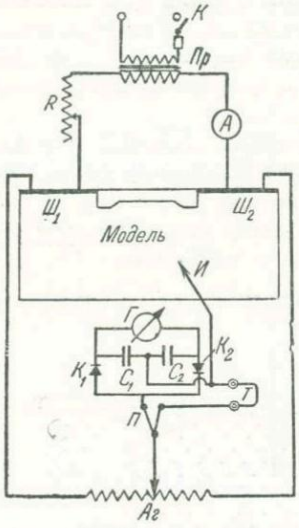


Рис. XX-34. Схема установки ЭГДА с питанием от сети.

На рис. XX-34 показана рабочая электрическая схема одной из установок прибора ЭГДА с питанием от бытовой сети переменного тока.

Схема прибора состоит из двух цепей — питательной и измерительной. Питательная цепь заключает в себе трансформатор понижающий напряжение с 110—220 *в* до 4—12 *в* (перед которым имеются выключатель K и предохранитель $Пр$); реостат R для регулирования напряжения; испытываемую модель и амперметр A.

Измерительная цепь прибора осуществлена по принципу моста. Между шинами $Ш_1$ и $Ш_2$ цепь разветвляется, причем одной из параллельных ветвей является исследуемая модель, другой — агометр $АГ$ (или реохорд), представляющий собой навитую на барабан из непроводящего материала калиброванную проволоку, играющую роль сопротивления.

Мостовая ветвь, заключающая в себе гальванометр $Г$, приключается к обеим параллельным ветвям в промежуточных точках: к модели с помощью иглы $И$ и к навитой на вращающийся барабан агометра проволоке с помощью подвижного контакта. Линия равных напоров делит испытываемую модель на две части с сопротивлениями — одно R_1, другое R_2. Если r_1 и r_2 представляют сопротивления частей проволоки агометра, на которые она делится подвижным контактом, то при условии

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{R_1}{R_2} \qquad \text{(XX-86)}$$

тока в ветви диагонали моста не будет.

Указателями тока в диагонали моста являются: при грубой настройке на нуль — телефон, а при точной — стрелочный гальванометр магнитно-электрической системы, причем включение того или другого из них в цепь осуществляется с помощью переключателя $П$. В диагональ моста, кроме того, включены купроксные выпрямители K_1 и K_2 и конденсаторы C_1 и C_2.

При производстве опытов основной операцией является отыскание на модели таких точек, в которых потенциал имеет наперед заданную величину, что основано на сохранении равновесия плеч моста, т. е. на равенстве в формуле (XX-86).

Падение потенциала от 1 до 0 разбивается обычно на 10 равных частей. С помощью нанесенных на шкале агометра делений подвижной контакт

агометра можно установить так, чтобы задать нужное соотношение между сопротивлениями двух его частей, например, 0,3 и 0,7.

Тогда путем прощупывания иглой модели, по показаниям гальванометра, где стрелка не отклоняется от нуля, можно найти на модели точки, отвечающие падению заданной (т. е. в данном случае равной 0,3) части полного потенциала. Соединив точки с равными потенциалами на бумаге, получим линию равного напора.

Проведя все линии равного напора с интервалом 0,1, можно построить линии тока графически, исходя из свойств ортогональности сетки.

Подробнее о приборе ЭГДА см. Н. И. Дружинин [1955].

Глава XXI

РАСЧЕТЫ ПОДПОРА ГРУНТОВЫХ ВОД И ФИЛЬТРАЦИИ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ И КАНАЛОВ

§ 1. ПОДПОР ГРУНТОВЫХ ВОД

В практике иногда можно без расчета установить, что подтопление прибрежной зоны водохранилища грунтовыми водами при их подпоре не будет иметь места. Это бывает в тех случаях (Н. Н. Биндеман, 1951), когда:

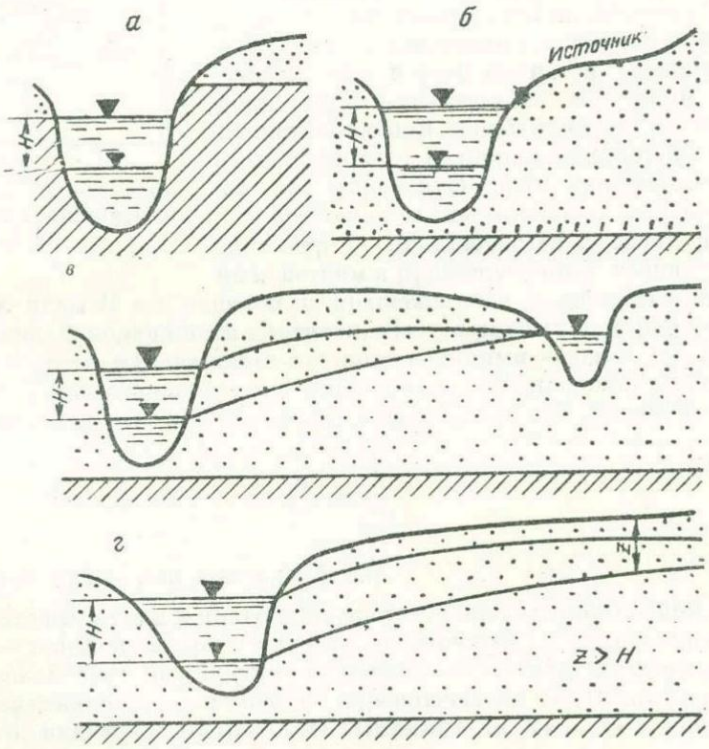


Рис. XXI-1. Схема невозможности подтопления береговой зоны.

1) отметка кровли водоупорного пласта, слагающего склон долины, выше подпертого горизонта водохранилища (рис. XXI-1а); 2) имеется выход родников в склоне на уровне подпертого горизонта водохранилища или выше него (рис. XXI-1б); 3) представляющий интерес участок

прибрежной зоны отделен от реки оврагом с постоянным водотоком, отметка горизонта воды в котором не ниже подпертого горизонта водохранилища (рис. XXI-1в); 4) до возведения водохранилища, когда глубина Z залегания грунтовых вод от поверхности, незатопляемость которой должна быть обеспечена, больше, чем подпор H, создаваемый гидротехническим сооружением ($Z > H$; рис. XXI-1г).

А. Расчет подпора при установившейся фильтрации

Предельное положение кривой депрессии грунтовых вод при подпоре, устанавливающееся по прошествии некоторого времени после наполнения водохранилища, может быть найдено по приведенным ниже формулам, являющимся следствиями формул Г. Н. Каменского и Н. Н. Павловского, которые были даны в гл. XVIII. Приведенные здесь формулы позволяют определить уровни грунтовых вод при подпоре по данным об уровнях грунтовых вод до устройства водохранилища.

а. Горизонтальное положение водоупора

1. Наиболее общей зависимостью для кривой депрессии подпертого грунтового потока, при наличии инфильтрации и в случае горизонтального водоупора (рис. XXI-2), является формула Г. Н. Каменского

$$y = \sqrt{h^2 + (H_2^2 - H_1^2)\frac{L-x}{L} + (h_2^2 - h_1^2)\frac{x}{L}}, \qquad \text{(XXI-1)}$$

где x — расстояние точки от уреза водохранилища A;
L — расстояние между урезами водохранилищ A и $Б$;
y, h — отсчитанные от поверхности водоупора ординаты соответственно кривой депрессии для подпертого и кривой депрессии для неподпертого грунтового потока в точке с координатой x;
H_1, H_2 — высоты над поверхностью водоупора горизонта воды в долине A до и после наполнения водохранилища;
h_1, h_2 — высоты над поверхностью водоупора горизонта воды в долине $Б$ до и после наполнения водохранилища в долине A.

Для определения h должны быть пробурены скважины.

Горизонты воды в долине $Б$ (h_1 и h_2) будут отличаться друг от друга в том случае, если русла долин A и $Б$ сообщаются друг с другом, и подпор, созданный в долине A, изменяет горизонты воды в долине $Б$.

2. Отсутствие влияния друг на друга уровней воды в соседних долинах встречается в практике чаще; оно может иметь место по следующим причинам:

а) реки долин A и $Б$ принадлежат к разным бассейнам;

б) долины A и $Б$ сообщаются в нижнем бьефе;

в) долины A и $Б$ хотя и сообщаются в верхнем бьефе, но настолько далеко от гидротехнического сооружения, что влияние подпора не отражается на уровнях в долине $Б$.

При этом $h_1 = h_2$, и уравнение XXI-1 примет вид

$$y = \sqrt{h^2 + (H_2^2 - H_1^2)\frac{L-x}{L}}. \qquad \text{(XXI-2)}$$

Если зона, в которой определяется подпор, по сравнению с областью питания грунтового потока мала настолько что $x < 0{,}1\ L$, то можно пользоваться формулой

$$y = \sqrt{h^2 + H_2^2 - H_1^2}. \qquad \text{(XXI-3)}$$

Пример. Расстояние между бассейнами рек A и $Б$ (рис. XXI-3) $L = 2000$ *м*. Уровень в реке A определяется отметкой 12 *м*, в реке $Б$ — 18 *м*. В долине A предполагается создать водохранилище с отметкой зеркала вод 20 *м*, что вызовет подъем воды в реке $Б$ до отметки 22 *м*. По середине между долинами ($l = 1000$ *м*) имеется овраг, отметка дна которого равна 23 *м*. Уровень воды в скважине, которая пробурена на дне оврага, имеет отметку 20 *м*. Найти отметку воды при подпоре в скважине, находя-

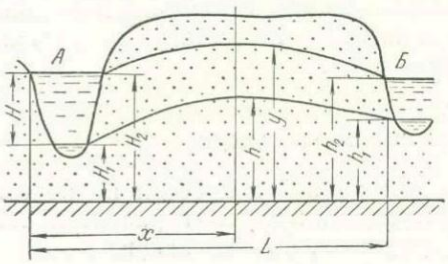


Рис. XXI-2. Подпор при горизонтальном водоупоре.

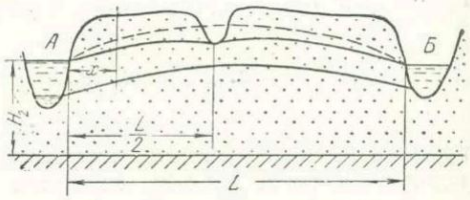


Рис. XXI-3. Влияние оврага на подтопление.

щейся на расстоянии $x = 100$ *м* от уреза водохранилища, если естественный уровень в ней определяется отметкой 12,9 *м*.

Определяем уровень грунтовых вод при подпоре под оврагом, пользуясь формулой XXI-1, считая, что овраг отсутствует. Имеем

$$y_{овр} = \sqrt{20^2 + (20^2 - 12^2)\frac{2000 - 1000}{2000} + (22^2 - 18^2)\frac{1000}{2000}} = 24{,}65\ м.$$

Уровень грунтовых вод фильтрационного потока в сечении, проходящем по оси оврага ($l = 1000$ *м*), не может быть выше отметки 23 *м* — дна оврага, так как вода будет стекать по его тальвегу. Следовательно, эта отметка (так как расчетная — 24,6 *м* — оказалась выше дна) должна быть принята в данном случае равной 23 *м*.

Уровень y в скважине на расстоянии $x = 100$ *м* может быть найден, принимая в формуле (XXI-1) $h_2 = 23$ *м*, $h_1 = 22$ *м* и $L = 1000$ *м*, т. е. рассматривая овраг как соседнюю долину

$$y = \sqrt{12{,}9^2 + (20^2 - 12^2)\frac{1000 - 100}{1000} + (23^2 - 22^2)\frac{100}{1000}} = 20{,}05\ м.$$

Так как здесь $x = 0{,}1\ L$, то мы находимся в условиях предела возможности применения формулы (XXI-3), которая для тех же данных дает значение

$$y = \sqrt{12{,}9^2 + 20^2 - 12^2} = 20{,}55\ м.$$

б. Наклонное положение водоупора

1. При наклонном залегании водоупорного пласта расчет подпора грунтовых вод производят из уравнения академика Н. Н. Павловского

$$\frac{iL}{h_0} = \varphi\left(\frac{H_1}{h_0}\right) - \varphi\left(\frac{h}{h_0}\right) = \varphi\left(\frac{H_2}{h_0}\right) - \varphi\left(\frac{y}{h_0}\right), \qquad \text{(XXI-4)}$$

где i — уклон водоупора;

L — расстояние от уреза водохранилища до расчетного сечения;

h_0 — величина, называемая приведенной мощностью потока, зависящая от расхода;

φ — функция отношения мощности в данном сечении к приведенной мощности потока.

Функция φ находится из табл. приложения X и приложения XI в зависимости от $\eta = \frac{z}{h_0}$, где вместо Z подставляется одна из величин H_1, y, H_2 и h. Табл. приложения X отвечает случаю прямого уклона

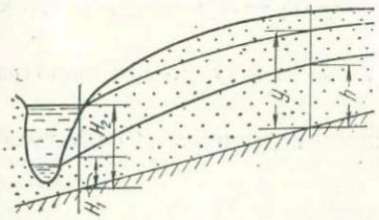


Рис. XXI-4. Подбор при прямом уклоне водоупора.

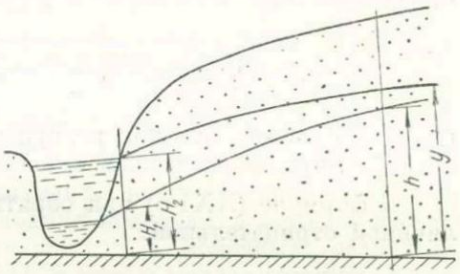


Рис. XXI-5. Подпор при обратном уклоне водоупора.

(рис. XXI-4), т. е. тогда, когда направления движения потока и уклона пласта совпадают.

Табл. приложения XI отвечает обратному уклону, т. е. случаю, когда направления уклона водоупора и движения потока противоположны (рис. XXI-5).

Предварительный подбор значения h_0 можно производить по формуле Г. Н. Каменского [1943]

$$h \approx \frac{h+H_1}{2} \cdot \frac{I}{i}, \qquad \text{(XXI-4а)}$$

где I — средний уклон грунтового потока от уреза водохранилища до расчетного сечения.

Пример. Пробурено 2 скважины: первая — на урезе будущего водохранилища, вторая — на расстоянии 300 *м* от нее. Отметки водоупорного ложа в первой из скважин 12,1 *м*, во второй — 18,7 *м*. Уровень грунтовых вод в первой из скважин 13,3 *м*, во второй — 22,3 *м*. Проектируемый подъем уровня в водохранилище равен 5 *м*. Найти мощность водоносного пласта в сечении, где находится вторая скважина, после установления подпора.

В первую очередь, пользуясь левой частью формулы (XXI-4), определяем величину h_0.

Поскольку цифры этой задачи совпадают с цифрами примера гл. XVIII (стр. 432), имеем $i = 0{,}022$; $H_1 = 1{,}2$ *м*; $h = 3{,}6$ *м*; повторив все операции, сделанные в упомянутой задаче, т. е. задаваясь величиной h_0, и составив таблицы и график, получим $h_0 = 3{,}87$ *м*.

Найденное значение h_0 подставляем в правую часть формулы (XXI-4)

$$\varphi\left(\frac{y}{3{,}87}\right) = \varphi\left(\frac{1{,}2+5}{3{,}87}\right) + \varphi\left(\frac{3{,}6}{3{,}87}\right) - \varphi\left(\frac{1{,}2}{3{,}87}\right).$$

Воспользовавшись табл. приложения X, получаем: $\varphi\left(\frac{y}{3{,}87}\right) = -1{,}0842 - 1{,}6017 + 0{,}0617 = -0{,}4558$.

По значению $\varphi = -0{,}4558$ из табл. приложения X находим значение аргумента $\eta = 1{,}192$, откуда $y = 1{,}192 \cdot 3{,}87 = 4{,}6$ *м*, что и представляет собой мощность подпертого потока на расстоянии 300 *м* от реки. Отметка уровня грунтовых вод здесь будет $18{,}7 + 4{,}6 = 23{,}3$ *м*.

2. Если уклон водоупорного ложа невелик, то для расчета подпора применяют приближенную формулу Н. Н. Биндемана [1951]

$$y = \sqrt{\frac{Z^2}{4} + H_2^2 + h^2 - H_1^2 + Z(h + H_1 - H_2)} - \frac{Z}{2}, \qquad \text{(XXI-5)}$$

где Z — разность отметок водоупорного ложа между урезом водохранилища и расчетным сечением.

В формуле (XXI-5) при обратном уклоне водоупора Z считается величиной отрицательной.

в. Сложные гидрогеологические условия

1. Случай двухслойной среды, часто встречающийся в практике, когда аллювиальные отложения террасы речной долины сложены в нижней части сильно проницаемыми, а в верхней части малопроницаемыми породами (рис. XXI-6).

Расчет подпора производится по формуле Г. Н. Каменского [1943]

$$2K_1 m(h - H_1) + K_2(h^2 - H_1^2) = 2K_1 m(y - H_2) + K_2(y^2 - H_2^2), \qquad \text{(XXI-6)}$$

где K_1 — коэффициент фильтрации нижнего слоя;
K_2 — коэффициент фильтрации верхнего слоя.

2. Случай общей неоднородности пласта, сложенного из слоев и линз, сравнительно мало отличающихся друг от друга по водопроницаемости (рис. XXI-7).

Расчет подпора производится по формуле Г. Н. Каменского [1943]

$$(K_I H_1 + K_{II} h)(h - H_1) = (K_I' H_2 + K_{II}' y)(y - H_2), \qquad \text{(XXI-7)}$$

где K_I и K_I' — средние коэффициенты фильтрации пласта в начальном сечении до и после подпора;
K_{II} и K_{II}' — средние коэффициенты фильтрации пласта в расчетном сечении до и после подпора.

3. Случай изменения уклона водоупора по длине. В таком случае массив делится на ряд участков, отделяющихся друг от друга сечениями, которые проводятся в местах перелома плоскости водоупорного ложа, а также в местах резкого изменения средних значений коэффициента фильтрации пласта.

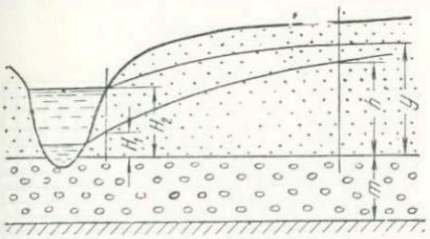


Рис. XXI-6. Подпор в двуслойной среде.

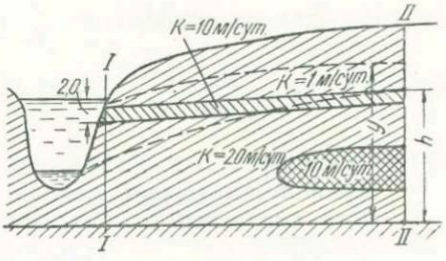


Рис. XXI-7. Подпор при общей неоднородности пласта.

Расчет производится для взятых сечений, с переходом последовательно от одного участка к другому, путем применения приведенных в этом параграфе формул.

Б. Формирование подпора во времени

Ниже приводятся формулы расчета неустановившейся фильтрации для процесса развития подпора в случаях, когда гидрогеологические условия просты. В более сложных условиях пользуются методом расчета неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях, предложенным Г. Н. Каменским [1943], а также моделированием в гидравлическом интеграторе В. С. Лукьянова.

Расчет неустановившейся фильтрации с учетом периодических колебаний горизонта в водохранилище может быть выполнен по методу Н. Н. Веригина [1949], если только распространение колебаний в грунтовом потоке не затухает в пределах безопасной для подтопления прибрежной зоны. Амплитуда колебаний в грунте уменьшается примерно до 4%, т. е. практически исчезает [К. Г. Асатур, 1954] на расстоянии от берега

$$L = \sqrt{\frac{2\pi K h T}{\mu}}, \qquad \text{(XXI-8)}$$

где h — средняя глубина потока для установившейся фильтрации;

μ — недостаток насыщения грунтов, т. е. разность между пористостью (полной влагоемкостью) и естественной влажностью в объемном отношении (определяется по лабораторным дарным);

T — время, равное периоду колебания горизонта воды в водохранилище.

1. Для расчета развития подпора при горизонтальном залегании водоупорного пласта и однородности водоносного слоя следует пользоваться формулой Н. Н. Веригина [1949] (рис. XXI-8)

$$y = \sqrt{h^2 + (H_2^2 - H_1^2)\frac{L-x}{L} - S}, \qquad \text{(XXI-9)}$$

Здесь L — расстояние от уреза водохранилища до соседней реки, оврага или другого дренирующего грунтовые воды понижения рельефа местности;

x — расстояние от уреза водохранилища до расчетного сечения;

h — глубина грунтового потока в расчетном сечении;

S — определяющаяся по графику рис. XXI-9 функция, зависящая от отношения $\frac{x}{L}$ и величины

$$\tau = \frac{Kh_{ср}\, t}{\mu L^2}, \qquad \text{(XXI-10)}$$

где t — время после наполнения водохранилища (время наполнения считается мгновенным);

K — коэффициент фильтрации водоносного горизонта;

$h_{ср}$ — средняя мощность водоносного горизонта, определяющаяся по формуле

$$h_{ср} = \frac{1}{3}(2H_1 + H_2).$$

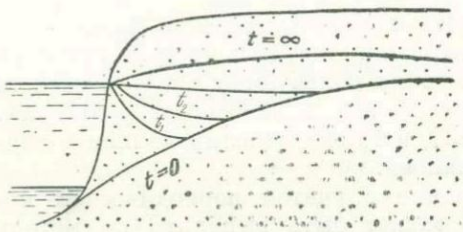


Рис. XXI-8. Схема формирования подпора во времени.

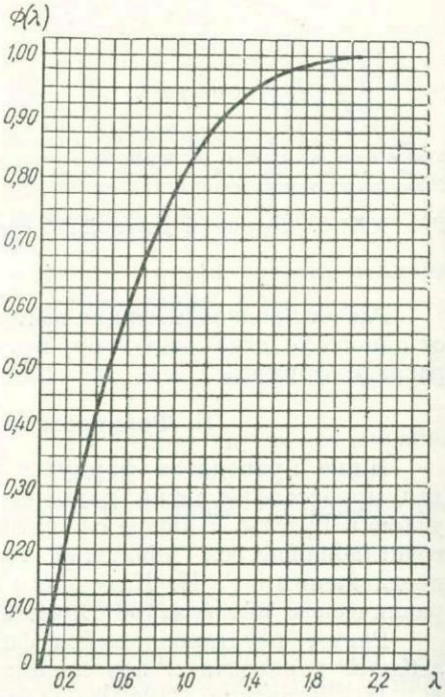


Рис. XXI-10. График Φ в функции от λ.

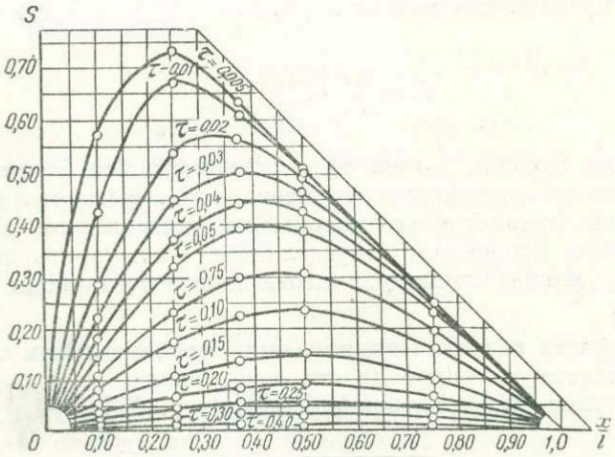


Рис. XXI-9. График S в функции от x/L.

2. В случае, когда расстояние L от уреза водохранилища до дренирующего понижения (реки, овраги и пр.) очень велико, т. е. если можно принять $L = \infty$, расчетная формула приобретает вид

$$y = \sqrt{h^2 + (H_2^2 - H_1^2)(1 - \Phi)}\ , \qquad \text{(XXI-11)}$$

где Φ — определяющаяся по графику рис. XXI-10 функция, зависящая от величины

$$\lambda = \frac{x}{2\sqrt{\frac{K}{\mu} h_{\text{ср}} t}}\ . \qquad \text{(XXI-12)}$$

§ 2. ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ

Под расчетом фильтрации из водохранилища понимается определение фильтрационных потерь, которые не следует смешивать с фильтрационным расходом из водохранилища.

Фильтрационным расходом q из водохранилища называется объемное количество воды, фильтрующейся из водохранилища в единицу времени; величина по закону обратная фильтрационному расходу, называется расходом q' грунтового питания реки после устройства водохранилища

$$q = -q'. \qquad \text{(XXI-13)}$$

Под фильтрационными потерями [Н. Н. Биндеман, 1951] понимается разность между расходом грунтового питания реки до устройства водохранилища q_0 и после устройства водохранилища q'

$$q_{\text{п}} = q_0 - q' = q_0 + q. \qquad \text{(XXI-14)}$$

Здесь под обозначениями q, q', q_0 и $q_{\text{п}}$ подразумеваются удельные, т. е. отнесенные к единице длины берега водохранилища, расходы.

Из формулы (XXI-14) видно, что фильтрационные потери равны фильтрационному расходу только для водохранилищ, созданных в долинах, не имеющих грунтового питания ($q_0 = 0$), условия фильтрации для которых аналогичны условиям, чаще всего встречающимся при фильтрации из каналов.

На рис. XXI-11а река A до устройства водохранилища получала грунтовое питание q_0. После наполнения водохранилища фильтрационный поток направляется в долину реки $Б$.

Фильтрационные потери по формуле (XXI-14) при этом будут больше фильтрационного расхода.

На рис. XXI-11б фильтрационный поток до и после наполнения водохранилища направлен в долину реки $Б$, и поэтому уравнение (XXI-14) имеет вид

$$q_{\text{п}} = q - q_0,$$

где $q > q_0$, т. е. фильтрационные потери будут меньше фильтрационного расхода.

Для схемы «*в*» на рис. XXI-11 фильтрационного расхода не будет, точнее говоря, он будет отрицательным, так как и после наполнения водохранилища продолжается питание реки грунтовыми водами, но фильтрационные потери имеются вследствие перемещения водораздела грунтовых

вод ближе к водохранилищу и сокращения ввиду этого области питания реки A. Формула (XXI-14) при этом получит вид

$$q_{\text{п}} = q_0 - q,$$

где $q_0 > q$.

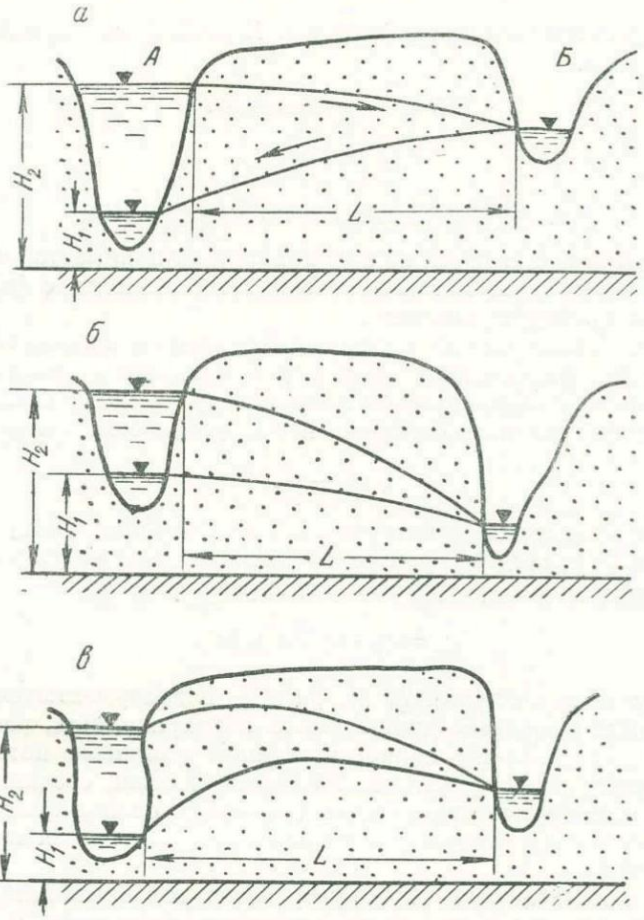


Рис. XXI-11. Влияние подпора на изменение притока.

А. Постоянные потери воды из водохранилища

Постоянные фильтрационные потери из водохранилища имеют место при установившемся движении грунтовых вод и определяются [Н. Н. Биндеман, 1951] для безнапорных потоков по формуле

$$q_{\text{п}} = \frac{KH}{2}\left(\frac{H_1 + H_2}{L} \pm i\right) \qquad \text{(XXI-15)}$$

и для напорных потоков по формуле

$$q_{\text{п}} = \frac{KHm}{L}, \qquad \text{(XXI-16)}$$

где $q_п$ — фильтрационные потери на единицу длины берега водохранилища;
K — коэффициент фильтрации пласта;
H — высота горизонта воды в водохранилище над бытовым горизонтом воды (подпор) в реке;
H_2 — высота горизонта воды в водохранилище над водоупором;
H_1 — высота бытового горизонта воды в реке над водоупором;
L — расстояние от водохранилища до соседней долины, принадлежащей к другой речной системе или к реке, впадающей в нижний бьеф;
i — уклон водоупорного ложа; знак минус берется при уклоне водоупора в сторону водохранилища, знак плюс — при уклоне водоупора от водохранилища в сторону соседней долины;
m — мощность водоносного пласта при напорном потоке.

Формула (XXI-15) применима для любой из схем рис. XXI-11, причем независимо от того, получают ли грунтовые воды в пределах междуречья инфильтрационное питание атмосферными осадками или нет. Для наклонного водоупора ($i \neq 0$) формулой (XXI-15) можно пользоваться лишь при условии $(H_1 + H_2) > Z$, где Z — разность отметок водоупора в двух соседних долинах.

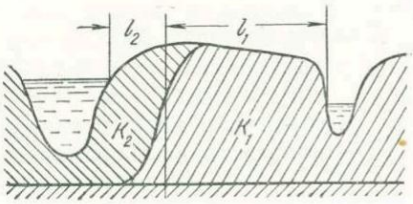


Рис. XXI-12. Подпор при слабопроницаемых отложениях склона долины.

Если коэффициент фильтрации пород неизвестен, но известна величина инфильтрационного питания, то при условии горизонтального залегания водоупора ($i = 0$) значение K для формулы (XXI-15) может быть найдено из формулы

$$K = \frac{W(L-x)}{\frac{h^2-H_1^2}{x} + \frac{H_1^2-h_1^2}{L}}, \qquad \text{(XXI-17)}$$

где h — глубина грунтового потока на расстоянии x от водохранилища;
W — величина инфильтрации, которую чаще всего принимают равной количеству выпадающих осадков, т. е. завышают ее, допуская, что в водоносный слой просачиваются все осадки.

Если склон долины проектируемого водохранилища сложен породами, по сравнению с породами междуречного массива, слабо проницаемыми (рис. XXI-12), то в формулах (XXI-15) и (XXI-16) величина L определяется из выражения

$$L = l_1 + \frac{K_1}{K_2} l_2, \qquad \text{(XXI-18)}$$

где l_1 — ширина междуречья в пределах пород, имеющих коэффициент фильтрации K_1;
l_2 — ширина полосы слабопроницаемых ($K_2 < K_1$) аллювиальных или делювиальных отложений.

Б. Временные потери из водохранилища при наличии грунтового питания реки

Временные фильтрационные потери относятся к периоду неустановившегося движения грунтовых вод, связанного с формированием подпора грунтовых вод, т. е. с насыщением пород, слагающих водоносный пласт

Если река питается грунтовыми водами до и после устройства водохранилища при горизонтальном водоупорном ложе (рис. XXI-13) и однородном пласте, время T, в течение которого происходит фильтрация из водохранилища, определяется [Н. Н. Веригин, 1949] по формуле

$$T = \frac{3}{\pi}\frac{\mu}{K}\frac{l^2}{(2H_l + H_1)}, \qquad \text{(XXI-19)}$$

где μ — недостаток насыщения пород;
K — коэффициент фильтрации пород;
l — расстояние от берега водохранилища до точки кривой депрессии, имеющей до подпора отметку, равную отметке подпертого горизонта воды в водохранилище (рис. XXI-13);
H_l — мощность фильтрационного потока на расстоянии l от берега.

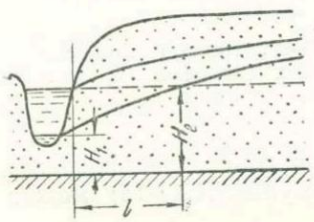


Рис. XXI-13. Схема питания реки грунтовыми водами до и после подпора.

Общий объем V_T воды, профильтровавшейся из водохранилища к моменту прекращения фильтрации, на единицу длины берега равен

$$V_T = q_{ср}T, \qquad \text{(XXI-20)}$$

где $q_{ср}$ — средний фильтрационный расход из водохранилища за весь период T на единицу длины берега, равный расходу грунтового потока до устройства водохранилища и определяемый по формуле

$$q_{ср} = q_0 = K\frac{H_l^2 - H_1^2}{2l}. \qquad \text{(XXI-21)}$$

Так как в период насыщения берега водохранилище лишено грунтового питания, временные фильтрационные потери из водохранилища в среднем за этот период будут равны

$$q_п = 2q_{ср}. \qquad \text{(XXI-22)}$$

В. Временные потери из водохранилища при отсутствии грунтового питания реки

Если грунтовые воды залегают ниже дна водохранилища, то проходит некоторый период времени, необходимый для того, чтобы поток, фильтрующийся из водохранилища, сомкнулся с грунтовыми водами, т. е. период насыщения пород, залегающих под водохранилищем (рис. XXI-14), а затем начинается фильтрация из водохранилища в водоносный слой с насыщением берегов водохранилища.

1. Время T, необходимое для насыщения пород под дном водохранилища, определяют [Н. Н. Биндеман, 1951] по формуле

$$T = \frac{\mu}{K}\left[h_0 - 2{,}3\,(H + H_к)\lg\frac{H + H_к + h_0}{H + H_к}\right], \qquad \text{(XXI-23)}$$

где H — глубина воды в водохранилище;

h_0 — глубина залегания горизонта грунтовых вод (или при отсутствии грунтовых вод — ложа водоупора) от дна водохранилища (рис. XXI-14, XXI-15);

$H_к$ — капиллярное давление менисков на границе насыщения водой, значение которого можно брать согласно табл. XXI-1;

μ — недостаток насыщения пород, залегающих под дном водохранилища.

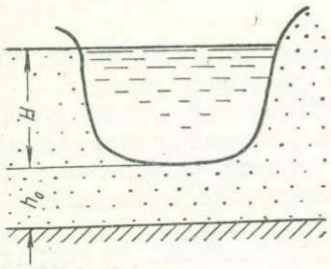


Рис. XXI-14. Подпор при отсутствии грунтового питания.

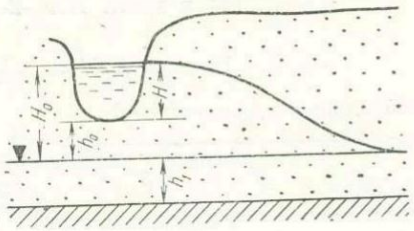


Рис. XXI-15. Схема фильтрации через берег водохранилища.

Таблица XXI-1

Значения капиллярного давления $H_к$ менисков для разных пород

Наименование пород	$H_к$, *м*
Песок крупнозернистый	$<0{,}10$
» среднезернистый	0,10—0,20
» мелкозернистый	0,20—0,30
Супесь	0,30—0,50
Суглинок	0,50—1,00

Общий объем V_T воды, потерянный водохранилищем на насыщение пород под водохранилищем на единицу длины долины, к моменту смыкания фильтрационных вод с грунтовыми равен

$$V_T = \mu h_0 B, \qquad \text{(XXI-24)}$$

где B — ширина водохранилища по урезу воды.

Временные фильтрационные потери в среднем за период насыщения пород под водохранилищем будут равны

$$q_п = \mu\frac{Bh_0}{T}. \qquad \text{(XXI-25)}$$

2. Фильтрационный расход через один из берегов водохранилища при горизонтальном залегании поверхности грунтовых вод (рис. XXI-15) в любой момент времени t, начиная от момента наполнения водохранилища [Н. Н. Биндеман, 1951], равен

$$q_t = \beta H_0 \sqrt{\frac{\mu K H_0}{2t}}, \qquad \text{(XXI-26)}$$

где H_0 — высота горизонта воды в водохранилище над горизонтом грунтовых вод, а при отсутствии грунтовых вод — над водоупором;

h_1 — мощность водоносного горизонта у реки до устройства водохранилища;

β — коэффициент, зависящий от отношения $\frac{h_1}{H_0}$, значения которого приведены в табл. XXI-2

Таблица XXI-2

Значения коэффициента β

$\frac{h_1}{H_0}$	β
0	0,67
1	1,07
2	1,37
3	1,61
4	1,81
5	2,00

Из формулы (XXI-26) видно, что расход q_t со временем убывает.

Временные фильтрационные потери в среднем за произвольный период времени t с момента наполнения водохранилища через один берег равны

$$q_п = 2q_t = \beta H_0 \sqrt{\frac{2\mu K H_0}{t}}, \qquad \text{(XXI-27)}$$

а общий объем воды, профильтровавшейся за время t из водохранилища через один берег на единицу его длины, равен

$$V_t = 2q_t t = \beta H_0 \sqrt{2\mu K H_0 t}, \qquad \text{(XXI-28)}$$

Пример. Горизонт воды в водохранилище находится выше горизонта грунтовых вод на $H_0 = 6$ *м*, из которых $H = 2{,}5$ *м* составляет глубину воды в водохранилище и $h_0 = 3{,}5$ *м* — глубину залегания грунтовых вод от его дна; ширина водохранилища по урезу $B = 200$ *м*; мощность водоносного горизонта $h_1 = 6$ *м*; коэффициент фильтрации $K = 0{,}04$ *м/сутки*; недостаток насыщения породы $\mu = 0{,}20$; капиллярное давление $H_к = 0{,}20$ *м*. Определить в указанных условиях фильтрационные потери из водохранилища за 120 суток от момента наполнения водохранилища.

Находим сначала время смыкания фильтрационного потока из водохранилища с грунтовыми водами по формуле (XXI-23)

$$T = \frac{0{,}20}{0{,}04}\left[3{,}5 - 2{,}3\,(2{,}5 + 0{,}2)\lg\frac{2{,}5 + 0{,}2 + 3{,}5}{2{,}5 + 0{,}2}\right] = 13{,}3 \text{ суток}.$$

Определяем объем воды, потерянный на насыщение пород, залегающих под водохранилищем, по формуле (XXI-24)

$$V_0 = 0{,}2 \cdot 3{,}5 \cdot 200 = 140 \text{ м}^3.$$

Фильтрационный расход через один берег на 1 *м* его длины на 120 суток, при найденном из табл. XXI-2 для $\frac{h_1}{H_0} = \frac{6}{6} = 1$ значении $\beta = 1{,}07$, по формуле XXI-26 будет равен

$$q_{120} = 1{,}07 \cdot 6 \sqrt{\frac{0{,}20 \cdot 0{,}04 \cdot 6}{2 \cdot 120}} \approx 0{,}14 \ м^3/сутки.$$

Вычисляем объем воды, потерянный на насыщение одного берега за 120 суток, по формуле XXI-23.

$$V_{120} = 2q_{120}t = 2 \cdot 0{,}14 \cdot 120 = 33{,}5 \ м^3.$$

Всего на 1 *м* длины водохранилища за 120 суток потерян объем воды, равный

$$V = 140 + 2 \cdot 33{,}5 = 207 \ м^3.$$

§ 3. ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗ КАНАЛОВ

Фильтрация из каналов рассматривается обычно как плоская задача. Здесь приводится только установившаяся фильтрация из каналов, проложенных в однородных и изотропных породах, причем даются только расчеты для определения удельного, т. е. отнесенного к единице длины канала, фильтрационного расхода q из канала.

В случае анизотропных пород в приведенные формулы делается подстановка

$$K = \sqrt{K_в K_г}, \qquad (XXI\text{-}29)$$

где $K_в$ и $K_г$ — коэффициенты фильтрации пород соответственно в вертикальном и горизонтальном направлениях.

1. Если канал проходит в толще неограниченной мощности при отсутствии грунтовых вод и дренажных понижений вблизи, то удельный фильтрационный расход q определяют по формуле В. В. Ведерникова

$$q = K(B + \alpha H), \qquad (XXI\text{-}30)$$

где B — ширина канала трапецеидального сечения по урезу воды;
H — глубина воды в канале;
α — коэффициент, определяемый по графику (рис. XXI-16) в функции от коэффициента откоса m канала и от отношения $\frac{B}{H}$.

2. Если на некоторой глубине T (рис. XXI-17) от дна канала залегает сильно проницаемый пласт, дренирующий фильтрующую в него воду без подпора, то расход q определяют по формуле В. В. Ведерникова [1934]

$$q = K(B + \beta H), \qquad (XXI\text{-}31)$$

где β — коэффициент, зависящий от отношений $\frac{B}{H}$ и $\frac{T}{H}$ и определяющийся для коэффициента откоса канала $m = 1{,}5$ по графику (рис. XXI-18).

3. Если залегающий на некоторой глубине сильно проницаемый пласт содержит напорные подземные воды [В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, 1955],

то удельный фильтрационный расход находится из формулы С. Н. Нумерова

$$q = KH_0 \frac{K_э'}{K_э}, \qquad \text{(XXI-32)}$$

где H_0 — разность напоров в канале и в нижнем сильно проницаемом слое (рис. XXI-19);

$K_э$, $K_э'$ — функции, которые находятся из табл. приложение IX в зависимости от некоторой величины λ^*, определяющейся из уравнения

$$B + \delta H = H_0 \frac{K_э'}{K_э} - 0{,}733 h_0 \lg \lambda, \qquad \text{(XXI-33)}$$

где h_0 — напор в нижнем сильно проницаемом слое, отсчитанный от его кровли (рис. XXI-19);

δ — коэффициент, зависящий от коэффициента заложения откоса m и от отношения $\frac{B}{H}$, определяющийся из графика на рис. XXI-20.

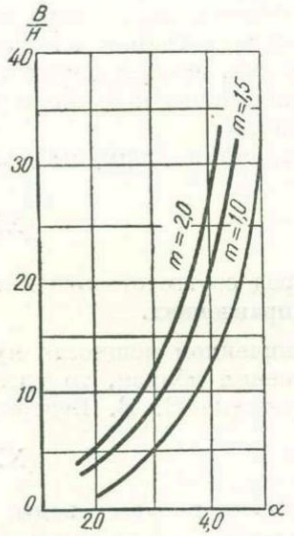


Рис. XXI-16. График α в функции от m и B/H.

Пример. Ширина канала по урезу воды $B = 20$ *м*, глубина воды в нем $H = 2$ *м*, а коэффициент заложения откоса $m = 2{,}5$. Напор в нижнем сильнопроницаемом слое $h_0 = 2{,}5$ *м*, разность напоров в канале и пласте $H_0 = 10$ *м*. Найти фильтрационный расход из канала при коэффициенте фильтрации слоя, в

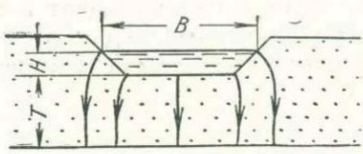


Рис. XXI-17. Схема фильтрации из канала без подпора.

котором проложен канал $K = 1{,}5$ *м/сутки* [В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, 1955].

Так как $\frac{B}{H} = 10$, то при $m = 2{,}5$ из графика рис. XXI-20 находим $\delta = 2{,}62$, и тогда формула (XXI-33) принимает вид

$$\frac{K_э'}{K_э} = 2{,}53 + \lg \lambda^{0{,}183}.$$

Решаем это уравнение последовательным приближением, сведя вычисления в табл. XXI-3.

* См. примечание на стр. 472.

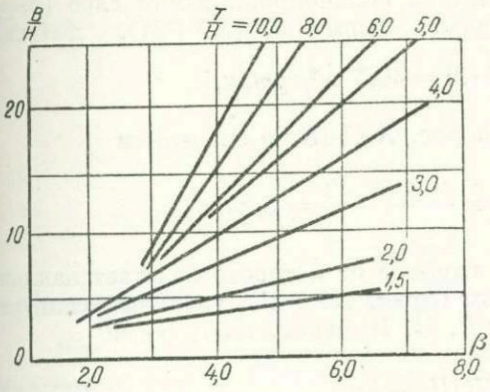


Рис. XXI-18. График β в функции от B/H и T/H.

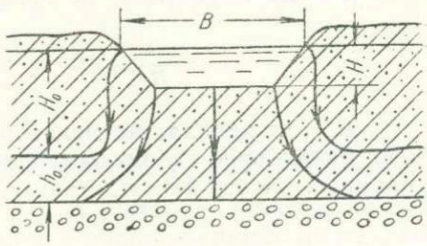


Рис. XXI-19. Схема фильтрации из канала при напоре вод в нижнем пласте.

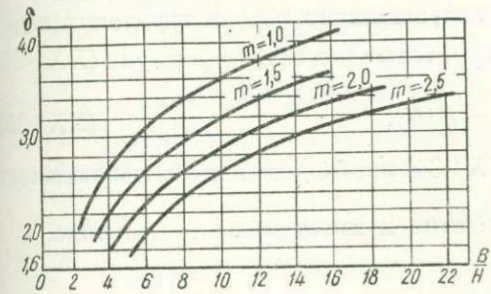


Рис. XXI-20. График δ в функции от m и B/H.

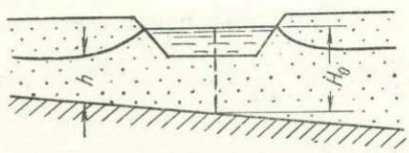


Рис. XXI-21. Схема фильтрации из канала при наклонном водоупоре.

Таблица XXI-3

Определение значения λ

λ	lg λ	$\frac{K_э'}{K_э}$
—	0	2,53
0,0058	—2,24	2,11
0,023	—1,64	2,22
0,016	—1,80	2,19
0,017	—1,77	2,20

В первом приближении второй член правой части решаемого уравнения принимаем равным нулю. В последующих приближениях λ берем из табл. приложения IX по значению $\frac{K_э'}{K_э}$, взятому из предыдущего приближения. Так как в четвертом и пятом приближениях значения $\frac{K_э'}{K_э}$ оказались в пределах точности вычислений совпадающими, расчет прекращаем, приняв $\frac{K_э'}{K_э} = 2{,}2$. Удельный фильтрационный расход получаем из формулы (XXI-32).

$$q = 1{,}5 \cdot 10 \cdot 2{,}2 = 33 \text{ м}^2/\text{сутки}.$$

При отсутствии подпора в нижнем сильнопроницаемом слое ($h_0 = 0$) для $m = 1{,}5$, воспользовавшись формулой (XXI-31), получим

$$q = 1{,}5\,(20 + 3{,}5 \cdot 2) = 40{,}5 \ м^2/сутки,$$

где $\beta = 3{,}5$ определено из графика рис. XXI-18 по значениям

$$\frac{B}{H} = 10 \quad \text{и} \quad \frac{T}{H} = \frac{10 + 2{,}5 - 2}{2} = 5{,}25.$$

4. Для канала, на некоторой глубине от которого залегает наклонный водоупор с небольшим уклоном i (рис. XXI-21), удельный фильтрационный расход [В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, 1955] равен

$$q = Ki(H_0 - h), \qquad \text{(XXI-34)}$$

где H_0 — высота горизонта воды в канале над водоупорным ложем;
h — глубина равномерного фильтрационного потока грунтовых вод.

Если фильтрационного потока грунтовых вод нет, то формула (XXI-34) приобретает вид

$$q = KiH_0. \qquad \text{(XXI-35)}$$

При пользовании формулой (XXI-34) необходимо, чтобы соблюдалось условие $\frac{h}{H_0} < e^{-\frac{\pi\,(B + h - H_0)}{2H_0}}$, что обычно и имеет место в практике.

Глава XXII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Решение вопросов водоснабжения и эксплуатации минеральных и промышленных вод бывает связано с определением запасов подземных вод, методы подсчета которых разнообразны и зависят от геологического строения и гидрогеологических условий района.

Естественные запасы подземных вод обычно подразделяются на статические и динамические.

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1. Определение запасов подземных вод по коэффициенту водоотдачи:

а) для статических запасов

$$Q_с = \mu U_с, \qquad \text{(XXII-1)}$$

б) для динамических запасов

$$Q_д = \mu U_д, \qquad \text{(XXII-2)}$$

где $Q_с$ — статические запасы гравитационной воды, $м^3$;

$Q_д$ — динамические запасы гравитационной воды, $м^3$;

μ — коэффициент водоотдачи для песчано-галечных пород; (определяется в лаборатории, а для трещиноватых скальных пород — по режимным наблюдениям);

$U_с$ — объем гравитационной воды ниже самого низкого уровня подземных вод, $м^3$;

$U_д$ — объем гравитационной воды выше самого низкого уровня подземных вод, $м^3$;

Низкое состояние уровня подземных вод определяется режимными наблюдениями.

Ориентировочные значения коэффициента водоотдачи приводятся в табл. XXII-1.

2. Определение запасов[1] подземных вод по инфильтрации:

а) по инфильтрации атмосферных осадков

$$Q = axF, \qquad \text{(XXII-3)}$$

б) по инфильтрации поверхностных вод

$$Q = Q'_р - Q''_р, \qquad \text{(XXII-4)}$$

[1] Здесь и в последующих расчетах имеются в виду динамические запасы подземных вод. *Научн. ред.*

Таблица XXII-1

Наименование пород	Коэффициент водоотдачи (μ)
Песок пылеватый	0,10—0,15
» мелкозернистый	0,14—0,18
» среднезернистый	0,17—0,21
» крупнозернистый	0,19—0,23
Гравий	0,24—0,28
Галечник	0,22—0,25
Скальные и закарстованные породы в зависимости от степени трещиноватости	0,005—0,05

где Q — запасы подземных вод за счет просачивающейся воды, *м³/сутки*;
α — коэффициент инфильтрации атмосферных осадков, изменяющийся в пределах $0{,}1 \div 0{,}9$, чаще $0{,}2 \div 0{,}4$;
x — годовое количество осадков, *мм*;
F — площадь питания водоносного горизонта, *км²*;
$Q'_р$ — расход поверхностного водотока (река, ручей) выше области просачивания, *м³/сутки*;
$Q''_р$ — то же, ниже области просачивания, *м³/сутки*.

Точность определения запасов подземных вод по формуле (XXII-4) увеличивается, если $\frac{Q}{Q'_р} > 0{,}05—0{,}10$.

3. Определение запасов подземных вод по модулю подземного стока

$$Q = 86{,}4\,MF, \qquad \text{(XXII-5)}$$

где Q — запасы подземных вод, *м³/сутки*;
M — модуль подземного стока, *л/сек · км²*;
F — площадь области питания водоносного горизонта, *км²*.

Модуль подземного стока можно определить по следующей формуле

$$M = \frac{10^6 \alpha x}{365 \cdot 86400} = 0{,}0317\,\alpha x, \qquad \text{(XXII-6)}$$

где α — коэффициент подземного стока (отношение инфильтрационных осадков к годовому количеству осадков);
x — годовое количество осадков, *мм*.

4. Определение запасов подземных вод по расходу источников

$$Q = Q_и, \text{ или } Q = \sum Q_и, \qquad \text{(XXII-7)}$$

где Q — запасы водоносного горизонта, полностью дренированных выше уреза воды в реке (обычно в горных районах), *м³/сутки*;
$Q_и$ — дебит источников, связанных с дренируемым водоносным горизонтом, *м³/сутки*.

5. Определение запасов подземных вод по поверхностному стоку

$$Q = Q_2 - Q_1, \qquad \text{(XXII-8)}$$

где Q — запасы водоносного горизонта, питающего в сухое или в зимнее время года поверхностный водоток, *м³/сутки*;
Q_2 — расход реки (ручья) в нижнем гидрометрическом створе, *м³/сутки*;
Q_1 — то же, в верхнем гидрометрическом створе, *м³/сутки*.

6. Определение запасов подземного потока по годографу рек. Для ориентировочного определения расхода подземного потока речного бассейна пользуются годографом, который характеризует водный режим реки (рис. XXII-1).

Как видно из рис. XXII-1, на годографе выделяется менее устойчивое верховодное и более устойчивое глубоководное подземное питание реки; последнее и соответствует расходу подземного потока.

При определении запасов подземного потока надо каждый раз уточнять модуль подземного стока, водоносный горизонт и сезон года.

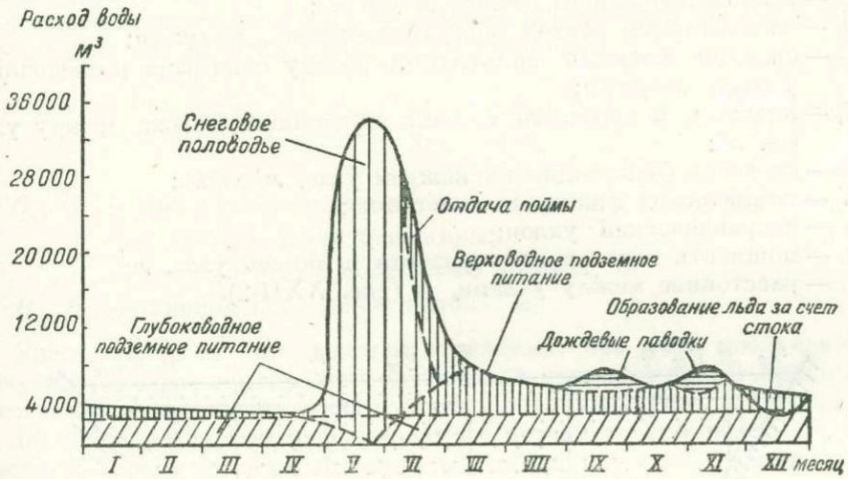


Рис. XXII-1. Схема годографа по Б. В. Полякову.

7. Определение запасов подземного потока по водному балансу

$$Q = x - y - z, \qquad \text{(XXII-9)}$$

где Q — средний расход подземного потока, *м³/сутки*;
x — средняя многолетняя величина осадков;
y — то же, поверхностного стока;
z — то же, испарения.

Размерность x, y и z приводится к *м³/сутки*.

Для ориентировочных расчетов величины осадков, стока и испарения можно брать с карт, приводимых в гидрологической литературе.

8. Определение запасов подземного потока по действительной скорости подземного потока, коэффициенту фильтрации, гидравлическому уклону, поперечному сечению и коэффициенту питания производится по формулам, приведенным в гл. XVIII и XIX.

9. Определение запасов подземного потока по элементам

$$Q = \sum Q_i l, \tag{XXII-10}$$

$$Q_i = v_{i_{ср}} f_i. \tag{XXII-11}$$

$$v_{i_{ср}} = \frac{v_{i-1} + v_i}{2}, \tag{XXII-12}$$

$$v_i = KI, \tag{XXII-13}$$

$$f_i = \frac{h_{i-1} + h_i}{2} l_i, \tag{XXII-14}$$

где Q — расход подземного потока, *м³/сутки*;
Q_i — элементарный расход подземного потока, *м³/сутки*;
$v_{i\,ср}$ — средняя скорость фильтрации между опытными разведочными узлами, *м/сутки*;
f_i — площадь поперечного сечения подземного потока между узлами, *м²*;
v_i — скорость фильтрации на каждом узле, *м/сутки*;
K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;
I — гидравлический уклон;
h_i — мощность водоносного горизонта в данном узле, *м*;
l_i — расстояние между узлами, *м* (рис. XXII-2).

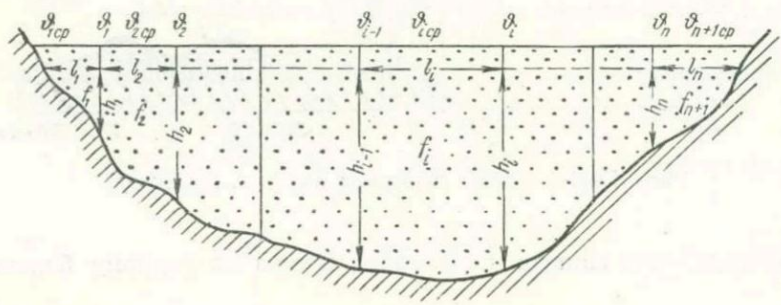


Рис. XXII-2. Схема элементов подземного потока.

10. Определение запасов подземного потока по радиусу влияния колодца. Расход подземного потока для ориентировочных подсчетов определяется по формуле Н. А. Плотникова

$$Q = Be \frac{Q_к}{2R}, \tag{XXII-15}$$

где Q — расход потока, *м³/сутки*;
B — ширина поперечного сечения подземного потока, *м*;
$Q_к$ — дебит колодца, *м³/сутки*;
R — радиус влияния колодца при дебите $Q_к$, *м*;
e — поправочный коэффициент, изменяющийся от 2 до 4.

11. Определение запасов подземного потока по полосе питания колодца при помощи карты гидроизогипс. Единичный расход определяется по формуле

$$q = \frac{Q_к}{L}, \qquad \text{(XXII-16)}$$

где q — единичный расход подземного потока в зоне питания колодца, *м³/сутки м*;
$Q_к$ — дебит колодца, соответствующий ширине зоны питания, *м³/сутки*;
L — ширина зоны питания, *м*.

Ширина зоны питания определяется по карте гидроизогипс, построенных по данным наблюдательных пунктов. Границы зоны питания проводятся перпендикулярно к гидроизогипсам.

12. Определение запасов подземного потока по способу удельного дебита. Оценка производительности подземного потока интересующего нас участка *I* определяется путем сравнения с известными данными другого участка *II* по формуле Н. А. Плотникова.

$$Q_I = Q_{II} \cdot \frac{q_I}{q_{II}} \cdot \frac{i_I B_I}{i_{II} B_{II}}, \qquad \text{(XXII-17)}$$

где Q_I, Q_{II} — расход подземного потока, *м³/сутки*;
q_I, q_{II} — удельный дебит скважины;
i_I, i_{II} — средний уклон подземного потока;
B_I, B_{II} — ширина подземного потока, *м*.

Удельный дебит определяется откачками; при этом необходимо откачку производить из скважин одинаковой конструкции. В процессе откачек понижения уровня воды должны быть близки между собой.

13. Определение запасов подземного потока по способу Н. Г. Малишевского. Расход подземного потока на единицу его ширины определяется по формуле

$$q = \frac{Q_1 + Q_2}{2L}, \qquad \text{(XXII-18)}$$

где q — расход подземного потока на единицу его ширины, *м³/сутки, м*;
Q_1 — расход первой скважины в момент встречи зон питания двух скважин, *м³/сутки*;
Q_2 — расход второй скважины в момент встречи зон питания двух скважин, *м³/сутки*;
L — расстояние между первой и второй скважинами (рис. XXII-3), *м*.

Для определения производительности подземного потока необходимо провести одиночные и парные откачки из двух скважин, расположенных примерно перпендикулярно к потоку. Вначале проводится откачка воды из первой скважины при 5—6 понижениях. Затем первая скважина останавливается и через час вводится в действие вторая скважина, в которой поддерживается непрерывно наибольший расход Q_2. После этого в откачку вводится первая скважина, в которой повторяются понижения уровня воды при одиночной откачке. Момент встречи зон питания двух скважин выявится на кривой $Q = f(S)$, построенной для одиночной и парной откачек первой скважины, и в соответствии с этим определяется значение Q_1.

Н. Г. Малишевский рекомендует повторять опыты два-три раза для получения более надежных результатов; при этом время проведения опытов не должно быть продолжительным.

Запасы подземных вод считаются обоснованными, если на выбранном участке проведены длительные опытно-эксплуатационные откачки и режимные наблюдения.

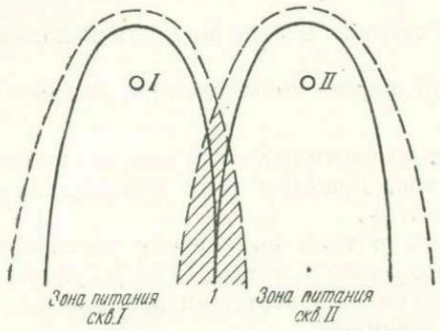


Рис. XXII-3. Схема расположения зон питания двух скважин при парной откачке:

1 — область пересечения зон питания скважин.

14. Определение запасов грунтового потока в аллювиальных отложениях.

По формуле С. П. Албула[1] [1953]

$$Q = Q_p\left[1 - \frac{a(b^n+1)}{b-1}\right], \quad \text{(XXII-19)}$$

где Q — дебит опытной скважины участка водозабора при одновременной работе всех скважин, *м³/сутки*;

Q_p — максимально возможный дебит этой же скважины, рассчитанный по существующим формулам, *м³/сутки*;

n — число одновременно работающих скважин без опытной;

$$a = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; \quad \text{(XXII-20)}$$

$$b = \frac{Q_2 - Q_3}{Q_1 - Q_2}; \quad \text{(XXII-21)}$$

Q_1 — дебит опытной скважины, *м³/сутки*;

Q_2 — дебит этой же скважины с учетом влияния ближайшей соседней скважины, *м³/сутки*;

Q_3 — дебит опытной скважины с учетом влияния ближайших двух соседних скважин (справа или слева).

Данная формула применима в условиях аллювиального грунтового потока при расположении скважин в одну линию, нормально подземному потоку.

Для определения коэффициентов a и b производят опытную групповую откачку из трех скважин, расположенных рядом друг с другом в одну линию.

Перед началом откачки в трех соседних скважинах, включенных в групповую откачку, тщательно замеряется уровень подземных вод. Затем в скважины спускаются насосы с погружением приемного клапана на одну глубину.

В откачку центральная скважина включается первой, затем одна из соседних скважин и потом другая соседняя скважина.

При втором понижении и при третьем понижении порядок откачки принимается тот же, что и при первом.

---

[1] Данная формула требует проверки в различных условиях распространения аллювиальных грунтовых потоков.

Для целей водоснабжения значения коэффициентов a и b выбираются наибольшие, так как они характеризуют степень влияния скважин при одновременном водозаборе.

15. Определение запасов артезианских вод, идущих на питание водозаборов. Расчет ведется по методу депрессионных воронок Н. А. Плотникова [1946]:

$$Q = \frac{1000S}{\tau}, \qquad \text{(XXII-22)}$$

где Q — районный расход, *м³/сутки*;

S — понижение уровня в центральной части района эксплуатации подземных вод, *м*;

τ — удельная районная депрессия — отношение понижения уровня в центральной части депрессии к 1000 *м³/сутки* районного расхода.

Удельная районная депрессия (τ) определяется по многолетним данным эксплуатации водозабора или принимается по данным других водозаборов, расположенных в аналогичных гидрогеологических условиях.

Примеры расчетов по методу депрессионных воронок приводятся в книге Н. А. Плотникова [1946].

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Под эксплуатационными запасами понимается то количество подземной воды, которое идет на питание водозаборных сооружений.

Министерством геологии и охраны недр СССР разработана следующая классификация эксплуатационных запасов подземных вод (табл. XXII-2).

Таблица XXII-2

Категория запасов	Разведанность и изученность	Назначение данной категории
A_1	Запасы подземных вод, вполне установлены и изучены в количественном и качественном отношении по данным эксплуатации	Для планирования текущей эксплуатации водозаборов и их расширение
A_2	Запасы подземных вод установлены количественно на основании детальных разведочных работ, опытных откачек и исследований на участке водозаборов Дебиты источников установлены по данным систематических режимных наблюдений продолжительностью не менее одного года и по данным детальных разведочных и опытных работ на участке каптажа источника. Качество воды для соответствующего целевого использования изучено достаточно	Для обоснования технических проектов и капиталовложений в строительство
B	Запасы подземных вод установлены количественно на основании предварительных гидрогеологических разведок и общих гидрогеологических исследований с производством опытных откачек и кратковременных наблюдений за режимом подземных вод и источников в районе намечаемого водозабора	Для обоснования проектных заданий с конкретным выбором участков расположения водозаборов и каптажей. При значительном превышении эксплуатационных запасов над потребными для составления технических проектов и капи-

Продолжение табл. 2

Категория запасов	Разведанность и изученность	Назначение данной категории
	Качество вод для соответствующего целевого использования изучено достаточно	таловложений в строительство
C_1	Запасы, предполагаемые на основании гидрогеологических исследований (комплексной геолого-гидрогеологической съемки) по естественным выходам подземных вод, существующим водозаборам и одиночным разведочным выработкам В сложных гидрогеологических условиях (неоднородное строение водоносных толщ, непостоянство химического состава и изменчивость дебита воды), кроме того, обосновываются опробованием дебита и качества подземных вод в отдельных точках	Для перспективного планирования использования подземных вод и выбора участков детальных гидрогеологических разведок, обоснования бурения разведочных и опытных скважин. При значительном превышении эксплуатационных запасов над потребными для обоснования проектных заданий по использованию подземных вод и бурению эксплуатационных скважин
C_2	Предполагаемые запасы, примыкающие к районам, разведанным по более высоким категориям. В сложных гидрогеологических условиях необходимо опробование качества подземных вод в отдельных точках	
	Запасы подземных вод, оцениваемые по геологическим и гидрогеологическим предпосылкам	Для планирования гидрогеологических исследований и обоснования бурения разведочных скважин на воду

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Глава XXIII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ВОДЕ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ СЕЛЬСКИХ ОБЪЕКТОВ

§ 1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ СЕЛЬСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

Подземные воды в сельском хозяйстве играют громадную роль. В ряде случаев на базе их строятся водопроводы для снабжения водой колхозных сел, усадеб, совхозов и РТС. Исключительную роль играют подземные воды при водоснабжении животноводческих ферм, полевых бригад, станов и пастбищных участков, удаленных от поверхностных водотоков и водоемов. В связи с этим перед гидрогеологической службой ставятся большие задачи по поискам и разведке подземных источников сельского водоснабжения.

Содержание и объем гидрогеологических изысканий источников водоснабжения, в том числе и сельского, определяются [Г. Н. Каменский, 1947]:

1) размером потребности воды;
2) стадией проектирования водоснабжения;
3) степенью геологической и гидрогеологической изученности территории;
4) гидрогеологическими условиями местности;
5) типом подземных вод, проектируемых к использованию.

При поисках источников сельского водоснабжения особенное внимание уделяется грунтовым водам [1]. Эти воды обычно залегают неглубоко и могут эксплуатироваться шахтными колодцами и мелкими скважинами.

Для правильного обоснования централизованного сельского водоснабжения рекомендуется следующая схема [2] этапов гидрогеологических исследований: 1) сбор и анализ геологической и гидрогеологической литературы по интересующему району; 2) рекогносцировочные работы; 3) детальные исследования; 4) режимные исследования; 5) составление отчета или заключения.

---

[1] В сельском централизованном водоснабжении напорные воды играют бóльшую роль, чем грунтовые, которые чаще всего дают небольшие притоки и легко загрязняются. (*Ред.*)

[2] Нередко для обоснования местного сельского водоснабжения гидрогеологические исследования сводятся к рекогносцировочным обследованиям местности, проходке двух-трех буровых или шахтных разведочно-эксплуатационных колодцев.

Сбор и анализ геологической и гидрогеологической литературы по интересующему району

На основе всестороннего анализа имеющегося литературного материала дается конкретный проект дальнейших изысканий. Часто материалы этого этапа исследований могут служить основанием для составления технического и рабочего проектов.

Рекогносцировочные работы

Эти работы ставят своей задачей выявление водоносных горизонтов и обоснование выбора источника сельского водоснабжения. По окончании рекогносцировочных работ составляется программа последующих изысканий, намечается необходимый объем работ и определяется их стоимость. Одним из основных видов рекогносцировочных работ является гидрогеологическая съемка.

В задачу гидрогеологической съемки входит выявление, описание и опробование водопунктов района (источников, скважин, колодцев, шурфов и т. п.). Водопункты, а также поверхностные водотоки и водоемы (реки, озера, пруды и т. п.), нанесенные на карту, дают возможность судить о водных ресурсах района.

В стадии рекогносцировочных работ наиболее часто применяется гидрогеологическая съемка в м-бе 1 : 200 000, 1 : 100 000 и 1 : 50 000. М-б 1 : 25 000 и более крупные съемки могут применяться на небольших площадях в сложных гидрогеологических условиях.

Нормативные сведения по производству гидрогеологической съемки даны в «Единых нормах выработки на геологоразведочные работы (ЕНВ)», утвержденных Министерством геологии и охраны недр СССР [1955].

Общие методические указания по проведению гидрогеологической съемки приводятся в гл. IX.

Детальные исследования

Детальные исследования включают гидрогеологическую съемку м-ба 1 : 25 000 или 1 : 10 000, разведку водоносных горизонтов с проходкой шахтных колодцев и буровых скважин, количественное и качественное опробование водоносных горизонтов с применением опытных откачек, гидрохимических и бактериологических анализов.

При бурении разведочных скважин применяется шнековое и вибрационно-вращательное бурение на глубину 30—50 *м* и беструбное бурение на глубину до 300 *м* (см. гл. XXVI). Эти виды бурения, основанные на новейших достижениях техники, значительно ускоряют проходку разведочных скважин при соблюдении экономичности и высокого качества работ.

При вскрытии водоносного горизонта разведочными выработками последний опробуется опытными откачками с отбором проб воды на химический и бактериологический анализы (см. гл. IV, IX, XXXI).

Режимные исследования

Режимные исследования включают наблюдения за уровнем, расходом, физическими свойствами и химическим составом воды эксплуатируемого водоносного горизонта в течение определенного периода вре-

мени. Подробные методические указания по этим исследованиям излагаются в книгах: В. Н. Попов «Организация и производство наблюдений за режимом подземных вод» [1955] и «Методическое руководство по изучению режима подземных вод» [1954].

В последнее время при поисках и разведке подземных источников сельского водоснабжения в практику гидрогеологических исследований внедряются геофизические методы (электроразведка, термометрия). Эти методы значительно ускоряют и удешевляют поиски и разведку подземных вод [А. М. Горелик и др., 1956; М. П. Запарин и С. А. Иванов, 1956].

Составление отчета

На основании проведенных гидрогеологических исследований составляется отчет, в котором обосновываются эксплуатационные запасы подземных вод (см. гл. XXII).

Отчет должен быть написан сжато, но с обязательным освещением: 1) географического положения участка хозяйства; 2) методики и объема выполненных работ; 3) орогидрографии и климата; 4) геологического строения; 5) гидрогеологических условий; 6) подсчета запасов подземных вод и качественной характеристики их.

В заключение характеризуются условия водоснабжения с разделением общей потребности в воде на хозяйственные и питьевые нужды. Определяются расходы отдельных водопунктов в период строительства хозяйственных и жилых зданий и при освоении сельских угодий.

К отчету прилагаются: 1) гидрогеологическая карта территории хозяйства; 2) сводная таблица водопунктов; 3) схема водоснабжения усадебных участков и зон санитарной охраны; 4) гидрогеологические и проектные разрезы водозаборов; 5) сметно-финансовые расчеты.

В сельском водоснабжении, кроме подземных вод, большую роль играют поверхностные водотоки и водоемы. Выбор источника водоснабжения каждый раз решается отдельно, исходя из конкретной обстановки. Часто для сельского водоснабжения требуется рассредоточение источников, эксплуатация которых ограничивается одиночными водозаборами (колодец, скважина, каптаж и т. д.). Поэтому поиски и разведка подземных вод после ознакомления с геологической и гидрогеологической литературой по району сводится к проходке колодцев или бурению скважин. В процессе проходки выработок ведется геологическая и гидрогеологическая документация их. По окончании проходки составляется гидрогеологический и технический разрезы скважин или колодцев (рис. XXIII-1) и краткое заключение.

В заключении приводятся сведения по геологическому строению, гидрогеологическим условиям района и результатам количественного и качественного опробования скважины или колодца.

§ 2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ВОДЕ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ СЕЛЬСКИХ ОБЪЕКТОВ

Социалистическое ведение сельского хозяйства требует централизованного водоснабжения. В колхозах, совхозах и РТС быстрыми темпами идет строительство хозяйственно-питьевых и технических водопроводов, вследствие чего особо важным является санитарная охрана водоисточников.

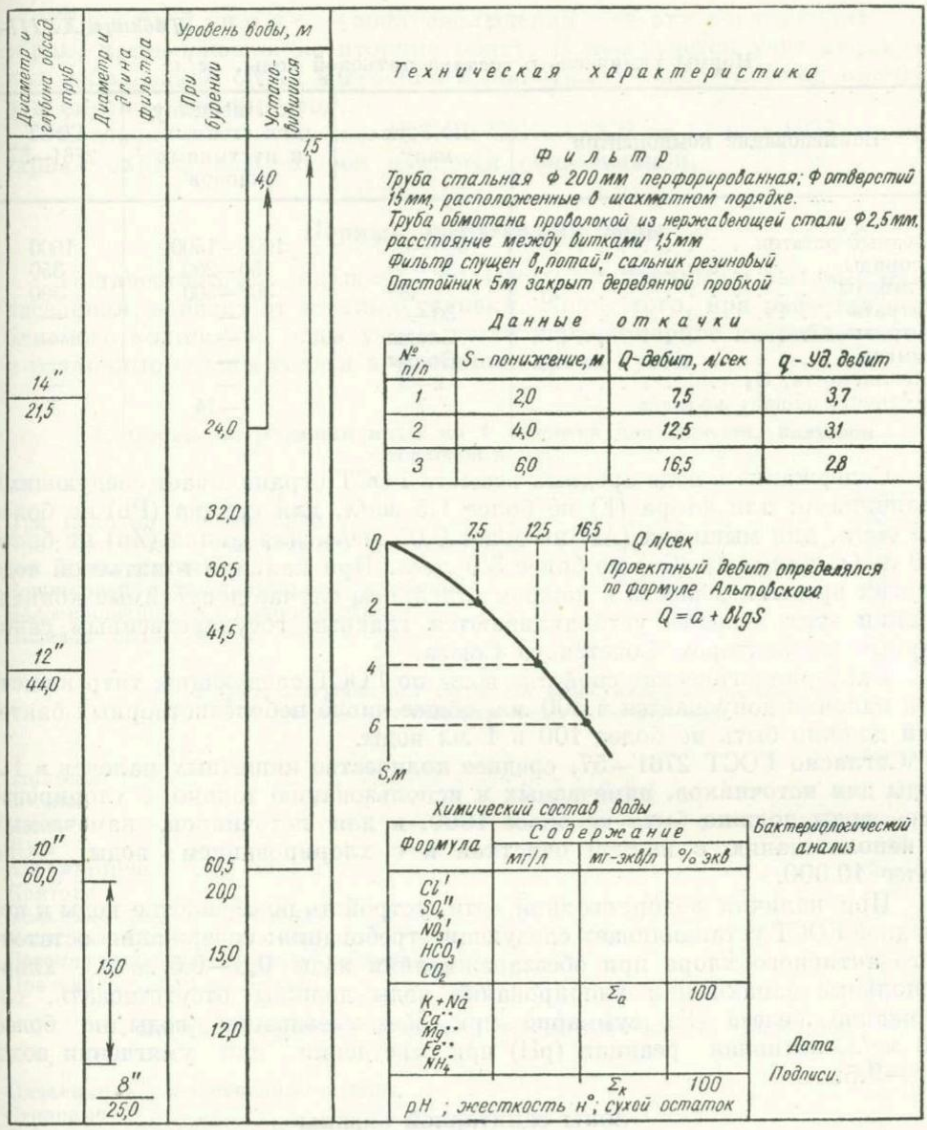
Геологический индекс	Описание пород	Мощность слоя, м	Глубина залегания подошвы слоя, м	Геологический разрез и конструкция скважины
	Почвенный слой	1,5	1,5	
Q_2	Глина красная, песчаная с растительными остатками	10,0	11,5	
Tr	Глина красновато-серая, плотная, сланцеватая	12,5	24,0	
Tr	Песок красновато-серый, мелкозернистый, пылеватый, водоносный	15,0	39,0	
Cr_2	Мергель, серый плотный, слабо водоносный	19,0	58,0	
Cr_2	Глина зеленая плотная	2,5	60,5	
Cr_1	Песок крупнозернистый с гравием и галькой, водоносный	17,0	77,5	
Cr_1	Глина зеленая очень плотная	4,0	81,5	

Рис. XXIII-1. Геолого-техническая характери

Санитарное качество воды

Санитарное качество воды регулируется действующими государственными санитарными стандартами — ГОСТ 2761—44, 2874—45 и 2761—57.

Качество воды определяется производством гидрохимических и бактериологических анализов. При определении качества воды необходимо руководствоваться ГОСТ: 2874—45, 2919—45, 3351—46, 4011—48, 4151—48, 4152—48, 4386—48, 4387—48, 4388—48, 4614—49, 4216—50 и 2761—57. Согласно ГОСТ, запах и привкус воды при температуре 20° С не должен превышать 3 баллов, цветность по шкале в градусах не



стика разведочно-эксплуатационной на воду скважины.

более 20, прозрачность по шрифту Снеллена не меньше 30 *см*, мутность по мутномеру при осветлении воды в *мг/л* не выше 2,0.

При водопое животных температура воды должна быть равна +8 +15° С. Слишком холодная вода может у маток вызвать выкидыш; кроме того низкая температура воды уменьшает упитанность и продуктивность животных. Теплая же вода весьма плохо утоляет жажду.

Химический состав природной воды зависит от географического положения территории, от климата, геологического строения и санитарных и гидрогеологических условий района. В связи с этим нормы химического состава воды, приводимые в табл. XXIII-1, надо считать ориентировочными.

Таблица XXIII-1

Нормы химического состава питьевой воды, *мг/л*

Наименование компонентов	По Эрисману	По Лисицыну для степных и пустынных районов	ГОСТ 2761—57
Плотный остаток	500—600	1000—1500	1000
Хлориды	20—30	150—200	350
Сульфаты	80	300—500	500
Нитраты	30—40	—	—
Нитриты	Следы	—	—
Аммиак	Следы	—	—
Окисляемость, O_2	2—3	—	—
Жесткость общая, *мг-экв/л*	7	7—14	7

Содержание в воде вредных веществ ГОСТ ограничивает следующими величинами: для фтора (F) не более 1,5 *мг/л*, для свинца (Pb) не более 0,1 *мг/л*, для мышьяка (As) не более 0,05 *мг/л*, для цинка (Zn) не более 5,0 *мг/л*, для меди (Cu) не более 3,0 *мг/л*. При наличии в питьевой воде других вредных веществ в каждом отдельном случае допустимые концентрации этих веществ устанавливаются главным государственным санитарным инспектором Советского Союза.

Бактериологические свойства воды по ГОСТ следующие: титр кишечной палочки допускается в 300 *мл*, общее число неболезнетворных бактерий должно быть не более 100 в 1 *мл* воды.

Согласно ГОСТ 2761—57, среднее количество кишечных палочек в 1 *л* воды для источников, намечаемых к использованию только с хлорированием воды должно быть не более 1000, а для источников, намечаемых к использованию с полной очисткой и с хлорированием воды, — не более 10 000.

При наличии водопроводной сети, устройств по обработке воды к последней ГОСТ устанавливает следующие требования: содержание остаточного активного хлора при обеззараживании воды 0,3—0,5 *мг/л*, хлорфенольные запахи при хлорировании воды должны отсутствовать, содержание железа (Fe) суммарно при обезжелезивании воды не более 0,3 *мг/л*, активная реакция (pH) при осветлении или умягчении воды 6,5—9,5.

Зоны санитарной охраны

Во избежание загрязнения водозабора вокруг них устанавливается три пояса санитарной охраны.

Первый пояс — зона строгого режима — устанавливается вокруг водозаборного устройства (каптаж, колодец, скважина, галерея и т. д.) и сооружения (водопроводная станция). Радиус зоны 25—100 *м*. Посторонние лица в эту зону не допускаются. Строительство жилых и хозяйственных построек запрещается.

Второй пояс — зона ограничения — предохраняет от загрязнения водоносный горизонт и ограничивает сельскохозяйственные работы на этой территории. Земельные участки для обработки в этой зоне выделяются по разрешению инспектора санитарного надзора. Радиус зоны зависит от гидрогеологических условий эксплуатируемого водоносного горизонта.

Третий пояс — зона наблюдений — в эту зону входит территория, примыкающая ко второму поясу. В ней ведется учет инфекционных заболеваний среди населения и животных. Особое наблюдение ведут над спуском сточных вод.

Согласно постановлению ЦИК и СНК СССР от 17 мая 1937 г., санитарная охрана водозаборов является обязательной.

Нормы потребления воды

Количество воды, идущее на сельскохозяйственные и бытовые нужды населения, зависит от местных условий. Кроме того, при расчетах потребляемого количества воды учитывается неравномерное потребление воды в различные сезоны года и в различное время суток.

1. Нормы потребления воды на 1 человека для городов, колхозов совхозов и РТС

	л/сутки
При наличии канализации	90—150
При частичной канализации	60—90
Без канализации	40—60
Водопровод с водоразборной колонкой	40—50
Водоснабжение без водопровода	30—40
Полевые сельскохозяйственные работы	25—30

2. Нормы потребления воды на коммунальные расходы (с учетом потребления воды 1 человеком)

	л/сутки
Столовая	15
Школа	15
Баня	100—150
Душ	40
Амбулатория	5—15
Контора	20
Больница (на одну койку)	150—250
Ясли (на каждого ребенка)	75
Детские сады (на каждого ребенка)	50—75
Прачечная (на 1 *кг* белья)	40—60

3. Нормы потребления воды на 1 человека в поселках Казахстана

	л/сутки
Питьевые и хозяйственные нужды	40—60
Столовые	8—10
Культурные учреждения (клуб, театр)	3—5
Конторы	3—5
Школы	8—10
Детские сады	8—10
Амбулатории	8—10
Полевые станы	10—15
Больницы	80—100

4. Нормы потребления воды для сельскохозяйственных машин и механизмов

Трактор во время работы	1,75—2,5 *л/час*
Заправка автомашины	140—200 *л/сутки*
Мойка автомашины	250—600 *л/сутки*

Ремонт трактора	1500 *л/сутки*
Ремонт автомашины	700 *л/сутки*
Двигатели внутреннего сгорания на 1 л. с.	15—30 *л/час*
Паровые котлы на одну индикаторную силу:	
1) с холодильником	10—15 »
2) без холодильника	25—30 »
Керосиновые двигатели на 1 $м^3$ потребляемого газа	30—40 »

5. Нормы потребления воды на один станок сельских мастерских

	л/сутки
Слесарная	80
Механическая	35
Кузнечная	40
Столярная	20

6. Нормы потребления воды для хозяйственных и питьевых нужд животноводства (на 1 голову) согласно государственному стандарту (ГОСТ 2420-49, 2662-49, 2552-49, 2797-49)

Лошади

	л/сутки
Племенные матки кормящие	75
» » некормящие	50
Рабочие, верховые и рысистые	50
Жеребцы-производители	60
Жеребята в возрасте до 1,5 лет	40
» старше 1,5 лет	50

При отсутствии водопровода расход воды для питьевых нужд 1 лошади в среднем равен 40 *л/сутки*.

Крупный рогатый скот

	л/сутки
Коровы	120
Быки-производители	60
Нетели	60
Молодняк	40
Телята	50
Волы	60

Поливочные краны для мытья скота в помещении устанавливаются из расчета радиуса действия 15 *м*.

Мелкий скот

	л/сутки
Овцы и козы	10
Молодняк	3

Свиньи

	Водопровод	
	Имеется *л/сутки*	Отсутствует *л/сутки*
1 хряк, 1 свиноматка и 1 супоросная	45	40
Свиноматка с приплодом	100	75
Молодняк	25	15
В свинарниках-откормочниках на 1 голову	25	25
В свинарниках-комбинатах на 1 свиноматку	290	263

Домашняя птица

	л/сутки
Куры	0,5
Индейки	1
Утки и гуси	1,25

Молодняк (в возрасте 2,5—6 мес.) соответственно в половинном размере.

Помещения

	л/сутки
Кормоприготовительное на основную корову фермы	20
Кормокухня на свиноматку	40
» на откормовочной ферме на 1 голову	6
Ветамбулатория и ветпункт на одно посещение	30
Карантины, изоляторы, стационары для крупного рогатого скота при мягких полах на 1 голову	60
То же, при твердых полах	100
» » при твердых полах для свиней	50
» » для овец и коз	12
» » для кроликов и птиц	5

7. Нормы потребления воды для технологических нужд сельских производств

Молочно-пастеризационные заводы

а) механизированная обработка с пастеризацией . . . . . 8—10 *л* на 1 *л* молока

б) ручная обработка с пастеризацией . . . . . 5—8 *л* на 1 *л* молока

Сыроваренные заводы

Механизированная обработка с пастеризацией . . . . . 8—10 *л* (на 1 *л* молока)

Ручная обработка с пастеризацией . . . . . 5—8 *л* (на 1 *л* молока)

То же, без пастеризации . . . . . 1—1,5 *л* (на 1 *л* молока)

Маслодельные заводы

Механизированная обработка с пастеризацией . . . . . 8—10 *л* (на 1 *л* молока)

Ручная обработка с пастеризацией . . . . . 5—8 *л* (на 1 *л* молока)

То же, без пастеризации . . . . . 3—5 *л* (на 1 *л* молока)

Бойни

Крупного рогатого скота . . . . . 0,3 $м^3$ (на голову)

Мелкого рогатого скота . . . . . 0,1 » »

Прочие нужды

Пекарня . . . . . 0,8—1,6 $м^3$ (на 1 *т* хлеба)

Молочные продукты . . . . . 10—40 »

Масло растительное . . . . . 7—10 »

8. Нормы потребления воды на строительные материалы

Изготовление кирпича	0,7—1,2 *л* (на 1 кирпич)
Кирпичная кладка	0,7—1,0 » »
Промывка гравия	0.3—1,25 *м*³ (на 1 *м*³)
Приготовление бетона	0,20—0,25 » »
Гашение извести	2,5—3,0 » »

Значение коэффициентов суточной ($K_1 = \frac{\text{наибольший суточный расход}}{\text{средний суточный расход}}$) и часовой ($K_2 = \frac{\text{наибольший часовой расход}}{\text{средний часовой расход}}$) неравномерности потребления воды

Секторы	K_1	K_2
Коммунальный	1,3	1,5—2,0
Животноводческий:		
с автопоилками	1,3	2—2,5
без автопоилок	—	4,0

9. Нормы потребления воды на пастбищах степных и полупустынных районов на 1 голову

	л/сутки
Взрослые лошади	30—50
Молодняк до 6 месяцев	20—30
Крупный рогатый скот взрослый	30—50
Коровы молочные	35—60
Молодняк	20—35
Мелкий рогатый скот взрослый	2—5
Молодняк	1—2,5
Верблюды	40—50

Меньшее значение потребления воды относится к зимнему периоду года, большее — к летнему.

10. Нормы суточного потребления воды на парниковую раму (полезная площадь 1,5 *м*²) для центральных районов Союза ССР

	л		*л*
Март	1,5	Июль	7,5
Апрель	3,5	Август	4,5
Май	5,5	Сентябрь	3,0
Июнь	7,5		

Глава XXIV

ТИПЫ СЕЛЬСКИХ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 1. КАПТАЖ ИСТОЧНИКОВ

Конструкция каптажных устройств источников зависит: 1) от типа источника; 2) дебита; 3) характера выхода; 4) требований санитарной охраны; 5) устойчивости склонов и 6) необходимости сохранения естественной вентиляции.

Простейшие каптажные сооружения восходящего источника показаны на рис. XXIV-1, а нисходящего — на рис. XXIV-2. Методы определения дебита источников приводятся в гл. XXXI.

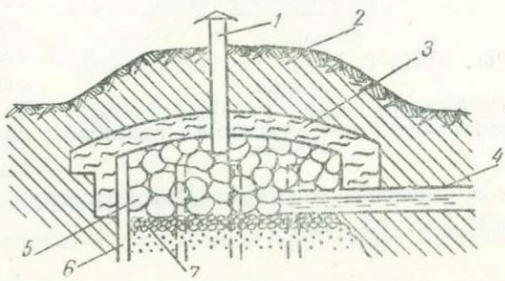


Рис. XXIV-1. Схема каптажа восходящего источника:

1 — вентиляционная труба; *2* — насыпной грунт; *3* — глиняный экран; *4* — водоотводная труба; *5* — каменная наброска; *6* — шпунтовая стенка; *7* — гравийный фильтр.

§ 2. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА

Горизонтальные водозаборы обычно закладываются перпендикулярно движению подземного потока, перехватывают его и направляют к водосборному резервуару.

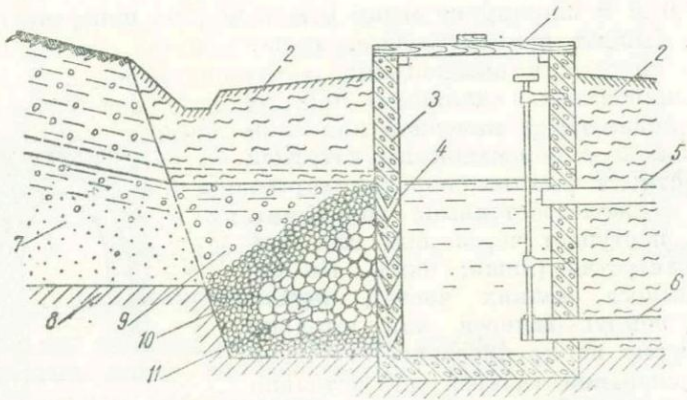


Рис. XXIV-2. Схема каптажа нисходящего источника с водоприемным бетонным колодцем.

1 — деревянная крышка; *2* — глина утрамбованная; *3* — бетонные кольца; *4* — *v*-образные отверстия; *5* — водоотводная труба; *6* — водоспускная труба; *7* — водоносный горизонт; *8* — водоупор; *9* — крупнозернистый песок; *10* — гравий; *11* — галька.

Каменно-щебенчатые и трубчатые водозаборы

Для сооружения этих водозаборов предварительно роют траншею: в рыхлых породах-экскаватором, а в скальных — пневматическими ударными инструментами с применением взрывчатых веществ.

Каменно-щебенчатый водозабор сооружают редко. Трубчатый водозабор показан на рис. XXIV-3.

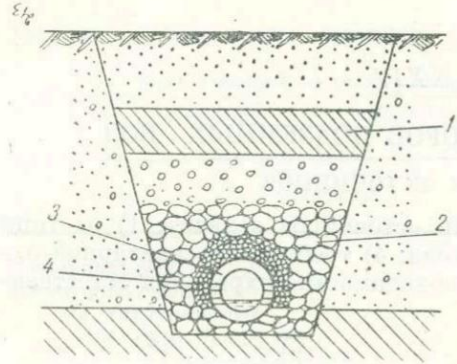


Рис. XXIV-3. Схема трубчатого водозабора:

1 — глиняный экран; *2* — сухая каменная кладка; *3* — дренажная труба; *4* — гравийная обсыпка.

Трубчатый водозабор — более совершенный тип траншейного водозабора. Дренажная труба обеспечивает свободный сток воды и периодическую чистку сточной части водозабора. Трубы могут применяться стеклянные, асбестоцементные, чугунные, бетонные, железобетонные, гончарные и керамические. Диаметр труб обычно более 200 *мм*. Вода в трубу поступает по отверстиям, расположенным с боков. и в верхней ее части. Форма отверстий круглая или щелевидная. В железобетонных трубах больших диаметров устраиваются водоприемные окна с решетками и с крупнозернистой обсыпкой. Диаметр труб зависит от гидравлических расчетов (см. гл. XIV).

Водосборные галереи и штольни

Водосборные галереи и штольни служат для захвата мощных подземных потоков. Галереи проходят открытым способом, штольни — тоннельным методом.

Для успешной эксплуатации эти водозаборы обычно имеют высоту не менее 1,6 *м* и ширину не менее 0,7 *м*. Формы поперечного сечения водосборов бывают прямоугольные, трапециевидные, круглые и овоидальные.

В трещиноватых скальных породах стенки облицовываются каменной или кирпичной кладкой с цементной штукатуркой нижней части; в рыхлых породах строят бетонные и железобетонные водосборы. Вода здесь поступает через швы или специальные отверстия (ниши, окна). Во избежание выноса мелких частиц внутрь водосбора, вокруг галереи или штольни делают обсыпку из крупнозернистого материала. В основании галереи или штольни устраивают бетонный лоток для стока воды.

Схема устройства водосборной галереи показана на рис. XXIV-4. Расчет притока воды к горизонтальным водосборам производится по формулам, приведенным в гл. XIV.

Рис. XXIV-4. Схема бетонной водосборной галереи:

1 — гравийная обсыпка; *2* — бетонная облицовка; *3* — водоприемные отверстия.

Кяризы

Кяризы состоят из ряда шурфов-колодцев, соединенных в призабойной части с водосборной галереей. В маловодных районах Закавказья и Средней Азии кяризы часто обеспечивают потребное количество воды.

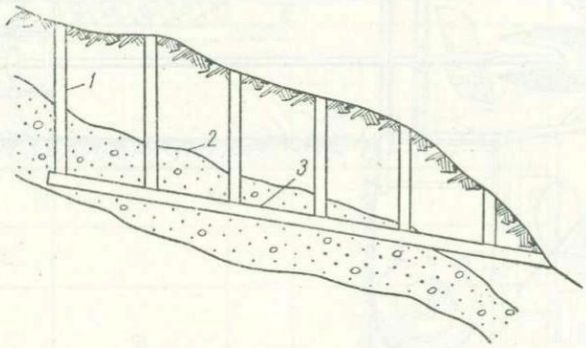


Рис. XXIV-5. Схема кяриза:

1 — смотровые, вентиляционные колодцы; *2* — водоносный горизонт; *3* — кяриз-штольня.

Сооружение кяриза начинается с проходки шурфов-колодцев до водоносных песчаных линз с последующей проходкой соединяющих горизонтальных выработок. Схема кяриза приводится на рис. XXIV-5.

§ 3. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА

К этому типу водозаборов относятся шахтные и трубчатые колодцы.

Шахтные колодцы

Шахтные колодцы широко применяются в сельском водоснабжении, особенно на пастбищных участках. Так, например, в 1954—1955 гг. было построено более 14 300 шахтных колодцев на участках отгона скота.[1]

Шахтные колодцы крепятся деревом, камнем, кирпичом, бетоном и железобетоном. Вода в колодец может поступать через стенки и дно, только через стенки или только через дно. Схема шахтного колодца приводится на рис. XXIV-6. На рис. XXIV-7 и XXIV-8 показан срубовый и бетонный шахтные колодцы с гравитационным фильтром [Я. М. Пашенков и др., 1951, 1957].

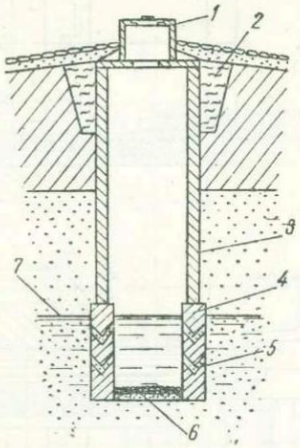


Рис. XXIV-6. Схема шахтного колодца:

1 — оголовок с деревянной крышкой; *2* — глиняный замок; *3* — крепь шахты; *4* — водоприемная часть колодца; *5* — водоприемные отверстия; *6* — гравийно-песчаный фильтр; *7* — водоносный горизонт.

Трубчатые колодцы

Трубчатые колодцы или скважины обычно эксплуатируют более глубоколежащие водоносные горизонты, чем шахтные колодцы.

Вода в скважину поступает через фильтр. Конструкции фильтров разнообразны и описываются в гл. XXX.

[1] В строительство шахтных колодцев внедряются новые машины—колодцекопатели КШК-25, КШК-30 (рис. XXIV-9), (Копатель КШК-25, 1955; Машина КШК-30, 1954).

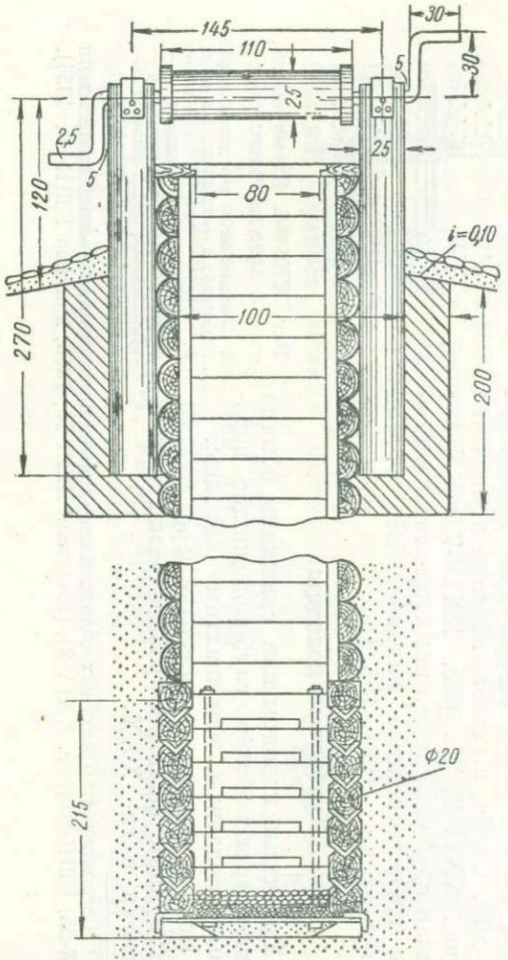


Рис. XXIV-7. Шахтный колодец с простейшим водоподъемником.

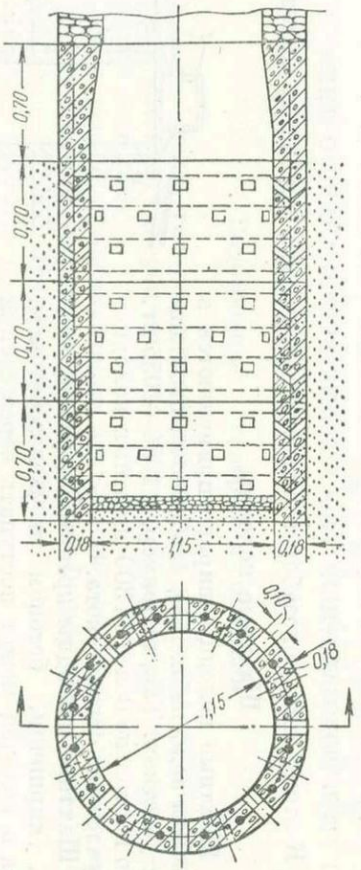


Рис. XXIV-8. Бетонный гравитационный фильтр.

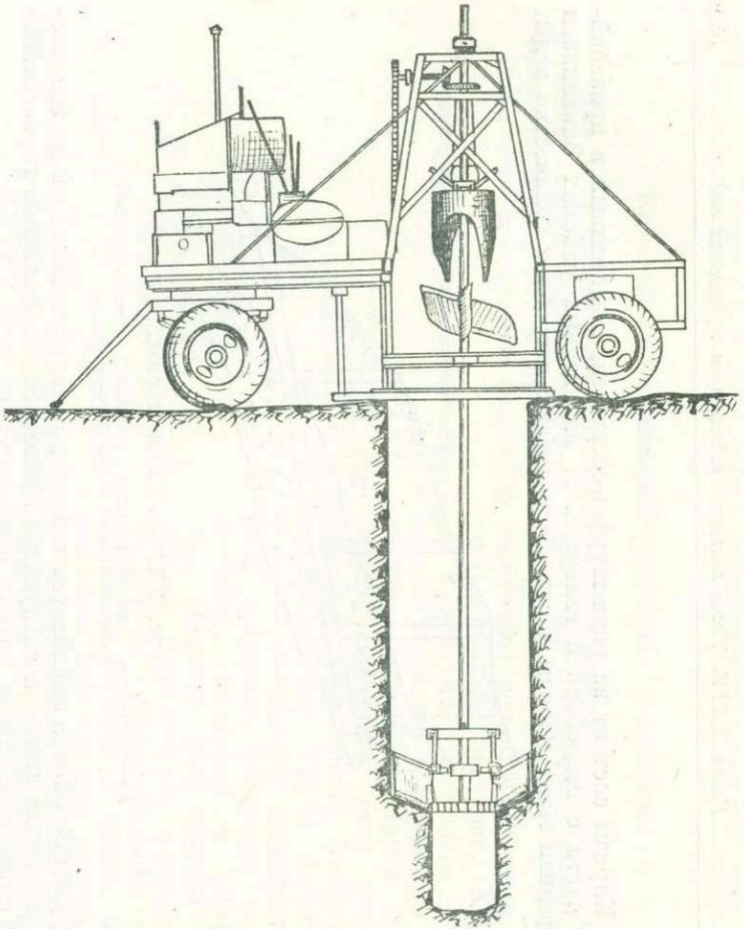


Рис. XXIV-9. Колодцекопатель КШК-30.

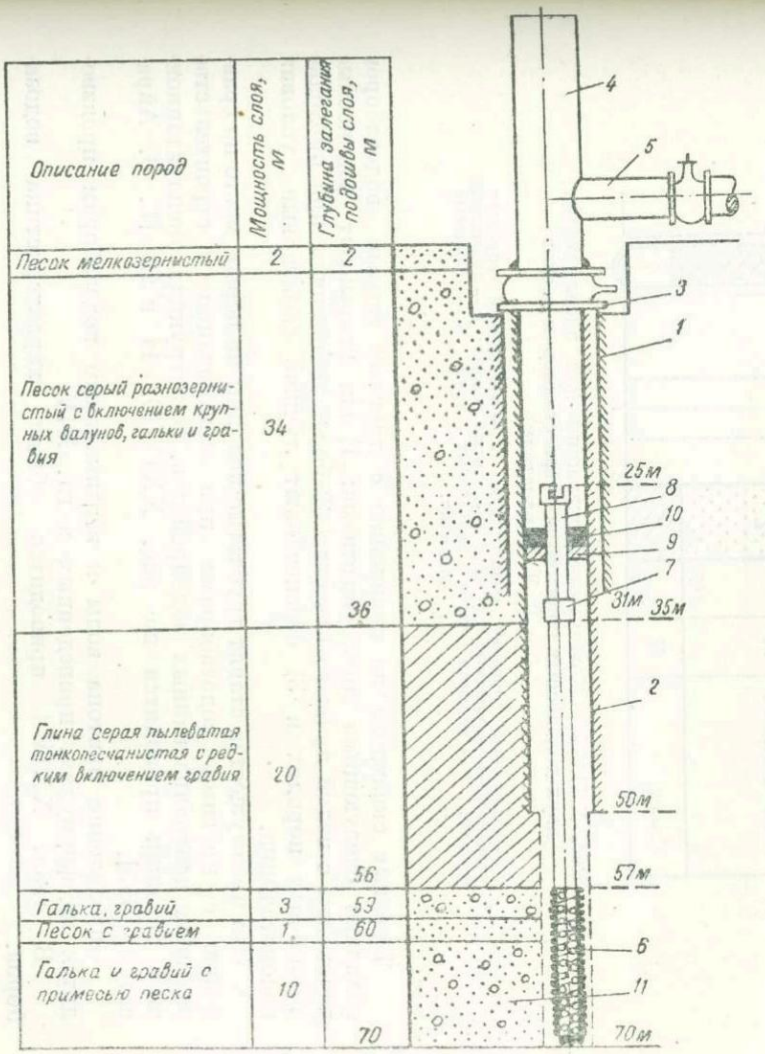


Рис. XXIV-10. Конструкция фонтанирующей скважины (по Г. Э. Айрапетяну):

1—2 — обсадные трубы; *3* — фланец; *4* — труба; *5* — боковой отвод с задвижкой Лудло; *6* — фильтр; *7* — левая муфта; *8* — верхняя часть фильтровых труб; *9* — пеньковый сальник; *10* — цемент; *11* — водоносный горизонт.

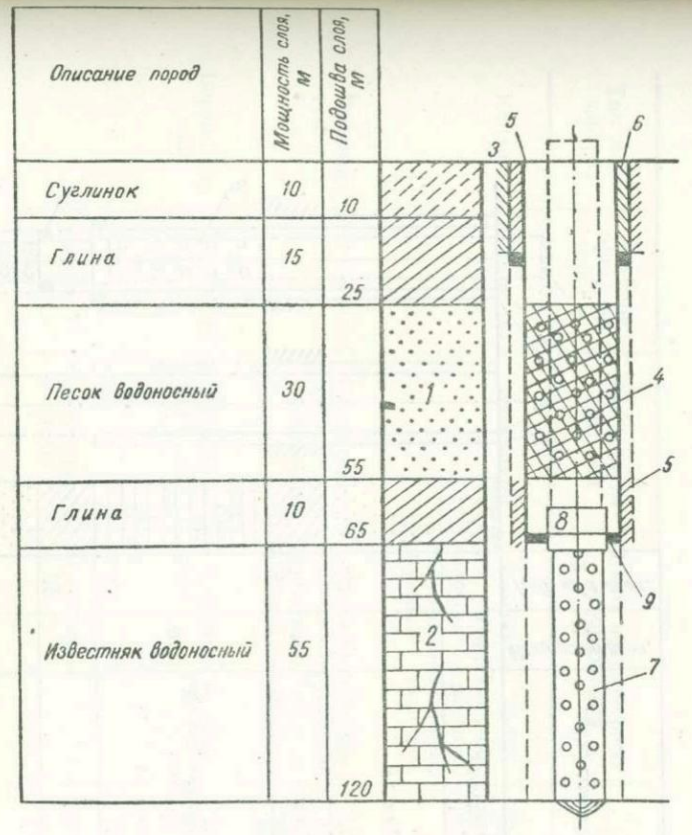


Рис. XXIV-11. Конструкция скважины для одновременной эксплуатации двух водоносных горизонтов — песков и известняков (по Г. Э. Айрапетяну).

1 — водоносный горизонт песков; *2* — водоносный горизонт известняков; *3* — кондуктор; *4* — сетчатый фильтр; *5—6* — цемент; *7* — дырчатый фильтр; *8* — левая муфта; *9* — пеньковый сальник.

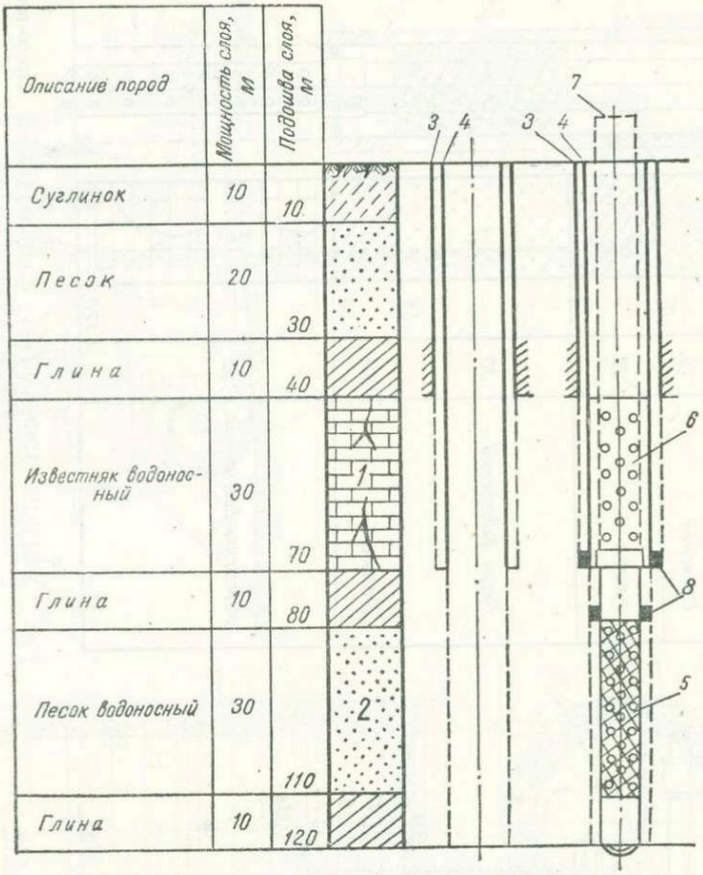


Рис. XXIV-12. Конструкция скважины для эксплуатации двух водоносных горизонтов — известняков и песков (по Г. Э. Айрапетяну).

1 — водоносный горизонт известняков; *2* — водоносный горизонт песков; *3—4* — обсадные трубы; *5* — сетчатый фильтр; *6* — дырчатый фильтр; *7* — верхняя часть фильтровых труб; *8* — пеньковые сальники.

Буровые скважины по сравнению с другими типами водозаборов обладают следующими преимуществами: 1) они вскрывают водоносные горизонты с водой лучшего качества; 2) более экономичны при проходке в скальных породах и 3) обеспечивают лучшие санитарные условия водоисточника.

Эти преимущества ставят трубчатые колодцы на первое место по сравнению с другими водозаборами при организации и строительстве сельских централизованных водопроводов. Конструкции эксплуатационных скважин приводятся на рис. XXIV-10, 11 и 12 [Г. Э. Айрапетян, 1957].

Определение притока воды к вертикальным водозаборам производится по формулам, приведенным в гл. XIV.

В табл. XXIV-1 приводится общая характеристика водозаборов.

Таблица XXIV-1

Тип водозаборов	Глубина применения, *м*	Тип подземных вод	Виды водозаборных сооружений	Основные водоподъемные устройства
Каптаж	С поверхности	Источники	Каменные наброски, продольно-поперечные траншеи, водосборные камеры, опускные колодцы и т. д.	Самотечные устройства, ручные и центробежные насосы
Горизонтальный	5—7	Верховодка, грунтовые воды	Каменно-щебенчатые и трубчатые траншеи, галереи, штольни, кяризы	Самотечные устройства, ручные и центробежные насосы, реже вертикальные насосы
Вертикальный	До 30—40	Грунтовые воды, артезианские воды	Колодцы и скважины	Центробежные, штанговые, глубинные и погружные насосы, эрлифты, реже ручные насосы
	Свыше 40	Артезианские воды	Скважины	Ветронасосные установки и др.

Глава XXV

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МЕЛИОРАЦИИ

§ 1. ОСУШЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ

Общие сведения об осушении земель

Под осушением земель понимается совокупность гидротехнических работ, проводимых для нужд сельского хозяйства, которые в комплексе с агротехническими мероприятиями создают водно-воздушный режим почв, обеспечивающий получение высоких и устойчивых урожаев на заболоченных землях.

Постоянное или временное переувлажнение почвы, т. е. избыток влагосодержания в почве, при котором развитие сельскохозяйственных культур прекращается, может быть обусловлено как поверхностными, так и подземными водами. Заболачиванию способствуют пологий рельеф и слабопроницаемые грунты, затрудняющие поверхностный и подземный сток.

Глубина залегания грунтовых вод, называемая нормой осушения, зависит от вида культуры.

Некоторые нормы осушения для отдельных культур, по данным Института болотного хозяйства БССР [А. Н. Костяков, 1951], приведены в табл. XXV-1.

Таблица XXV-1

Культуры	Средняя за вегетационный период, *см*	К началу обработки, *см*	К началу посева, *см*
Травы	50—65	30—40	50
Пастбища	65—80	30—40	60
Зерновые	70—90	40—45	60
Технические	80—100	45—50	70
Овощные	80—100	45—50	70

При осушении болот и заболоченных земель приходится решать следующие задачи:

1) ускорение оттока почвенно-грунтовых вод, понижение и регулирование их уровня;

2) недопущение притока на данную площадь грунтовых или поверхностных вод.

Применяемые при этом гидротехнические мероприятия преимущественно представляют собой горизонтальный дренаж, т. е. сеть либо откры-

тых канав, либо различного рода закрытых дрен (гончарных, деревянных, каменных, кротовых, жердяных, фашинных). Вертикальный дренаж в сельском хозяйстве осуществляется редко.

Использование тех или иных видов дренажа, помимо экономических соображений, зависит от рельефа местности, его геологического строения, гидрогеологических условий и режима подземных и поверхностных вод.

Элементы осушительной сети показаны на рис. XXV-1. Осушительная система состоит из трех основных частей: регулирующей сети, прово-

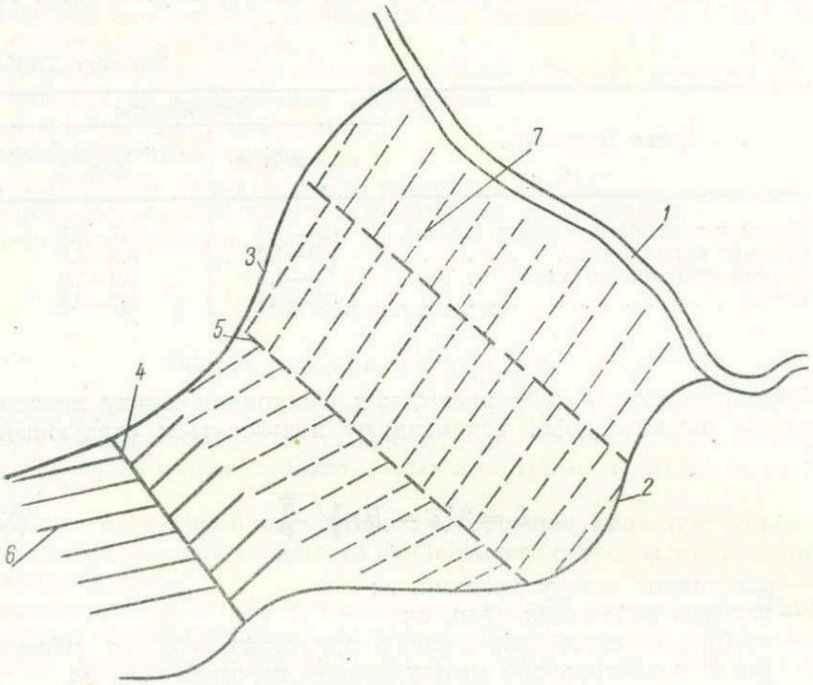


Рис. XXV-1. Схема осушительной сети.

дящей сети и водоприемника *1*, принимающего отводимую дренажную воду.

Регулирующая сеть состоит из элементов (дрен или каналов), принимающих воду из почвы, закрытых дрен, именуемых осушителями *7*, и каналов, называемых собирателями *6*, назначением которых является сбор поверхностной воды.

Проводящая часть состоит из магистрального канала *2* и транспортирующих в него из регулирующей сети воду закрытых каналов, называемых коллекторами *5*, и открытых каналов, называемых транспортирующими собирателями *4*.

Применяющиеся для недопущения притока грунтовых вод канавы называются ловчими, а дрены — головными. Ограждающие территорию от поверхностных вод канавы называются нагорными *3*.

Когда заболоченность бывает вызвана подпором грунтовых вод, осушение часто осуществляется с помощью так называемой береговой дрены, заложенной в известном удалении от реки или водоема. Вода, фильтрующаяся в дрену, выводится самотеком в нижний бьеф, либо отка-

чивается насосами. Расчет такой дрены может быть выполнен по методу С. Ф. Аверьянова [1949].

Открытая дренажная сеть — устройство хотя и дешевое, но несовершенное, так как затрудняет работу сельскохозяйственных машин, сокращает площадь используемой территории и способствует росту сорных растений.

Учитывая опыт осушения земель в СССР, Б. Г. Гейтман и Х. А. Писарьков [1955] рекомендуют принимать глубины заложения дрен на минеральных почвах для различных севооборотов, приведенные в табл. XXV-2.

Таблица XXV-2

Почвы (грунты)	Севообороты	
	полевой, *м*	луговопастбищный, *м*
Глины и тяжелые суглинки	0,8—1,0	0,7—0,8
Средние суглинки	0,9—1,2	0,8—1,0
Легкие суглинки и супеси	1,0—1,2	0,9—1,0
Пески	0,8—0,9	0,7—0,8

Указанные авторы для определения расстояния между дренами, заложенными на водоупоре, рекомендуют пользоваться следующей формулой

$$L = 2(T - H)\sqrt{\frac{K}{P}}, \qquad \text{(XXV-1)}$$

где L — расстояние между дренами, *м*;
T — глубина заложения дрен, *м*;
H — требуемое понижение уровня грунтовых вод от поверхности земли в центральном междудренном пространстве, *м*;
P — количество осадков, отводимых с 1 $м^2$ площади, $м^3/сутки$;
K — коэффициент фильтрации, *м/сутки*.

Гидрогеологические исследования при осушении земель

В состав гидрогеологических исследований для осушения болот входят: комплексная геолого-гидрогеологическая съемка, почвенно-ботанические исследования, разведочные и опытные работы, наблюдения за режимом подземных вод и составление отчета.

Масштаб геолого-гидрогеологической съемки в зависимости от размеров осушаемой площади, сложности ее геологического строения и гидрогеологических условий и стадии проектирования гидротехнических мероприятий может меняться от 1 : 50 000 до 1 : 10 000. Съемка, сопровождаемая горными выработками, должна выяснить, за счет каких водоносных горизонтов происходит заболачивание, на какой глубине лежат и к каким породам приурочены водоносные горизонты, характер их связи между собой и с открытыми водоемами, характер и выдержанность водоупорных пластов.

Выработки располагаются на наиболее характерных элементах рельефа с расстоянием между ними от 100 до 500 *м*. Для определения притоков воды в будущие дренажи проводятся опытные откачки из скважин и шурфов и определяется скорость движения грунтовых вод.

Почвенно-ботанические исследования осуществляются специалистами-почвоведами.

Проведение наблюдений за режимом грунтовых вод в районах осушения осуществляется по специальной методике (см. Методич. руков. по изуч. режима подз. вод, 1954, гл. II, § 5).

Наблюдения за уровнями подземных вод продолжаются и в дальнейшем на осушенных массивах.

На основании результатов исследований по участку осушения составляются следующие графические материалы:

1) карта почвенных образований;
2) карта мощностей торфа;
3) геологическая карта и геологические разрезы;
4) гидрогеологическая карта с нанесением гидроизогипс;
5) графики колебаний уровня подземных вод.

§ 2. ОРОШЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ

Общие сведения об орошении

Орошением называется комплекс гидротехнических мероприятий, связанных с созданием и регулированием водного режима почв, обеспечивающего развитие сельскохозяйственных культур на землях с недостатком влаги.

В районах постоянной засушливости орошение является одним из основных условий самой возможности надлежащего сельскохозяйственного использования земель.

Применяемые в практике оросительные системы находятся в зависимости от сельскохозяйственных требований, предъявляемых к орошению; от характера источника орошения и расположения орошаемой площади по отношению к нему, от климатических и почвенных условий. Можно выделить следующие типы оросительных систем.

1. Регулярно действующее так называемое правильное орошение водой из рек, водохранилищ или за счет грунтовых вод: а) самотечное или б) с механическим подъемом.

2. Одноактно действующее орошение: а) паводковое (из каналов, работающих в период паводков в реке) или б) лиманное — путем задержания талых вод весеннего стока.

Правильное орошение

В системах правильного орошения существует три способа подачи и распределения воды на орошаемых полях:

а) распределение оросительной воды производится по поверхности почвы (бороздной полив или полив затоплением), когда вода поступает в почву сверху путем поглощения ее почвой; этот способ носит название поверхностного орошения;

б) распределение оросительной воды в виде дождя над орошаемой площадью при помощи особых аппаратов; этот способ носит название дождевания;

в) подведение воды не с поверхности, а снизу, по заложенным в земле трубам, и увлажнение активного слоя почвы за счет главным образом всасывающей силы почвы; этот способ носит название подпочвенного орошения.

Наиболее распространенным является способ поверхностного орошения, затем — дождевания и, наконец, — подпочвенного орошения.

При поверхностном способе полива система правильного орошения, часть элементов которой показана на рис. XXV-2, состоит из постоянной проводящей сети (транспортирующая часть системы); временной оро-

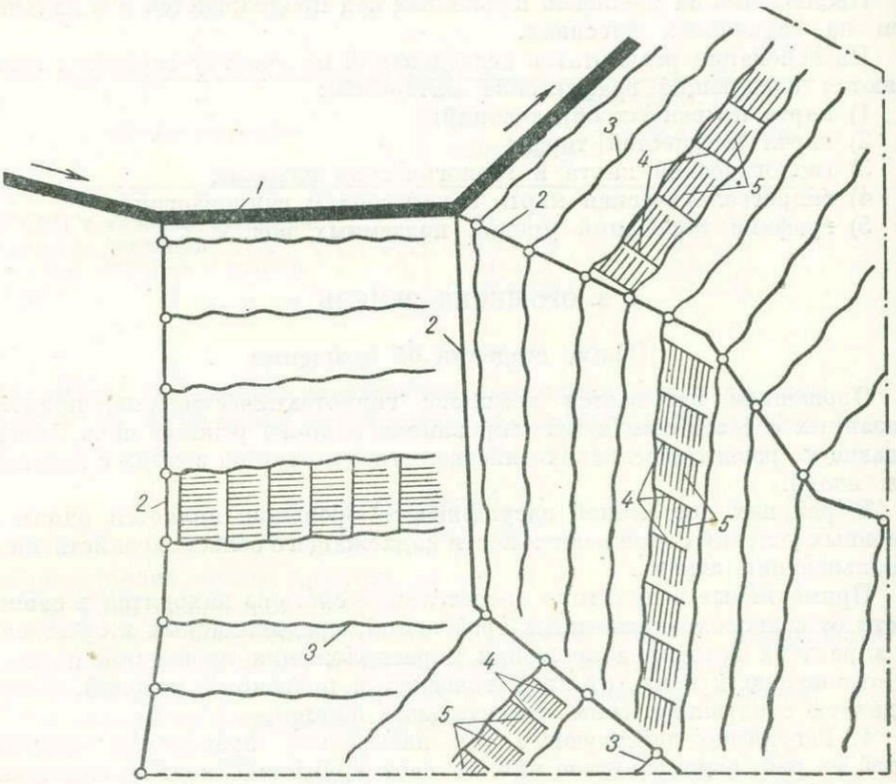


Рис. XXV-2. Схема оросительной сети.

сительной сети (регулирующая часть системы); водосборно-сбросной сети, предназначенной для отвода избыточных вод с поверхности орошаемых площадей, и дренажной сети, отводящей за пределы территории оросительной системы избыточные объемы грунтовых вод.

Каналы оросительных систем оборудуются сооружениями для регулирования подачи (и оттока) воды, преодоления препятствий рельефа и поддержания в каналах требуемых уровней.

В состав проводящей сети входит магистральный канал *1*, подающий воду от источника орошения (река, озеро) к орошаемым массивам, и распределительные каналы *2*, распределяющие поступающую из магистрального канала воду между орошаемыми массивами, точнее говоря — между временными каналами *3* оросительной сети. Эти оросительные каналы, устраиваемые на период полива, проводят воду от распределительных каналов к поливным участкам, т. е. к выводным бороздам *4*, которые

в свою очередь подают воду в поливные борозды *5*, доставляющие воду непосредственно растениям.

Необходимость водосборно-сбросной и дренажной сети объясняется тем, что в орошаемой системе с течением времени появляются избыточные — поверхностные и грунтовые — воды. Избыток грунтовых вод обусловливается двумя причинами: 1) фильтрацией воды из каналов и 2) фильтрацией воды с поливных площадей.

Это обстоятельство через несколько лет после начала орошения может привести к заболачиванию земель. Переувлажнение почвы, появляющееся в результате капиллярного поднятия, может привести, кроме того, к нежелательному явлению засоления почвы, которое образуется вследствие испарения воды и осаждения в порах почвы растворенных солей.

Почвы, содержащие легкорастворимые соли и некоторые поглощенные катионы, называются солончаками. В зависимости от растворенных в них солей солончаки бывают хлоридными, хлоридносульфатными и содовыми, а в зависимости от поглощенных катионов — кальциевыми, натриевыми и смешанными.

Рассоление солончаков производится путем промывания их и удаления воды из почвы с помощью дренажа.

Особенно неприятны натриевые солончаки, в которых после промывки и удаления воднорастворимых солей остаются поглощенные катионы натрия. Получившаяся при этом почва называется солонцом. При дальнейшем рассолении в почвенных растворах образуется весьма вредная для растений сода. Поэтому промывка солонцов производится водой с раствором гипса, вытесняющим поглощенный катион натрия. Однако при этом катион этот переходит в почвенный раствор в виде сульфатов натрия, ядовитых для растений, что требует удаления их из почвы также с помощью дренажа.

Для предотвращения заболачивания и засоления почв при орошении считается необходимым, чтобы глубина залегания грунтовых вод была не менее 2,5—3 *м* от поверхности земли.

К числу мероприятий, способствующих дренированию орошаемых земель, относится так называемый биологический дренаж — разведение на орошаемых землях древесной растительности, каждый гектар которой транспирирует до 15—20 тыс. $м^3$ почвенно-грунтовых вод в год. Аналогичное дренирующее действие оказывают и посевы трав с сильно развитой корневой системой (люцерна). «Биологический дренаж», однако, не затрагивает массы солей, содержащихся в грунтовых водах.

Одноактно действующее орошение

При паводковом орошении вода в период половодья задерживается в небольших водохранилищах, устраиваемых путем перегораживания оврага или лощины земляной плотиной.

Лиманное орошение заключается в устройстве так называемых лиманов, для чего пониженная часть орошаемой площади окружается дамбами, задерживающими весенние талые воды. После увлажнения почвы излишки воды выпускаются через водоспуски в дамбах.

Источниками орошения могут служить не только поверхностные (реки, озера), но и подземные воды.

Подземные воды обычно используются для орошения небольших сельскохозяйственных угодий, причем забор воды осуществляется путем откачки из скважин. В Средней Азии и Закавказье для этой цели пользуются кяризами.

За последнее время в Закавказье и Крыму при бурении обнаружены пресные артезианские воды, которые также могут быть использованы для орошения.

Гидрогеологические исследования при орошении земель

При осуществлении орошения, так же как и осушения, основной задачей, в решении которой необходимо участие гидрогеолога, является обеспечение требуемого режима грунтовых вод в пределах орошаемой территории.

В тех случаях, когда источниками орошения являются подземные воды, к этому добавляется участие гидрогеолога в выборе источника орошения.

При выборе источника орошения нужно иметь данные о количестве требуемой для орошения воды.

В водопотребление оросительных систем входят:

1) объем воды, подводимой на протяжении года к полям для производства полива, равный произведению орошаемой площади (*га*) на так называемую оросительную норму ($м^3$);

2) потери в самой оросительной системе.

Методика расчета оросительных норм очень несовершенна. К тому же эти нормы подвержены изменениям в зависимости от применяемого способа полива.

Более надежны оросительные нормы, установленные опытным путем. Величины их колеблются в очень широких пределах. Так, для орошения одного гектара хлопчатника в полупустынной зоне требуется около 9000—10000 $м^3$ воды, а для одного гектара многолетних трав в зоне неустойчивого увлажнения (степей) — не более 3000—3500 $м^3$ (нетто). Рис требует до 20—25 тыс. $м^3$ воды в год [1].

Продолжительность оросительного периода составляет в общей сложности примерно до 100—150 суток в год.

Потери воды в оросительной системе, в основном происходящие путем фильтрации и составляющие от 10—15 до 80—100% (от количества полезно расходуемой на орошение воды), зависят от проницаемости грунтов, протяженности каналов, режима работы каналов, глубины залегания грунтовых вод, эффективности применяемых противофильтрационных мероприятий и степени совершенства эксплуатации.

Качество воды для орошения определяется ее химическим составом и температурой.

Вода считается безвредной, если ее сухой остаток не превышает 1,7 *г/л*. При содержании солей более 5 *г/л* вода считается совершенно непригодной для орошения. При содержании солей от 1,7 до 5 *г/л* возможно засоление почв. Имеет значение и состав солей. Если оросительная вода в основном содержит углекислые соли кальция и магния и сульфаты кальция, то она безвредна. Если же в воде находятся соли натрия, то для хорошо проницаемых почв допускается следующее их содержание:

	г/л
Na_2CO_3	1
NaCl	2
Na_2SO_4	4

[1] Нормы воды при рассолении почвогрунтов колеблются от 1500 до 7000 $м^3/га$.

Выбор источника орошения и прогноз режима грунтовых вод орошаемой территории требуют проведения гидрогеологических исследований, которые выполняются в комплексе с геологическими и инженерно-геологическими изысканиями.

Различают гидрогеологические исследования на трассе магистрального канала и на орошаемых массивах.

1. Гидрогеологические изыскания на трассе магистрального канала проводятся с целью получения данных для расчета потерь воды и подпора грунтовых вод при фильтрации из канала для прогноза заболачиваемости и засоления земель на примыкающих к каналу территориях. Эти исследования обычно выполняются в две стадии: для проектного задания и для составления рабочих чертежей. В некоторых случаях при проектировании имеет место промежуточная стадия технического проекта.

Гидрогеологические исследования на трассе магистрального канала состоят из полевых исследований, гидрогеологических расчетов и составления отчета.

Полевые исследования включают комплексную гидрогеологическую съемку, разведочное бурение, шурфовку опытные наливы и откачки.

Съемка в м-бе 1 : 25 000—1 : 10 000 проводится по трассе магистрального канала и на расстоянии 5—10 *км* в обе стороны от него и сопровождается шурфовочными работами и мелким зондированием.

Скважины для разведочного бурения закладываются по трассе канала через 1—5 *км* одна от другой — тем чаще, чем сложнее геологическое строение и гидрогеологические условия трассы, — и на глубину 5—10 *м* ниже проектной отметки дна канала. По данным бурения составляется геологический разрез по трассе канала в м-бе 1 : 1000—1 : 2000 с нанесением гидрогеологических данных.

Одновременно скважины бурятся и по нормальным к трассе поперечникам, располагаемым через 5—10 *км* друг от друга, данные по которым наносятся на поперечные геологические профили и используются для расчета подпора грунтовых вод. Длина буровых поперечников 2—5 *км* в обе стороны от канала; расстояние между скважинами в поперечниках 500—1000 *м*; глубина скважин 10—25 *м*.

При бурении скважин проводятся гидрогеологические наблюдения и документация: послойный отбор и описание образцов пород; наблюдения за водоносностью слоев, за появлением грунтовых вод и колебаниями их уровней; отбор проб для химического анализа вод.

Шурфы закладываются для отбора монолитов пород из зоны аэрации и опытных наливов (по способу Нестерова в суглинистых и Болдырева — в песчаных грунтах).

Опытные откачки проводятся в тех местах, где канал пересекает участки водоносных пород. Откачки при этом проводятся из одиночных скважин, реже — из кустов скважин, при двух-трех понижениях уровня; по их результатам определяются коэффициенты фильтрации водоносных пород.

Гидрогеологические расчеты фильтрации и подпора грунтовых вод выполняются по методам, описанным в гл. XX и XXI.

Отчет по гидрогеологическим исследованиям на трассе магистрального канала включает описание геологического строения и гидрогеологических условий намеченных вариантов трассы; детальную гидрогеологическую характеристику основного варианта трассы; описание геологии и гидрогеологии приканальной зоны и участков расположения гидротехнических сооружений; гидрогеологические расчеты; описание физико-

технических свойств пород и заключение по проведенным исследованиям.

К отчету должен быть приложен следующий графический материал:

а) гидрогеологическая карта приканальной зоны;

б) геолого-литологические профили в м-бе 1 : 1000—1 : 5000 по всем вариантам трассы и буровым поперечникам с нанесением глубин залегания и уровней грунтовых вод;

в) гидрохимический профиль по основному варианту трассы с указанием минерализации и химического состава вод;

г) профиль засоленности пород;

д) графики опытных наливов в шурфы и опытных откачек.

При близком расположении вариантов трассы и возможности интерполяции между ними в материалы к отчету включаются составленные в м-бе 1 : 25 000—1 : 5000 карты: геолого-литологическая, глубин залегания грунтовых вод с нанесением гидроизогипс, гидрохимическая и засоленности пород.

2. Гидрогеологические исследования на массивах орошения включают геолого-гидрогеологическую съемку, разведочные и опытные работы, гидрогеологические расчеты и стационарные наблюдения за режимом грунтовых вод.

Комплексная геолого-гидрогеологическая съемка, выполняемая на топографической основе м-ба 1 : 50 000—1 : 5000, заключается в одновременном проведении геологической, геоморфологической и гидрогеологической съемок. При этом изучается геологическое строение площади орошения и литологический состав и водоносность пород, слагающих поливные земли; отбираются образцы пород для изучения их физико-механических свойств (особенно поверхностных отложений, подверженных действию оросительных вод) и собираются материалы для характеристики поверхностного стока на поливных землях.

В результате съемки составляются геологические и гидрогеологические разрезы и карты: фактического материала, геолого-литологическая, геоморфологическая, глубины залегания грунтовых вод, изогипс, гидрохимическая (минерализации и химического состава вод), засоления.

Разведочные работы включают бурение скважин, проходимых с целью уточнения данных о геологическом строении орошаемого массива, литологическом составе, степени засоленности пород, глубине залегания и химическом составе грунтовых вод, и проходку шурфов, имеющую целью отбор монолитов пород для изучения их физико-химических свойств.

Скважины закладываются чаще всего по поперечникам, реже—по сетке. При залегании коренных пород на глубине 10—15 *м* скважины проходятся до кровли этих пород, а при более глубоком их залегании — останавливаются в четвертичных отложениях на 2—3 *м* глубже уровня грунтовых вод, и только некоторая часть их пересекает всю толщу четвертичных пород и углубляется в коренные породы на 2—3 *м*.

В процессе бурения ведутся наблюдения над водоносностью пород, производится послойный отбор образцов грунтов для определения их физико-механических и водных свойств и засоленности, а также отбор проб воды для химического анализа.

По результатам разведочного бурения и шурфовки составляется отчет, к которому прилагается следующий графический материал:

а) план расположения буровых скважин и шурфов;

б) разрезы буровых скважин и шурфов;

в) геолого-литологические разрезы в м-бе 1 : 2000—1 : 5000 по буровым поперечникам с нанесением уровней грунтовых вод;

г) карты в м-бе 1 : 2000—1 : 5000: геолого-литологическая, засоленности пород, рельефа кровли коренных пород, мощности четвертичных отложений, глубин залегания грунтовых вод, химического состава вод, гидроизогипс, расположения буровых скважин, предназначенных для режимных наблюдений;

д) таблицы физических свойств пород, результатов водных вытяжек и химического анализа грунтовых вод и др.

Опытные работы, проводимые на массивах орошения, могут быть различными в зависимости от детальности исследований. Для общей гидрогеологической характеристики площади орошения, используя сущест-

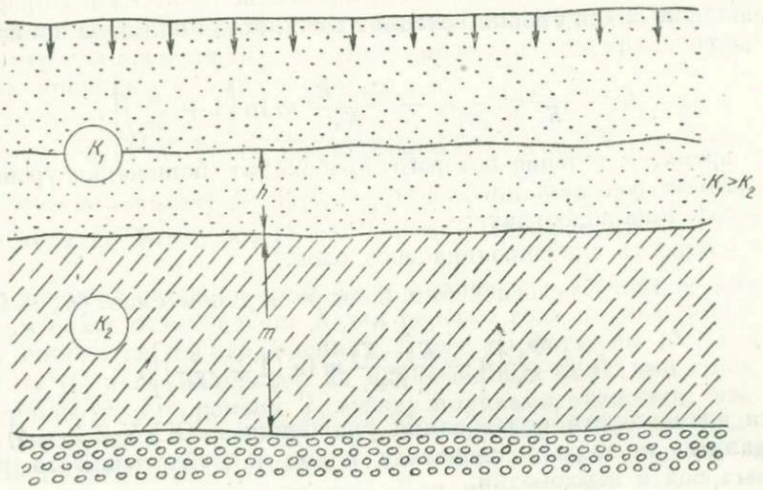


Рис. XXV-3. К прогнозу уровня грунтовых вод.

вующую сеть скважин и шурфов, определяют скорость и направление движения потока и коэффициент фильтрации пород. Для установления возможной связи между грунтовыми водами, залегающими в четвертичных и дочетвертичных отложениях, производятся откачки из двух соответственным образом пройденных и оборудованных скважин.

Гидрогеологические расчеты на массивах орошения преследуют цель прогноза режима грунтовых вод вследствие повышения их уровня при поливе и понижения в остальное время года.

Методика этих расчетов предложена Н. Н. Биндеманом [1957] и А. В. Лебедевым [1957] [1]. Здесь она изложена на основе работы Н. Н. Биндемана, рассмотревшего образование верховодки в условиях слоистого строения зоны аэрации (рис. XXV-3).

Повышения h уровня грунтовых вод над водоупором в конце периода полива может быть определено из логарифмического уравнения

$$t = \frac{\mu_{в_1}}{W - K_1}\left[h + \frac{K_1 - K_2}{W - K_2} h_{\max} \ln\left(1 - \frac{h}{h_{\max}}\right)\right], \qquad \text{(XXV-2)}$$

[1] Работа А. В. Лебедева здесь не использована, так как она опубликована после сдачи настоящей книги в печать.

где t — продолжительность инфильтрации оросительных вод;
$\mu_{в_1}$ — недостаток водонасыщенности грунта в верхнем слое;
K_1 — коэффициент фильтрации верхнего слоя;
K_2 — коэффициент фильтрации нижнего слабопроницаемого слоя (водоупора);
W — величина инфильтрации оросительных вод;
h_{max} — максимальное повышение величины h.

Подъем уровня грунтовых вод может быть только при условии

$$K_2 < W < K_1;$$

при этом предполагается, что подземные воды залегают глубоко и подпора не оказывают.

Уравнение спада уровня грунтовых вод, когда полив не производится, имеет вид

$$t_c = \frac{\mu_{в_2}}{K}\left[h - h_c - \frac{K_1 - K_2}{K_2} m \ln\left(1 + \frac{h}{m}\right)\right], \qquad \text{(XXV-3)}$$

где t_c — время, в течение которого происходит понижение уровня грунтовых вод от h до h_c;
$\mu_{в_2}$ — величина водоотдачи;
m — мощность слабопроницаемого слоя.

Время полного исчезновения воды в верхнем слое ($h_c = 0$) равно

$$t_0 = \frac{\mu_{в_2}}{K_1}\left[h - \frac{K_1 - K_2}{K_2} m \ln\left(1 + \frac{h}{m}\right)\right]. \qquad \text{(XXV-4)}$$

Для возможности пользования уравнениями (XXV-2, 3 и 4) необходимы данные о водных свойствах пород и наблюдений за режимом грунтовых вод и верховодки.

Если ввести в уравнение (XXV-2) обозначения

$$A = \frac{\mu_{в_1}}{W - K_1} \qquad \text{(XXV-5)}$$

и

$$B = \frac{K_1 - K_2}{W - K_2} h_{max}, \qquad \text{(XXV-5а)}$$

то время, протекшее между двумя замерами (h_1 и h_2) уровня грунтовых вод при его повышении, можно выразить формулой

$$\Delta t_{1-2} = A\left(h_2 - h_1 - B \ln \frac{h_{max} - h_2}{h_{max} - h_1}\right). \qquad \text{(XXV-6)}$$

Аналогично, вводя в уравнение (XXV-3) обозначения

$$C = \frac{\mu_{в_2}}{K_1} \qquad \text{(XXV-7)}$$

$$D = \frac{K_1 - K_2}{K_2} m, \qquad \text{(XXV-8)}$$

получим время между двумя замерами уровня при его понижении, равно

$$\Delta t_{1-2} = C\left[h_1 - h_2 - D \ln \frac{h_2 + m}{h_1 + m}\right]. \qquad \text{(XXV-9)}$$

В формуле (XXV-6) три величины A, B и h_{max} могут быть найдены из опыта. Для этого требуется три уравнения, составленных на основе наблюдений за уровнем воды в период его подъема за три отрезка времени — $\Delta t_{1-2} = \Delta t_{2-3} = \Delta t_{3-4}$. Решая эти уравнения, получаем

$$B = \frac{h_1 + h_3 - 2h_2}{\ln(h_{max} - h_1) + \ln(h_{max} - h_3) - 2\ln(h_{max} - h_2)}, \quad \text{(XXV-10)}$$

$$\frac{h_2 + h_4 - 2h_3}{h_1 + h_3 - 2h_2} = \frac{\ln(h_{max} - h_2) + \ln(h_{max} - h_4) - 2\ln(h_{max} - h_3)}{\ln(h_{max} - h_1) + \ln(h_{max} - h_3) - 2\ln(h_{max} - h_2)}. \quad \text{(XXV-11)}$$

Определив из формулы (XXV-11) h_{max} подбором, находим параметры B по формуле (XXV-10) и A по формуле (XXV-6).

В формуле (XXV-9) параметры C и D также определяются из опыта, для чего на основе наблюдений за уровнем верховодки в период его спада за два отрезка времени $\Delta t_{1-2} = \Delta t_{2-3}$ получим два уравнения, решение которых приводит к выражению

$$D = \frac{h_1 + h_3 - 2h_2}{2\ln(h_2 + m) - \ln(h_1 + m) - \ln(h_3 + m)}. \quad \text{(XXV-12)}$$

Найдя отсюда параметр D, параметр C можно найти из формулы (XXV-9).

Расчеты по формулам (XXV-2, 3 и 4) производятся следующим образом.

По времени продолжительности полива t и из уравнения (XXV-2) подбором находится значение h для первого года полива (при этом A, B и h_{max} находятся из наблюдений). Далее из формулы (XXV-4) определяется t_0 (C и D находятся из наблюдений). Если при сопоставлении t_0 с промежутком времени t_c между поливами окажется, что $t_0 < t_c$, значит верховодка исчезнет до начала следующего полива. Если $t_0 > t_c$, то из формулы (XXV-3) найдем h_c — пониженный уровень грунтовых вод в начале следующего полива. Для определения уровня грунтовых вод h'_2 к концу периода полива второго года пользуемся уравнением (XXV-6), в котором принято время полива равным Δt_{1-2} и $h_1 = h_c$, $h_2 = h'_2$.

Уровень верховодки h'_3 к началу полива третьего года найдется из уравнения (XXV-9), в котором принято время между поливами равным Δt_{1-2} и $h_1 = h'_2$, $h_2 = h'_3$. Таким образом можно построить кривую колебаний уровня грунтовых вод и на последующие годы.

Стационарные наблюдения за режимом грунтовых вод на орошаемых массивах проводятся на всей площади орошения для определения общего изменения динамики грунтового потока. Кроме того, путем закладки поперечников около рек и оросительных каналов выявляется участие в питании грунтового потока атмосферных осадков, фильтрационных речных и оросительных вод. Подробнее об этом говорится в руководстве по изучению режима подземных вод (см. Методич. руков. по изуч. режима подз. вод, 1954, гл. II, § 4).

§ 3. ОБВОДНЕНИЕ ПАСТБИЩ

Обводнением именуется комплекс мероприятий, проводимых с целью обеспечения водой сельскохозяйственных центров и пастбищ.

Так же как и при водоснабжении населенных пунктов и промышленных предприятий, осуществимость обводнения путем использования под-

земных вод находится в прямой зависимости от их запасов, характера залегания, химического состава и степени минерализации.

Общее направление гидрогеологических исследований, а также и сама схема расчетов в рассматриваемом случае мало отличаются от применяющихся при решении задач по водоснабжению.

Тем не менее, имеются некоторые особенности, определяемые характером и размерами водопотребления.

Поскольку обводнение проводится с целью покрытия потребностей в воде животноводства, использующего запасы кормов обширных природных пастбищ, количество потребляемой воды и расположение пунктов водозабора являются производными размеров и состава стада, которое содержится на данной территории, и допустимых расстояний между водопойными пунктами. Это расстояние как правило не должно превышать 10—15 *км*. Потребление воды носит сезонный характер и, в зависимости от рода пастбищ (весенне-осенние, летние, зимние), составляет в каждом водопойном пункте не более 50—70 *м*^{3}*/сутки*. При малопродуктивных пастбищах и минимальных расстояниях между водопойными пунктами эта величина сокращается примерно до 10—15 *м*^{3}*/сутки*.

Ввиду того что потребление носит неравномерный на протяжении суток характер, желательно располагать большими дебитами колодцев (скважин), но это не является обязательным условием, так как в состав оборудования водопойного пункта как правило включается резервуар (копань), за счет емкости которого покрываются пики потребления воды.

Размеры и самый характер водопотребления предопределяют целесообразность использования вод, залегающих лишь на незначительной глубине.

Обводнение желательно основывать на источниках, удовлетворяющих нормам, применяемым при проектировании водоснабжения, но допустимо использование вод с более высокой степенью минерализации. В качестве примера пониженных требований к питьевым качествам воды можно указать на то, что при решении задач обводнения приморских районов Западного Казахстана принимают величины минерализации, приведенные в табл. XXV-3.

Таблица XXV-3

Виды скота	Сезон использования пастбищ		
	летний, *г/л*	весенний и осенний, *г/л*	зимний, *г/л*
Овцы и козы	До 6	До 8	До 10
Крупный рогатый скот	» 5	» 6	—
Лошади	» 5	» 6	До 6
Верблюды	» 6	» 8	» 12

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КРАТКИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИХ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Глава XXVI

БУРОВЫЕ СТАНКИ И ВЫШКИ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Разрушение породы при бурении осуществляется двумя основными способами: вращательным и ударным. Вращательное бурение может быть сплошным или кольцевым забоем. Бурение кольцевым забоем, или колонковое бурение, обеспечивает получение ненарушенных образцов породы по всей глубине скважины и потому широко применяется при разведке месторождений твердых полезных ископаемых и бурении скважин на воду.

Все проходимые породы по буримости колонковым способом делятся на двенадцать категорий; ударно-механическим способом — на семь; ручным ударно-вращательным способом — на пять категорий [СУСН, вып. 5, 1954].

В зависимости от истирающего материала различают три вида колонкового бурения: 1) алмазное; 2) твердыми сплавами; 3) дробовое.

Для бурения колонковых скважин в различных геологических условиях разработаны конструкции коронок, отличающихся формой, расположением, размером и количеством резцов.

Основными из них являются следующие.

1. Коронки типа КГ-4 для бурения в крепких породах, КГ-6 — для бурения в мягких породах, К-0105 в породах IV—VI категории буримости и другие (см. рис. XXVI-3, 4, по А. В. Марамзину и В. М. Ермолаеву).

2. Коронки со ступенчатым расположением резцов по торцу конструкции Цукурова.

3. Самозатачивающиеся коронки для бурения крепких пород:

а) коронка ТП-3 — конструкции ВИМСа, армирована тонкими пластинками сплава ВК-8. Эти коронки могут бурить изверженные породы, не содержащие кварца;

б) коронки БК и БК-8М, предназначенные для бурения скважин по породам IV—VII категории буримости.

4. Мелкорезцовые коронки МР-2 конструкции ВИМСа — для бурения скважин в породах II—VI категории буримости (рис. XXVI-1).

5. Мелкорезцовые коронки конструкции ВИМСа — МР6-1 и МР6-1б — для бурения скважин в породах IV—VIII категории буримости (рис. XXVI-2)

Количество резцов в коронках МР приводится в табл. XXVI-1.

При дробовом бурении в качестве истирающегося материала применяется чугунная или стальная дробь. В зависимости от диаметра дробинок она разделяется по номерам. Номер указывает средний диаметр дробинок в миллиметрах. Наиболее широко применяемая дробь $d = 2{,}5—3{,}5$ *мм*.

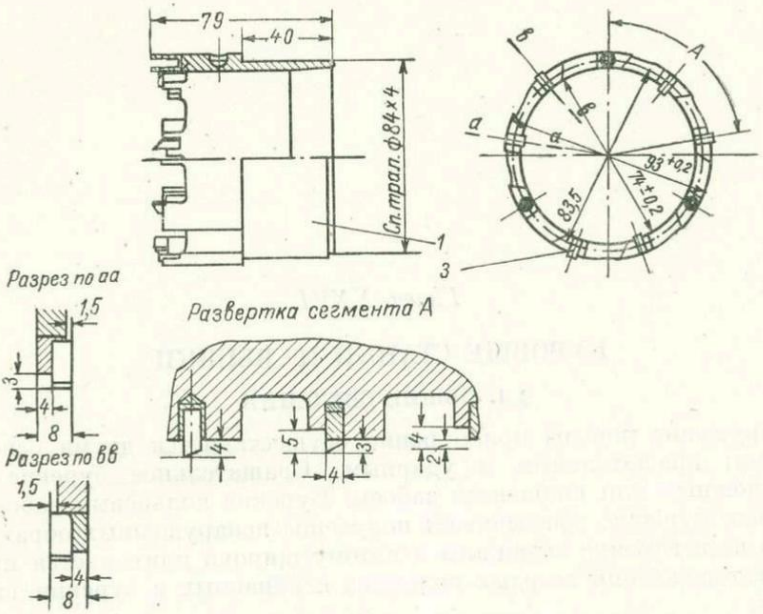


Рис. XXVI-1. Мелкорезцовая коронка МР-2

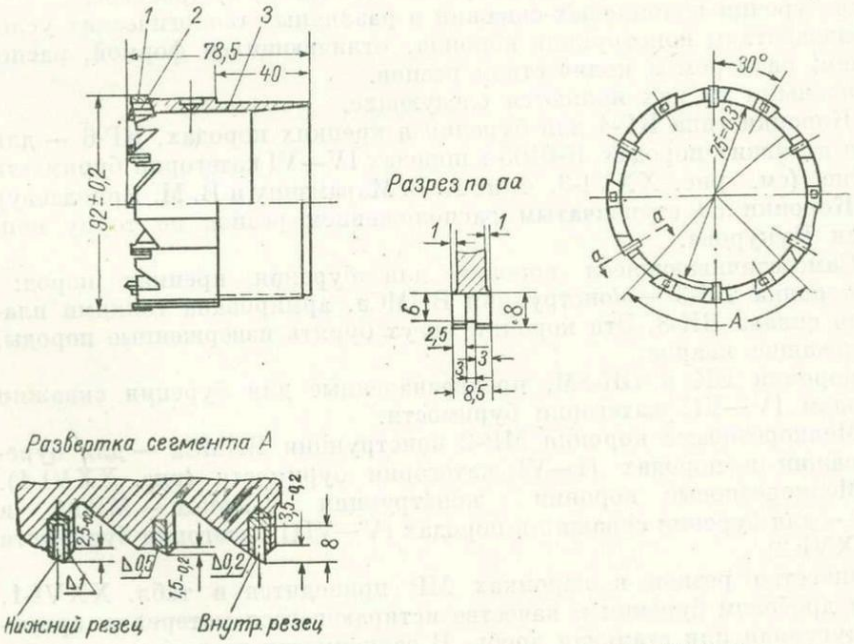


Рис. XXVI-2. Мелкорезцовая коронка МР6-1б.

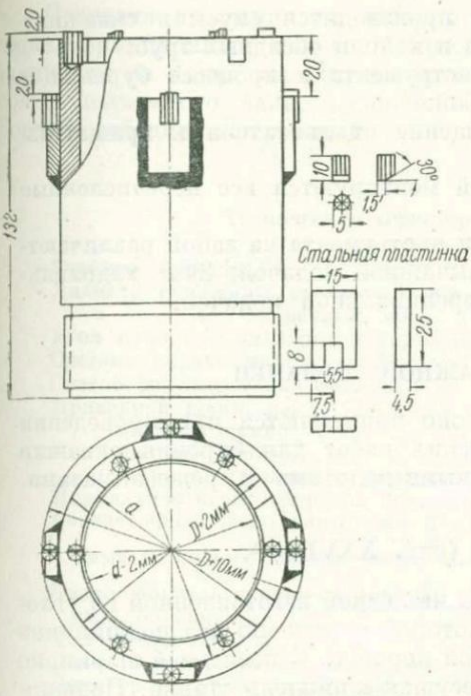


Рис. XXVI-3. Коронка КГ-4.

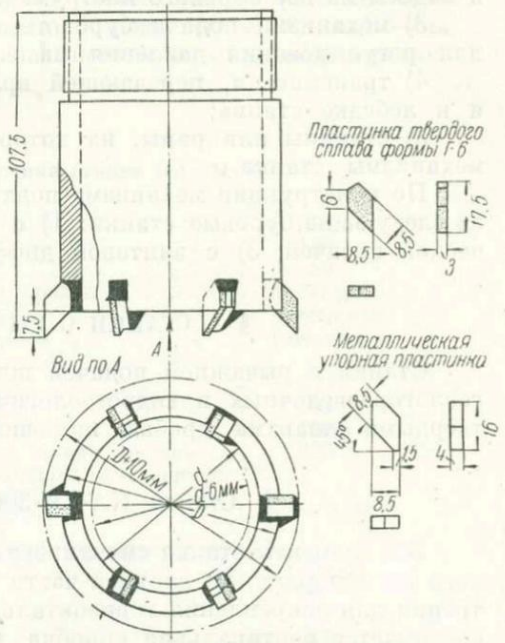


Рис. XXVI-4. Коронка КГ-6.

Таблица XXVI-1

Диаметр коронки, *мм*	Количество резцов в коронке								
	МР-2			МР6-1			МР6-1б		
	основных	подрезных	всего	основных	подрезных	всего	основных	подрезных	всего
131	4	8	12	12	12	24	—	—	—
111	3—4	6—8	9—12	12	12	24	6	12	18
92	2—3	4—6	6—9	12	12	24	6	12	18
76	2—3	4—6	6—9	8	8	16	4	8	12
59	—	—	—	6	3	9	—	—	—
46	—	—	—	6	3	9	—	—	—

Дробовые коронки изготовляются из трубных заготовок с толщиной стенки 8—12 *мм* (в зависимости от диаметра коронки).

Бурение гидрогеологических скважин может производиться механически или вручную. Механический привод дает возможность применять более мощное и совершенное оборудование, обеспечивающее высокую производительность труда, большую глубину и диаметр скважины. Ручное бурение, трудоемкое и мало производительное, все чаще заменяется механическим даже при проходке неглубоких скважин.

Станки вращательного бурения состоят из пяти основных механизмов:

1) вращателя, приводящего во вращательное движение колонну штанг, несущую буровой снаряд;

2) лебедки, посредством которой производится спуск в скважину и подъем из нее бурового инструмента и колонн обсадных труб;

3) механизма подачи бурового инструмента в процессе бурения и для регулирования давления на забой;

4) трансмиссии, передающей вращение от двигателя к вращателю и к лебедке станка;

5) станины или рамы, на которой монтируются все перечисленные механизмы станка.

По конструкции механизма подачи инструмента на забой различаются следующие буровые станки: 1) с рычажной подачей; 2) с гидравлической подачей; 3) с винтовой дифференциальной подачей.

§ 2. СТАНКИ С РЫЧАЖНОЙ ПОДАЧЕЙ

Станки с рычажной подачей широко применяются при проведении геологоразведочных и гидрогеологических работ для бурения скважин твердыми сплавами, дробью, шарошечными долотами и реже алмазами.

Станок КА-2М-300 (рис. XXVI-5) [1]

Все элементы станка смонтированы на легкой изготовленной из углового железа раме, на верхней части которой укреплено два подшипника трения для закрепления горизонтальной коробки. С последней шарнирно соединяется вертикальная коробка, несущая шпиндель станка. Подшипники позволяют устанавливать шпиндель под различным углом к горизонту.

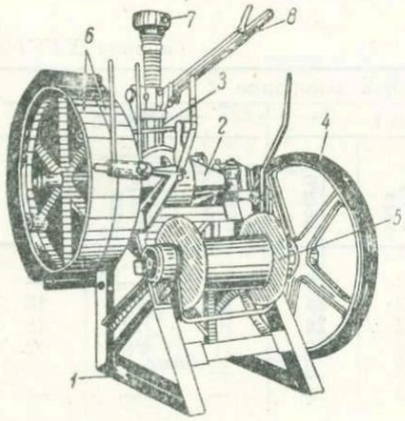


Рис. XXVI-5. Общий вид станка КА-2М-300.

1 — рама станины; *2* — горизонтальная коробка; *3* — вертикальная коробка; *4* — большое фрикционное колесо; *5* — лебедочный барабан; *6* — рабочий и холостой шкивы; *7* — зажимной патрон; *8* — рычаг.

В горизонтальной коробке расточены отверстия под бронзовые втулки, в которых вращается главный горизонтальный вал станка. На конец вала насажены приводной и холостой шкивы. Ремень с холостого шкива на рабочий переводится переводной вилкой, управление которой вынесено в переднюю часть станка.

Передача вращения от горизонтального вала на буровой шпиндель осуществляется посредством двух винтовых колес. Винтовое колесо с 14 зубьями при помощи буксы посажено на горизонтальный вал. Винтовое колесо с 22 зубьями посредством буксы посажено на шпиндель, несущий внизу и вверху зажимные патроны. Для получения желаемого числа оборотов шпинделя винтовые колеса можно поменять местами. Оба винтовые колеса опираются на упорные шарикоподшипники. Подача шпинделя осуществляется с помощью рычага и кремальеры.

---

[1] Станок КА-2М-300 в настоящее время снят с производства, но еще имеется в значительном количестве в геологоразведочных организациях.

Передача вращения на лебедку производится посредством желобчатых фрикционных колес. Малое фрикционное колесо ($d = 187$ *мм*) заклинено на конце горизонтального вала, большое ($D = 888$ *мм*) — на конце подъемного вала, посаженного на эксцентрические подшипники. Тормоз лебедки колодочный.

Техническая характеристика станка КА-2М-300

Глубина бурения, *м*	300
Диаметр скважины начальный, *мм*	130
» » конечный, *мм*	59
Угол наклона скважины к горизонту, градус	от 90 до 0
Система подачи инструмента	рычажная
Способ регулирования давления на забой	рычагом
Приводной шкив, *мм*:	
диаметр шкива	780
ширина обода	105
ширина приводного ремня	100
Нормальное число оборотов приводного шкива, об/мин	220
Передаточное число винтовыми (геликоидальными) шестернями с главного вала на шпиндель	$\frac{14}{22} = 0{,}637$
Число оборотов шпинделя при 220 об/мин горизонтального вала, об/мин	140,180
Ход шпинделя, *мм*	300
Диаметр отверстия шпинделя, *мм*	44
Диаметр буровых штанг, *мм*	42
Передача от главного вала на лебедочный	фрикционными колесами
Передаточное число от главного вала на лебедочный	0,21
Число оборотов барабана лебедки, об/мин	46
Диаметр барабана, *мм*	220
Скорость навивки каната на барабан, *м/сек*	0,53
Тормоз лебедки	колодочный
Грузоподъемность лебедки, *т*	1,5
Диаметр стального каната (троса) *мм*	12,5
Емкость барабана (в метрах каната диаметром 12,5 *мм*), *м*	55
Потребная мощность двигателя (для станка и насоса), *л. с.*	15—18
Вес станка, *кг*	около 750
Габариты станка, *мм*:	
длина	1800
ширина	1090
высота	1360
Производительность насоса, *л/мин*	100
Рабочее давление насоса, *атм*	30

Самоходный буровой станок КА-2М-300 (рис. XXVI-6)

При бурении неглубоких скважин, когда необходимы частые переброски бурового оборудования и вышки с одной точки бурения на другую, рационально использовать самоходный агрегат. Он смонтирован на грузовой автомашине ЗИС-5, которая закрывается тентом. Привод всех механизмов осуществляется от двигателя автомашины через коробку передач и задний мост. От шкивов *1*, посаженных на задние колеса машины, вращение передается трансмиссии *2* посредством ременной передачи и от нее к насосу *3* типа НГ-100/30 и к станку 4-КА-2М-300. Мачта станка *5* рассчитана на груз 1000 *кг* и допускает подъем свечей длиной 4,5 *м*.

При скорости вращения двигателя 1200 об/мин шпиндель может вращаться со скоростью 25, 46 и 160 об/мин. Скорость навивки каната на барабан — от 0,1 до 0,66 *м/сек*.

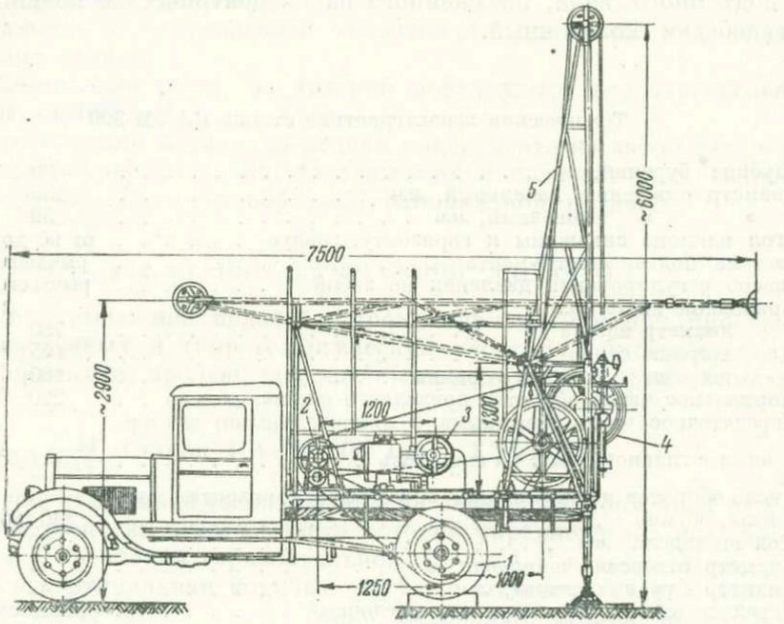


Рис. XXVI-6. Самоходный буровой станок КА-2М-300:

1 — шкивы; *2* — трансмиссия; *3* — насос; *4* — станок — КА-2М-300; *5* — мачта станка.

Техническая характеристика самоходного агрегата КА-2М-300

Глубина бурения, *м*	100
Диаметр скважины, *мм*:	
начальный	130
конечный	56
Диаметр буровых штанг, *мм*	42
Насос типа НА-75/25:	
производительность, *л/мин*	75
максимальное давление, *атм*	25

Станок КАМ-500 (рис. XXVI-7)

Станок КАМ-500 предназначен для бурения скважин глубиной до 500 *м*. В практике известны случаи, когда таким станком при малом диаметре коронок (66 и 56 *мм*) бурились скважины глубиной более 1000 *м*.

Бурение может производиться твердыми сплавами, дробью, алмазами, долотами РХ или шарошечными, в зависимости от физико-механических свойств буримых пород.

Станок КАМ-500 конструктивно отличается от станка КА-2М-300 наличием коробки скоростей, которая дает возможность иметь три скорости вращения шпинделя и лебедки, зубчато-фрикционной лебедки, наличием балансира-противовеса.

Регулирование давления на забой до глубины 200—250 *м* производится посредством рычага и кремальеры. При глубине более 200—250 *м*

переходят на регулирование балансиром-противовесом. Последний дает возможность частично разгружать забой во время бурения путем натяжения каната, к которому подвешена колонна штанг.

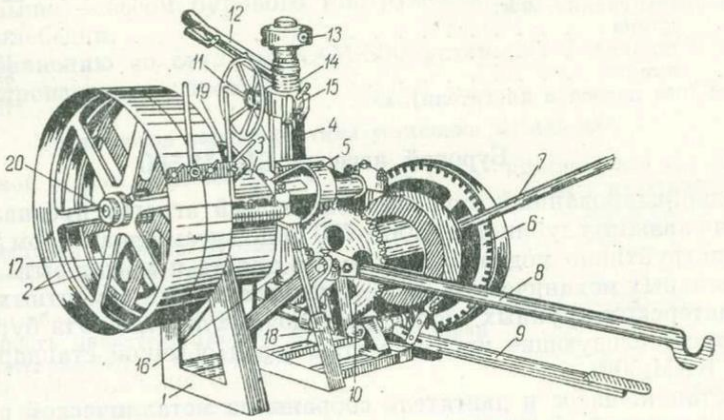


Рис. XXVI-7. Станок КАМ-500.

1 — рама станка; *2* — рабочий и холостой шкивы; *3* — коробка скоростей; *4* — вертикальная коробка; *5* — горизонтальная коробка; *6* — большая лебедочная шестерня; *7* — рычаг лебедки; *8* — противовес; *9* — тормозной рычаг; *10* — червячное колесо; *11* — штурвал; *12* — рычаг станка; *13* — зажимной патрон; *14* — кремальера; *15* — собачка; *16* — шпиндель; *17* — штурвал противовеса; *18* — червяк противовеса; *19* — штурвал коробки скоростей; *20* — главный (горизонтальный вал).

Техническая характеристика станка КАМ-500

Нормальная глубина бурения, *м*	500
Диаметр скважины начальный, *мм*	188
» » конечный, *мм*	76
Угол наклона скважин, градус	от 90 до 30
Подача инструмента	рычажная
Способ регулирования давления на забой	до 200 *м* рычагом, глубже — балансиром
Диаметр приводного шкива, *мм*	1010
Ширина приводного шкива, *мм*	140
Ширина ремня, *мм*	125
Нормальное число оборотов приводного шкива, об/мин	140
Передаточное число коробки скоростей	0,6; 1,0; 1,67
Число оборотов главного горизонтального вала, об/мин	84; 140; 233
Передаточное число винтовой передачи	1
Число оборотов шпинделя, об/мин	84; 140; 233
Ход шпинделя, *мм*	350
Диаметр отверстия шпинделя, *мм*	53
Диаметр штанг, *мм*	50
Передача от главного горизонтального вала на подъемный вал	зубчатая
Передаточное число передачи с главного вала на подъемный	$\frac{1}{6}$
Число оборотов подъемного вала, об/мин	14,0; 23,3; 38,8
Диаметр барабана, *мм*	482
Окружная скорость на поверхности барабана, *м/сек*	0,366; 0,61; 1,02
Тормоз лебедки	ленточный
Барабан лебедки	фрикционный
Грузоподъемность лебедки, *кг*	2000

Диаметр каната, *мм*	15,5
Тип насоса 200/40:	
производительность, *л/мин*	200
максимальное давление, *атм*	40
Мощность двигателя, *л. с*	22—25
Габариты станка, *мм*:	
длина	3415
ширина	1830
высота	2500
Вес (без насоса и двигателя), *кг*	1900

Буровой агрегат БКАМ-500

Модернизированный буровой колонковый агрегат предназначен для бурения скважин глубиной до 500—750 *м* штангами диаметром 50 и 60 *мм*.

Конструктивно модернизация очень проста и может быть выполнена в центральных механических мастерских треста или ремонтных механических мастерских крупных геологоразведочных партий. Эта буровая установка имеет следующие преимущества перед обычной стандартной установкой КАМ-500:

1) станок, насос и двигатель собраны на металлической раме в единый передвижной агрегат;

2) шпиндельная подача, ограничивающая производительность бурового станка, заменена подачей с лебедки при помощи тормоза; для этого корпус вертикальной коробки укорочен, а вместо верхнего патрона на шпинделе укреплена специальная головка с вкладышами, захватывающими квадратную штангу;

3) увеличены мощность двигателя и его транспортабельность.

Полупередвижной агрегат БКАМ-500 представляет собой комплексную крупноблочную установку, состоящую из двух блоков. На одном из них смонтирован реконструированный станок КАМ-500 с вращателем, приспособленным для работы 5-метровой квадратной штангой и специальным рычажным цепным механизмом подачи, позволяющим производить принудительную подачу вверх и вниз, а также расхаживание инструмента в процессе бурения. На втором блоке агрегата смонтирован двигатель мощностью 40—50 *л. с.* и грязевой насос.

На общем блоке монтируется металлическая мачта, обеспечивающая подъем 9-метровых свечей. Мачта высотой 13,3 *м* снабжена нажимным приспособлением и магазином на 80 свечей (столбов) диаметром 60,3 *мм*, длиной 9,2 *м*. Для транспортировки на местности с благоприятным рельефом оба блока могут быть объединены.

Агрегат в собранном виде перевозят волоком при помощи трактора или отдельными блоками на автомашинах или прицепных тележках. Для транспортировки в тяжелых дорожных условиях рама установки может разбираться на две части.

В комплект установки, кроме бурового станка, промывочного насоса, двигателя и мачты, входят: градирня для охлаждения двигателя; желобная металлическая переносная система с приемным баком; квадратная штанга длиной 5500 *мм*; вертлюг, грузоподъемностью 4 *т*; глиномешалка емкостью 0,75 $м^3$ и талевый блок с крюком.

Электроосветительная установка БКАМ-500 состоит из двигателя Л-6 и генератора мощностью 1,5 *квт*, напряжением 120 *в*, выполненных в самостоятельном блоке.

Во время бурения с квадратной штангой весь буровой инструмент (буровой снаряд, колонна штанг и квадратная штанга с вертлюгом) под

вешен на канате, перекинутом через верхний блок мачты и закрепленном другим концом на барабане лебедки.

При небольших глубинах подача на агрегате БКАМ-500 производится посредством рычага нажимного приспособления, а на глубинах от 100 *м* и выше — весом бурового инструмента, регулируемого тормозом барабана лебедки.

По сравнению со станком КАМ-500 установка БКАМ-500 обладает большей производительностью.

Техническая характеристика установки БКАМ-500

Буровой станок КАМ-500	приспособлен для работы с квадратной штангой
Нормальная глубина бурения, *м*	500—700
Диаметр скважины начальный, *мм*	190
» » конечный, *мм*	58
Число оборотов шпинделя, об/мин	132—220—367
Мощность двигателя (может быть использован тракторный Д-54 и нефтяной НД-40), *л. с.*	40—54
Насос грязевой ЗИФ 200/40:	
производительность, *л/мин*	200
напор, *атм*	40
Электроустановка	ПЭС с бензиновым двигателем Л-6
Мощность, *квт*	1,5
Напряжение, *в*	120
Высота мачты с трехроликовым кронблоком, *м*	13,3
Грузоподъемность талевого двухроликового блока с крюком, *кг*	4000
Рабочий объем глиномешалки, $м^3$	0,75
Общий вес установки (без отепления), *кг*	9822

Станки КАМ-500 с рабочей (квадратной) штангой

При переводе станка КАМ-500 на подачу инструмента при помощи квадратной штанги к верхнему концу шпинделя станка крепится специальная головка (рис. XXVI-8) для двух вкладышей квадратного сечения (43 × 43 *мм*).

В станках с рычажной подачей, как указывалось выше, регулирование давления на забой осуществляется рычагом. Осевое усилие на забой скважины станком с квадратной штангой создается нажимным приспособлением (рис. XXVI-9).

Буровая самоходная установка УКБ-2-100 (рис. XXVI-10,11)

Наибольшее распространение после Великой Отечественной войны получили самоходные буровые агрегаты УКБ-100, УКБ-2-100 и АВБМ-3-100, изготовляемые на заводах Министерства нефтяной и угольной промышленности.

Установка (второй выпуск для бурения на глубину 100 *м*) предназначена для форсированного бурения мелких скважин бурильными трубами диаметром 60 *мм*. Наибольшая глубина бурения 150 *м*. Для сокращения времени на монтажно-демонтажные работы и транспортирование установки все механизмы ее смонтированы на платформе автомашины ЗИС-150. Наличие трехскоростной коробки передач обеспечивает увеличение технической скорости бурения. В комплект установки входят ротор, лебедка, мачта, грязевой насос, двигатель, желоба и чан для глинистого раствора, рабочая штанга с вертлюгом и талевая система.

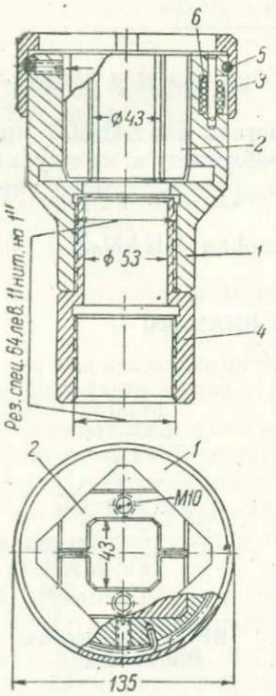


Рис. XXVI-8. Головка для квадратной штанги к станку КАМ-500.

1 — корпус; *2* — вкладыш; *3* — кольцо наружное; *4* — переходник; *5* — кольцо пружины; *6* —пружина.

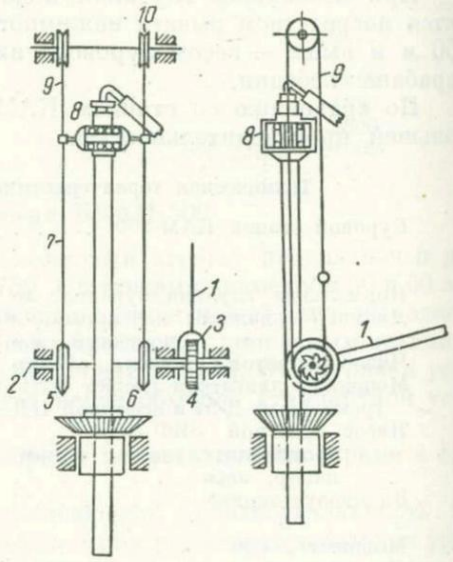


Рис. XXVI-9. Схема механизма подачи инструмента на забой в буровых станках с квадратной штангой.

1 — рычаг; *2* — ведомый вал; *3* — собачка; *4*—храповик; *5*, *6* — звездочки; *7* — цепи; *8* — вертлюг; *9* — трос; *10* — ролик мачты.

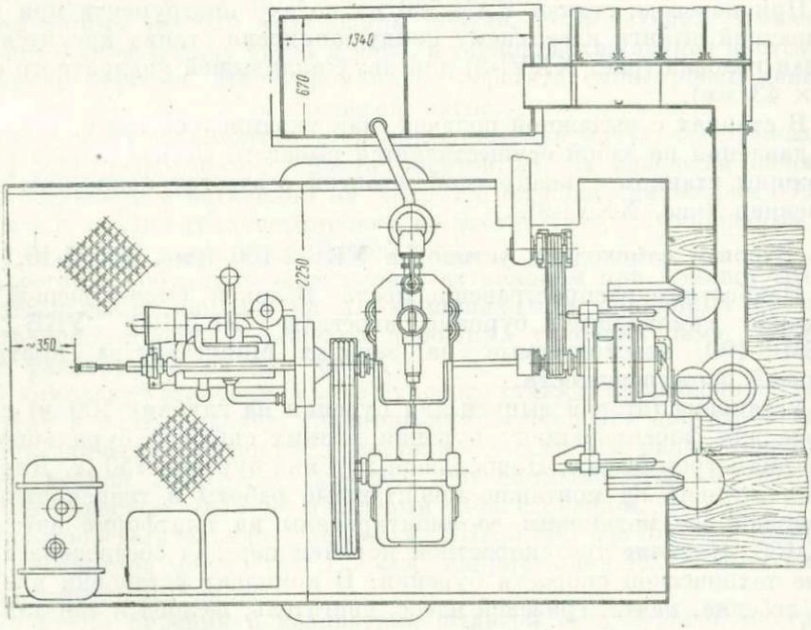


Рис. XXVI-10. План буровой установки УКБ-2-100.

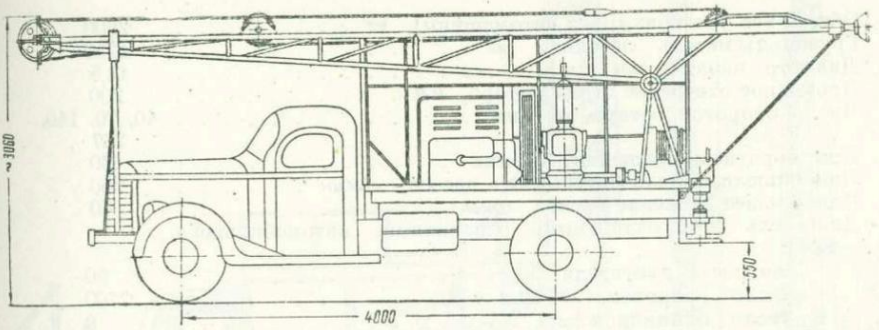


Рис. XXVI-11. Буровая установка УКБ-2-100 в транспортном положении.

Техническая характеристика установки УКБ-2-100

Глубина бурения, *м*	150
Начальный диаметр свкажины, *мм*	168
Диаметр бурильных труб, *мм*	60
Число двигателей ГАЗ-МК	1
Мощность двигателя, *л. с*	30
Число оборотов двигателя, об/мин	1350
Высота мачты, *м*	8,8
Грузоподъемность мачты, *кг*	1200
» лебедки, *кг*	1200
Диаметр каната, *мм*	11,5
Габариты установки при перевозке, *мм*:	
длина	9000
ширина	2250
высота	2900
Вес установки с автомашиной и желобами, *кг*	5800
Насос ЗИФ-200/40:	
производительность, *л/мин*	200
наибольшее рабочее давление, *атм*	40
Вес насоса, *кг*	800

Буровая самоходная установка АВБМ-3-100 (рис. XXVI-12)

Модернизированный агрегат вращательного бурения (третий выпуск) предназначен для бурения скважин глубиной до 100 *м* бурильными трубами $2^{7}/_{8}''$ и долотом $7^{3}/_{4}''$ или для бурения скважин глубиной до 400 *м* штангами диаметром 60 *мм*.

Буровая установка смонтирована на раме автомашины ЗИС-150 грузоподъемностью 4 *т*. Двигатель приводит в действие все механизмы установки через коробку отбора мощности.

Техническая характеристика установки АВБМ-3-100

Глубина бурения, *м*	100
Диаметр бурильных труб, дюймы	$2^{7}/_{8}$
Начальный диаметр долота, дюймы	$9^{3}/_{4}$
Конечный диаметр долота дюймы	$7^{3}/_{4}$
Число двигателей	1
Высота мачты, *м*	9
Габариты установки при перевозке, *мм*:	
длина	9000
ширина	2250
высота	2900

Общий вес установки (без автомашины), *кг*	2600
Грузоподъемность лебедки, *кг*	1250
Диаметр каната, *мм*	12,5
Проходное отверстие стола ротора, *мм*	200
Число оборотов ротора, об/мин	40, 70, 140, 267
При обратном вращении, об/мин	30
Наибольшая производительность насоса, *л/мин*	200
Наибольшее давление насоса, *атм*	40
Двигатель четырехтактный, бензиновый, автомобильного типа:	
мощность двигателя, *л. с*	90
число оборотов, об/мин	2700
число цилиндров	6

Рис. XXVI-12. Буровая установка АВБМ-3-100.

1 — ротор; *2* — лебедка; *3* — грязевой насос; *4*, *5* и *6* — карданные валы; *7* — рычаги; *8* — металлическая мачта; *9* — шарнир; *10*, *11* — стойки.

Буровая установка АРБ-3-300/500 (рис. XXVI-13,14)

Буровая установка АРБ-3-300/500 — самоходный агрегат (третий выпуск), предназначен для бурения разведочных и гидрогеологических скважин до глубины 300 *м* и структурных скважин до 500 *м*.

На специальной раме *1* грузового автомобиля ЯАЗ-200 установлены: ротор *2*, лебедка *3*, грязевой насос *4* и генератор для электрического освещения *5*. Передача мощности двигателя автомобиля *6* производится через коробку отбора мощности *7* и карданный вал *8* (рис. XXVI-14). Отдельно от автомобиля ЯАЗ-200 установлены: глиномешалка *9*, приемный чан *10* для насоса, желобная система *11* и настил *12* с площадкой под свечи.

Мачта, сваренная из труб, служит для выполнения спуско-подъемных операций. Для удобства транспортировки она составлена из трех отдельных секций.

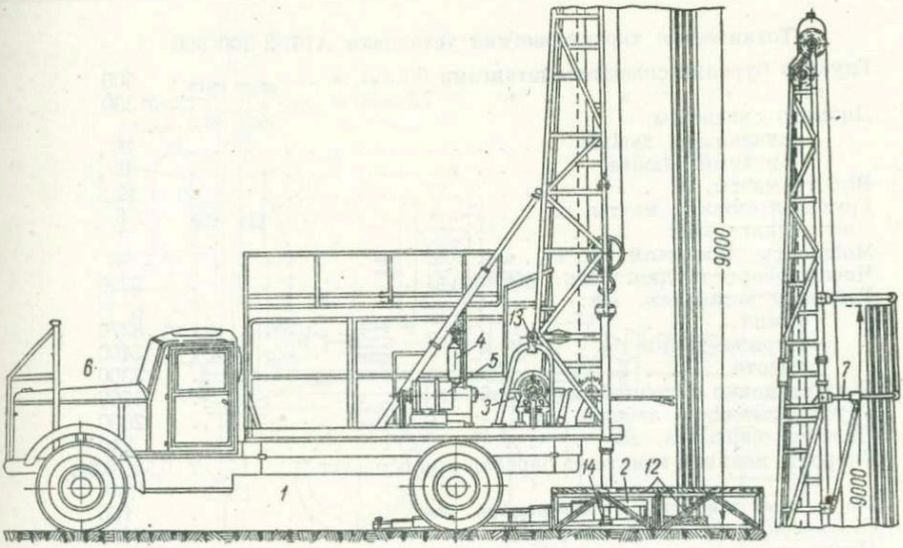


Рис. XXVI-13. Буровая установка АРБ-3-300/500 в рабочем положении.

1 — рама грузового автомобиля; *2* — ротор; *3* — лебедка; *4* — грязевой насос; *5* — генератор электрического освещения; *6* — двигатель автомобиля; *7* — полати; *8* — карданный вал; *9* — глиномешалка; *10* — приемный чан; *11* — желобная система; *12* — настил; *13* — шарниры; *14* — домкраты.

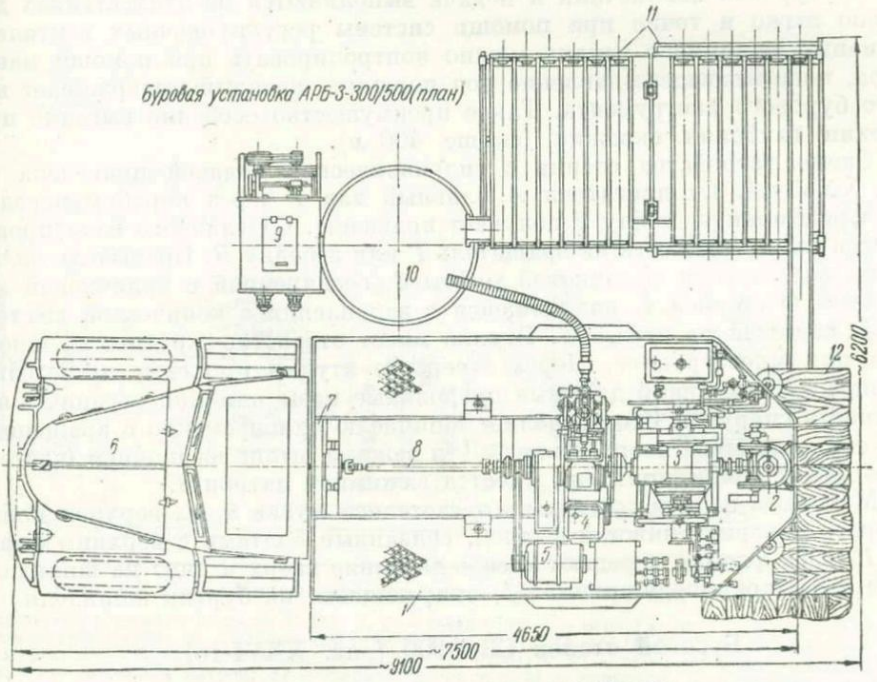


Рис. XXVI-14. Буровая установка АРБ-3-300/500 в плане.

Техническая характеристика установки АРБ-3-300/500

Глубина бурения скважины штангами 60 *мм*, *м*	500
» » » » 73 *мм*, *м*	300
Диаметр скважины	
начальный, дюймы	$7^3/_4$
конечный, дюймы	$3^1/_2$
Высота мачты, *м*	12,5
Грузоподъемность мачты, *т*	6
Число двигателей	1
Мощность двигателя, *л. с*	90
Число оборотов двигателя, об/мин	2200
Габариты установки, *мм*:	
длина	8370
ширина	2400
высота	3300
Вес установки с полной оснасткой, *кг*	5700
Грузоподъемность лебедки, *кг*	2000
Диаметр барабана, *мм*	240
Скорость навивки каната на барабан при оснастке 2 × 1	0,52; 0,94; 1,60
Проходное отверстие стола ротора, *мм*;	160
Статическая нагрузка на ротор, *кг*	4000
Число оборотов ротора, об/мин	95; 185; 300
Насос ЗИФ-200/40:	
производительность, *л/мин*	200
давление, *атм*	40

§ 3. СТАНКИ С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ

По сравнению с рассмотренными типами буровых установок станки с гидравлической подачей имеют ряд преимуществ. Регулирование давления на буровой наконечник и подача выполняются на этих станках довольно легко и точно при помощи системы регулировочных вентилей. Величину нажимного усилия можно контролировать при помощи манометра, показывающего давление под поршнем, который выдерживает вес всего бурового инструмента. Такое преимущество особенно выгодно при бурении глубоких скважин (свыше 400 *м*).

Схема устройства станка с гидравлической подачей приведена на рис. XXVI-15. От двигателя *А* главный вал *1* через коробку передач *Б* и фрикционную муфту *2* получает вращение. От главного вала производится отбор мощности на вращатель *Г* или лебедку *В*. Вращатель включается посредством кулачковой муфты *3*, соединенной с кулачковой конической шестерней *4*, находящейся в зацеплении с конической шестерней *5*, сидящей на втулке *6*. Втулка имеет отверстие круглое со шпонками или многогранное. Через отверстие втулки проходит пустотелый шпиндель *7*, имеющий длинные продольные пазы или многогранную поверхность снаружи. Это позволяет шпинделю одновременно с вращением свободно двигаться вверх и вниз. Для зажима штанг на нижнем (часто и на верхнем) конце шпинделя имеется зажимной патрон *8*.

Механизм подачи состоит из пустотелого штока *9*, на верхнем конце которого навернут нижний фланец, связанный болтами с верхним фланцем *10*. Оба фланца передают осевое давление вверх и вниз на шпиндель через два шарикоподшипника *11*, опирающиеся на буртик шпинделя *7*.

Буровой станок СБ-1-900 (рис. XXVI-16)

Первая модель станка, предназначенная для бурения разведочных и гидрогеологических скважин, показала хорошую производительность при проходке пород различной твердости до глубины 900—1000 *м*.

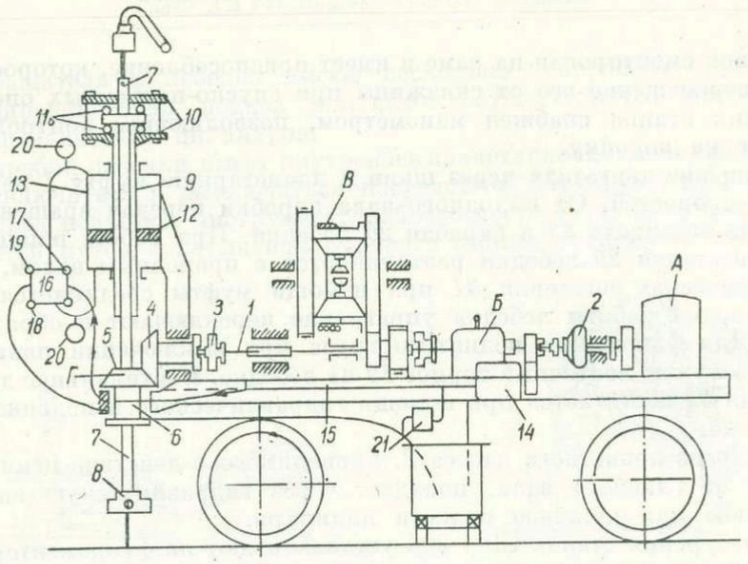


Рис. XXVI-15. Схема устройства станка с гидравлической подачей.

А — двигатель; *Б* — коробка передач; *В* — лебедка; *Г* — вращатель; *1* — вал; *2* — фрикционная муфта; *3* — кулачковая муфта; *4*, *5* — шестерни; *6* — втулка; *7* — пустотелый шпиндель; *8* — зажимной патрон; *9* — пустотелый шток; *10* — верхний фланец; *11* — шарикоподшипники; *12* — поршень; *13* — цилиндр; *14* — шестеренчатый насос; *15* — шланг; *16*, *17* — вентили, регулирующие поступление масла; *18*, *19* — вентили, регулирующие отвод масла; *20* — манометры; *21* — предохранительный клапан.

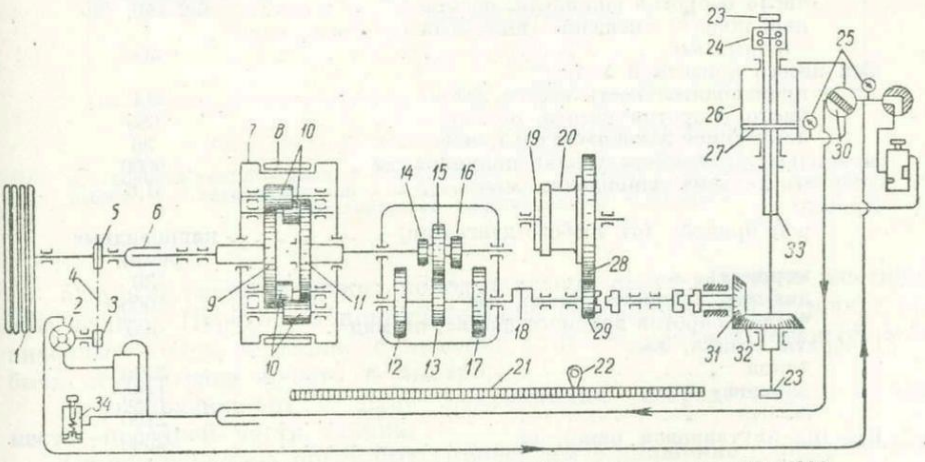


Рис. XXVI-16. Кинематическая схема бурового станка СБ-1-900.

1 — шкив тексропный; *2* — насос У-471; *3*, *5* — звездочки; *4* — цепь Галля; *6* — шлицевой вал; *7* — планетарная муфта; *8* — колодочный тормоз; *9*, *10*, *11*, *12*, *13*, *14*, *15*, *16*, *17* — зубчатые колеса; *18* — муфта; *19* — тормоз ленточный; *20* — барабан лебедки; *21* — зубчатая рейка; *22* — рычаг рейки; *23* — зажимной патрон; *24* — шарикоподшипник; *25* — манометр; *26* — цилиндр гидравлика; *27* — поршень гидравлика; *28*, *29* — зубчатые колеса $z=107$ и $z=21$; *30* — гидравлическая панель; *31*, *32* — конические колеса; *33* — шпиндель; *34* — предохранительный клапан.

Станок смонтирован на раме и имеет приспособление, которое обеспечивает перемещение его от скважины при спуско-подъемных операциях. Гидравлик станка снабжен манометром, позволяющим контролировать давление на коронку.

Вращение двигателя через шкив и планетарную муфту *7* передается коробке скоростей. От выходного вала коробки передач вращение передается на шпиндель *33* и барабан *20* лебедки. При работе шпинделя ведущая шестерня *29* лебедки разъединяется с приводным валом, а ведущая коническая шестерня *31* при помощи муфты соединяется с ним.

Во время работы лебедки управление переключают в обратном порядке. Для удержания поднятого груза при выключении планетарной муфты *7* служит ленточный тормоз *19* на лебедке. Вертикальное движение шпинделя *33* достигается при помощи гидравлического неподвижного цилиндра *26*.

Масло из лопастного насоса *2*, приводимого в действие цепной передачей *4* от главного вала, попадает через гидравлическую панель *30* в верхнюю или нижнюю полости цилиндра.

Для бурения станок СБ-1-900 устанавливают на фундаменте высотой 450 *мм* от поверхности земли, так как нижний патрон шпинделя опускается на 350 *мм* ниже основания рамы станка.

Техническая характеристика станка СБ-1-900

Глубина бурения, *м*	900
Лебедка планетарного типа:	
диаметр барабана, *мм*	500
скорости вращения, об/мин	13; 27,5; 38
скорости навивки каната, *м/сек*	0,34; 0,72; 0,99
грузоподъемность, *кг*	3500
Шпиндель:	
диаметр отверстия в свету, *мм*	69
величина вертикального перемещения (ход), *мм*	500
число оборотов шпинделя, об/мин	65; 140; 195
наибольшее смещение шпинделя от оси скважины, *мм*	400
Тип насоса лопастной У-471:	
производительность насоса, *л/мин*	14
число оборотов насоса, об/мин	685
допустимое давление в сети, *атм*	36
Наибольшее подъемное усилие цилиндра, *кг*	9000
Скорость подъема шпинделя, *м/мин*	1,6
Привод:	
род привода (от любого двигателя)	клиновидные ремни
мощность, *л. с*	30
диаметр ведомого шкива, *мм*	1000
число оборотов ведомого шкива, об/мин	195
Габариты станка, *мм*:	
длина	3470
ширина	1125
высота	2100
Вес (на двутавровой раме), *кг*	2500

Буровой станок ЗИФ-1200 (рис. XXVI-17)

Этот станок с гидравлической подачей предназначен для бурения глубоких (1200 *м*) разведочных и гидрогеологических скважин с начальным диаметром 250 *мм*. Станок обладает следующими характерными особенностями:

1) вращатель и лебедка имеют несколько скоростей вращения;

2) гидравлическая подача шпинделя осуществляется посредством двух гидравлических цилиндров;

3) барабан лебедки имеет внутреннее планетарное зацепление и может плавно включаться и выключаться посредством двух рукояток;

4) перед подъемом инструмента рабочее место у устья скважины освобождается путем откатывания бурового станка по направляющим салазкам;

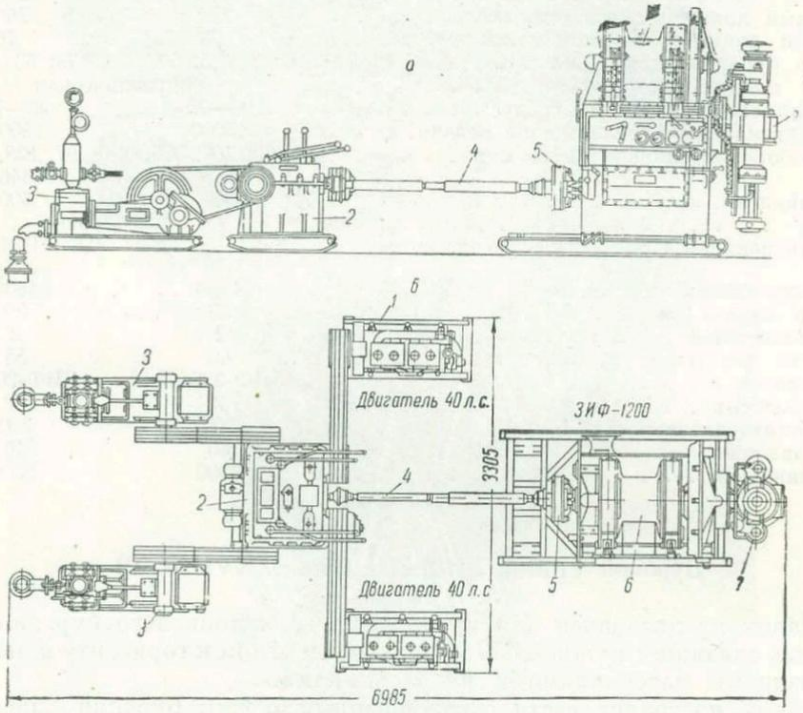


Рис. XXVI-17. Общий вид установки ЗИФ-1200.

а — боковой вид; *б* — план; *1* — два дизеля; *2* — коробка отбора мощности; *3* — два насоса; *4* — карданный вал; *5* — фрикцион станка; *6* — лебедка; *7* — вращатель с двухцилиндровой гидравлической подачей.

5) для бурения в мягких породах станок имеет ведущую шестигранную штангу. Переход от принудительной гидравлической подачи с ограниченным ходом к подаче с лебедки длинной рабочей штангой может быть осуществлен просто и быстро;

6) управление отдельными механизмами сосредоточено в одном месте—передней части станка.

Станок и насосы могут быть приведены в движение одновременно от двух или одного дизель-моторов. Станок снабжен двумя насосами производительностью 200 *л/мин* каждый. При бурении скважин большого диаметра оба насоса включаются в работу. При работе коронками диаметром менее 188 *мм* обычно включают один насос, второй остается в резерве.

В настоящее время прошел производственные испытания буровой станок ЗИФ-1200А, который является усовершенствованной моделью

станка ЗИФ-1200. Поэтому выпуск буровых станков марки ЗИФ-1200 прекращен и готовятся к серийному производству буровые станки ЗИФ-1200А.

Техническая характеристика станков ЗИФ-1200 (I) и ЗИФ-1200А (II)

	I	II
Глубина бурения, *м*	1200	1200
Начальный диаметр скважины, *мм*	250	250
Конечный диаметр скважины, *мм*	76	76
Диаметр буровых штанг, *мм*	73; 63,5; 50	73; 63,5; 50
Система подачи инструмента	гидравлическая	
Угол наклона вращателя, градусы	90—75	90—75
Грузоподъемность гидравлической подачи, *кг*	15000	15000
Число оборотов шпинделя, об/мин	100, 200, 309, 455	67, 128, 238, 346
Ход шпинделя, *мм*	600	600
Лебедка	планетарная	
Скорость навивки каната на барабан, *м/сек*	0,39; 0,76, 1,17; 1,79	0,65; 1,26; 2,34; 3,40
Грузоподъемность лебедки, *кг*	4500	4500
Диаметр каната, *мм*	20	20
Число двигателей	2	2
Мощность двигателя, *л. с.*	40	55
Тип насосов	ЗИФ-200/40	ЗИФ-200/40
Число насосов	2	2
производительность, *л/мин*	200	200
давление, *атм*	40	40
Вес станка, *кг*	6900	5200

Буровой станок ЗИФ-650 (рис. XXVI-18,19)

Станок предназначен для вращательного колонкового бурения разведочных скважин глубиной 650 *м* под любым углом к горизонту и любыми истирающими материалами и наконечниками.

Станок позволяет вести форсированный режим бурения благодаря наличию большого диапазона скоростей режущего инструмента, возможности значительного ускорения спуско-подъемных операций, достаточно точному регулированию давления на забое и обеспечению прокачивания необходимого количества промывочной жидкости.

Применение двух двигателей и двух насосов, а также взаимная блокировка всех механизмов агрегата дает возможность наиболее экономично использовать мощность установленных двигателей и исключает возникновение аварий из-за выхода из строя одного из двигателей или насосов.

Агрегат приводится в движение двумя дизелями или двумя электромоторами, которые могут работать и одновременно и порознь, развивать суммарную мощность 60 *л. с.* Через трансмиссию мощность от двигателей передается станку при помощи клиноременной передачи через карданный вал и насосам, которые могут работать независимо друг от друга. Подача шпинделя гидравлическая. Давление на забое определяется во время бурения при помощи дриллометра. Освобождение устья скважины при спуско-подъемных операциях осуществляется отодвиганием станка от устья скважины гидравлическим приводом.

Все механизмы агрегата, включая и раму, крепятся неподвижно. Станок имеет возможность перемещаться только по раме на 500 *мм*,

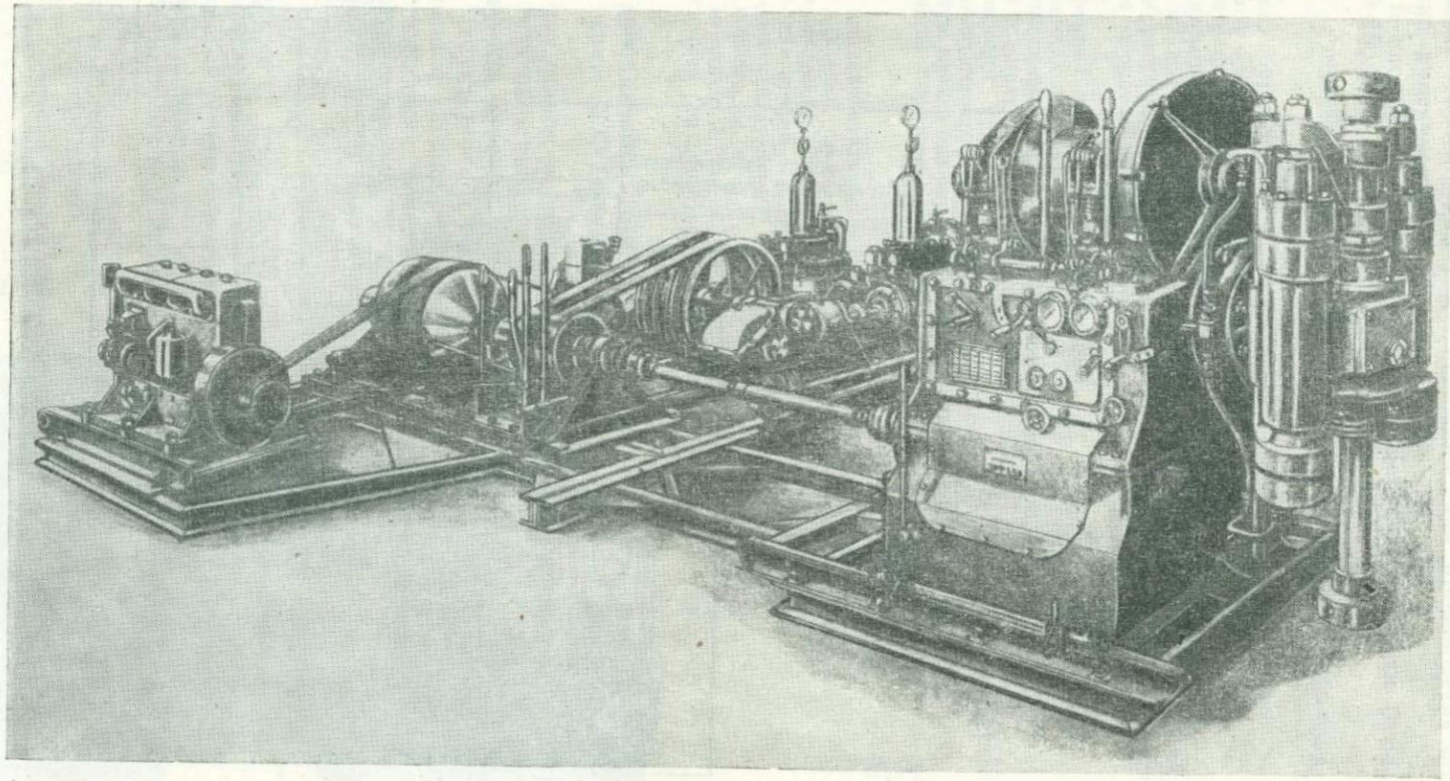


Рис. XXVI-18. Агрегат колонкового бурения ЗИФ-650.

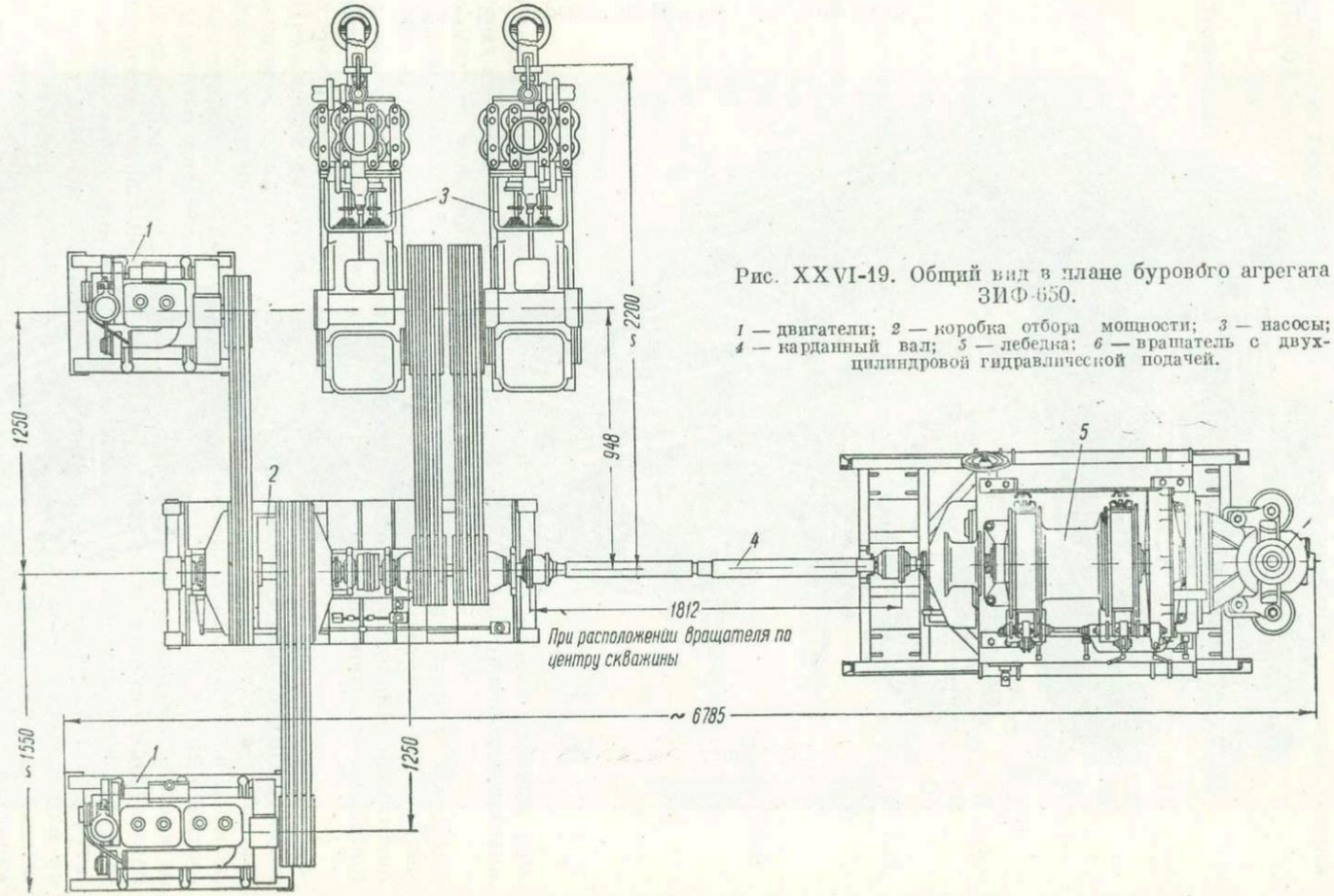


Рис. XXVI-19. Общий вид в плане бурового агрегата ЗИФ-650.

1 — двигатели; *2* — коробка отбора мощности; *3* — насосы; *4* — карданный вал; *5* — лебедка; *6* — вращатель с двухцилиндровой гидравлической подачей.

с целью освобождения устья скважины, для производства подъема или спуска инструмента.

В настоящее время выпускаются более портативные буровые станки ЗИФ-650А.

Техническая характеристика станков ЗИФ-650 (I) и ЗИФ-650А (II)

	I	II
Глубина бурения, *м*	650	650
Диаметр скважины начальный, *мм*	220	200
Диаметр скважины конечный, *мм*	76	76
Диаметры буровых штанг, *мм*	63,5; 50	63,5; 50
Угол наклона скважины к горизонту, градусы	от 0 до 360	
Способ регулирования давления на забой	гидравлический	
Число оборотов шпинделя, об/мин	127, 261, 392, 604, 807	71, 155, 227, 470
Внутренний диаметр шпинделя, *мм*	66	66
Ход шпинделя, *мм*	500	500
Максимальное усилие, развиваемое гидравликой, как домкратом, *кг*	7500	8000
Тип лебедки	планетарная	
Грузоподъемность лебедки, *кг*	3000	3000
Диаметр каната на барабане лебедки, *мм*	17,5	17,5
Окружная скорость на барабане, *м/сек*	0,41; 0,86; 1,28; 1,98; 2,62	0,494; 1,062; 1,922; 3,277.
Насос	ЗИФ 200/40	ЗИФ 200/40
производительность, *л/мин*	200	200
давление, *атм*	40	40
Число насосов	2	2
Число двигателей	2	2
Мощность двигателей::		
первого, *л. с.*	40	37
второго, *л. с*	20	37
Вес агрегата без двигателей, *кг*	5500	~3000

Буровой станок ЗИФ-300 (рис. XXVI-20,21)

Этот станок с гидравлической подачей шпинделя применяется для бурения разведочных, структурных и гидрогеологических скважин колонковым способом с начальным и конечным диаметром соответственно 131 и 59 *мм*. Станок имеет четыре скорости вращения шпинделя (от 64 до 517 об/мин рис. XXVI-22), что вполне обеспечивает форсированный режим бурения как твердосплавными и дробовыми, так и алмазными коронками.

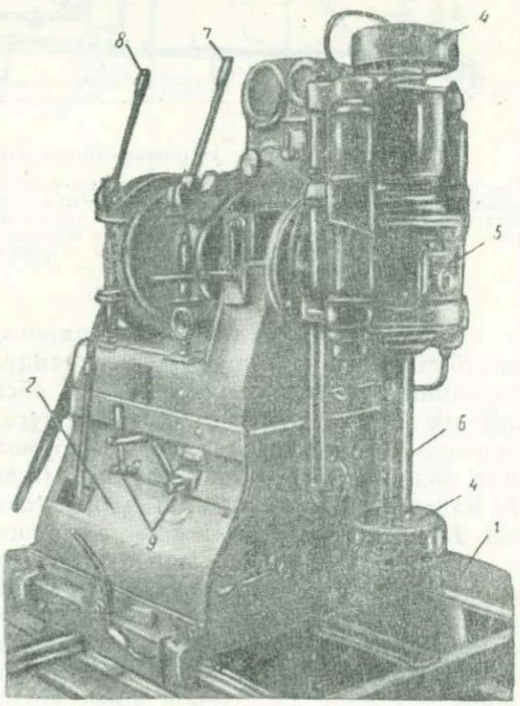


Рис. XXVI-20. Общий вид бурового станка ЗИФ-300.

1 — рама; *2* — крышка коробки передач; *4* — патроны; *5* — крышка вертикальной коробки; *6* — шпиндель; *7, 8* — рычаги управления лебедкой; *9* — рычаги переключения скоростей.

Агрегат ЗИФ-300 состоит из четырех отдельных блоков: станка, насоса М-100/30, трансмиссии и двигателя 2МЧ-10,5/13 или асинхронного электромотора МКМА-19/6 мощностью 21 *квт*.

На раме (салазках) *1* установлен корпус *2*, в котором находится главный вал *3*, коробка скоростей *4* и маслонасос *5* (рис. XXVI-20).

Шпиндель *6*, на котором навернуты два зажимных патрона *7*, вращается на шарикоподшипниках, размещенных в коробке *8*.

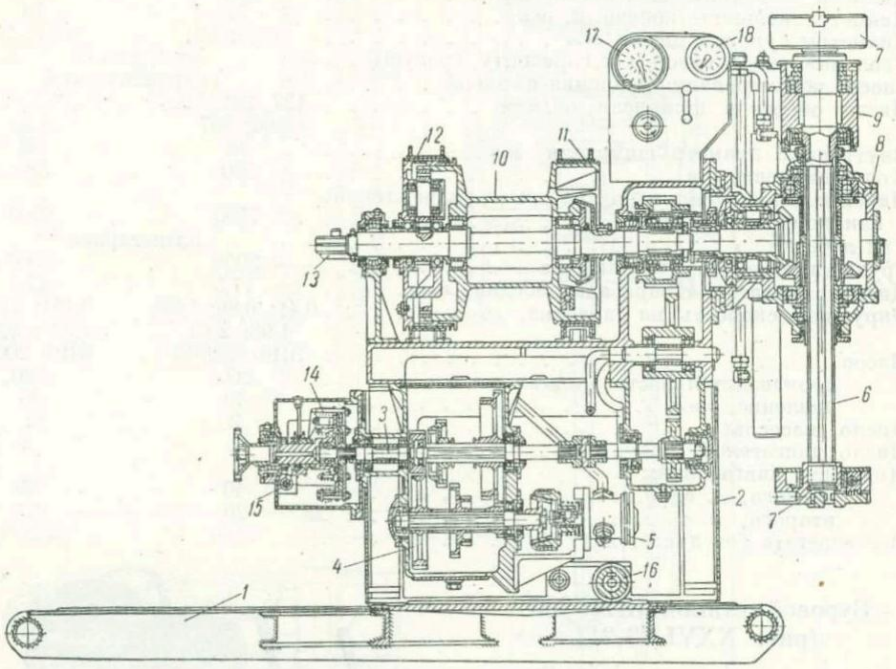


Рис. XXVI-21. Буровой станок ЗИФ-300. Продольный разрез:

1 — рама (салазки); *2* — корпус; *3* — главный вал; *4* — коробка скоростей; *5* — маслонасос; *6* — шпиндель; *7* — зажимные патроны; *8* — коробка с шарикоподшипниками; *9* — траверса; *10* — планетарная лебедка; *11* — тормоз спуска; *12* — тормоз подъема; *13* — вал; *14* — фрикционная муфта; *15* — рычаг; *16* — устройство для откатки и накатки станка, производимых вручную; *17* — указатель давления; *18* — манометр; *19* — рукоятки.

Подача инструмента и регулирование давления на забой по мере углубки скважины производится гидравликой. Для спуско-подъемных операций бурового инструмента и обсадных труб служит планетарная лебедка *10*, установленная на корпусе коробки скоростей. При спуске бурового инструмента работает тормоз *11*, при подъеме — тормоз *12*. Для подъема инструмента вручную (в аварийных случаях) на конец вала *13* надевается рукоятка ручного подъема. Фрикционная муфта *14* и рычаг *15* служат для включения главного вала станка.

Горизонтальное перемещение станка во время спуско-подъемных операций производится вручную при помощи устройства *16*. Для контроля величины нагрузки на забой служит указатель давления *17*. Манометр *18* показывает давление масла в гидравлической системе.

Переключение шестерен в коробке скоростей осуществляется при помощи рукояток *19*. Станок имеет четыре скорости.

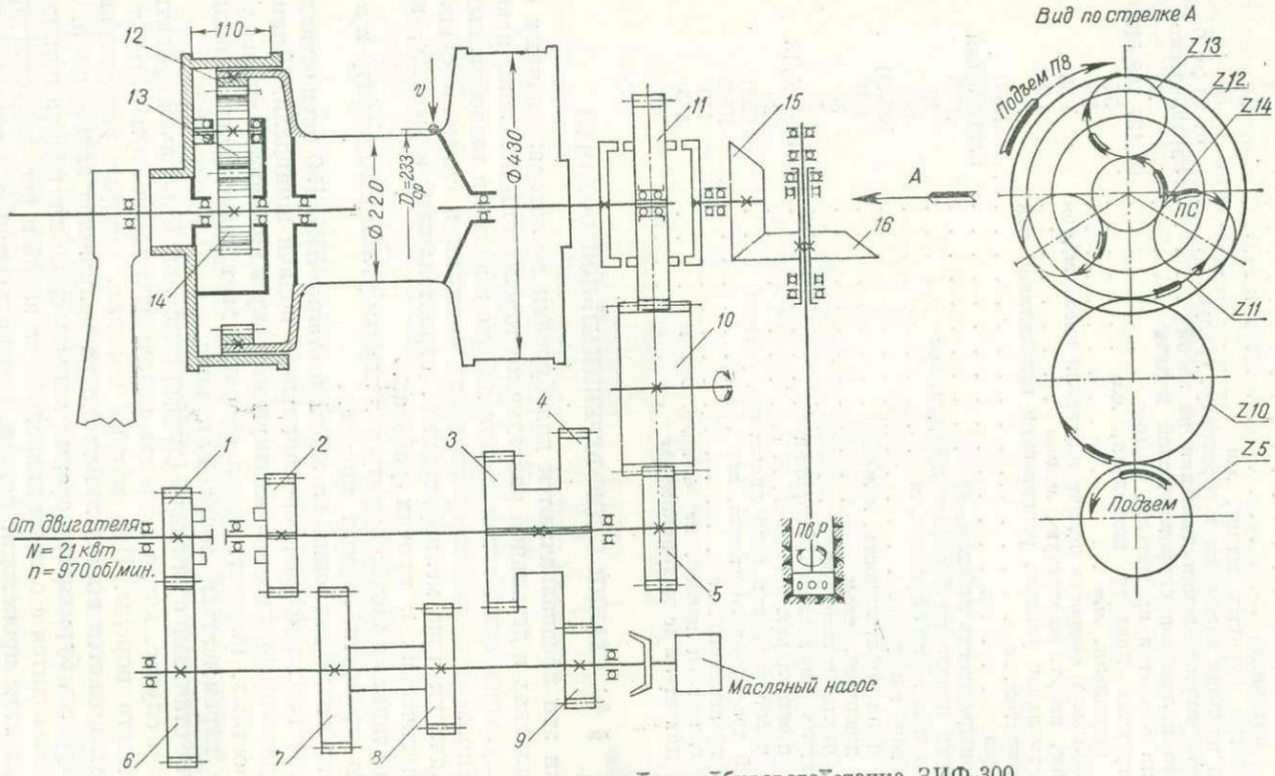


Рис. XXVI-22. Кинематическая схема бурового станка ЗИФ-300.

1—11 —цилиндрические зубчатые колеса; *12* — венцовое зубчатое колесо; *13* — планетарка; *14* — солнечное зубчатое колесо; *15, 16* — конические зубчатые колеса.

Техническая характеристика станка ЗИФ-300

Глубина бурения, *м*	300
Диаметр скважины, *мм*:	
начальный	131
конечный	59
Диаметры буровых штанг, *мм*	50
Угол наклона скважины к горизонту, градус	от 90 до 0
Способ регулирования давления на забой	гидравлический
Число цилиндров гидравлической подачи	2
Число оборотов вращателя, об/мин	64, 127, 265, 517
Внутренний диаметр шпинделя, *мм*	54
Ход шпинделя, *мм*	400
Наибольшая скорость подачи шпинделя вниз, *м/мин*	1,35
То же, вверх, вхолостую, *м/мин*	4,0
Максимальное усилие, развиваемое гидравликой как домкратом, *кг*	5000
Лебедка	планетарная
Грузоподъемность лебедки, *кг*	2000
Диаметр каната на барабане лебедки, *мм*	13
Длина каната на барабане, *м*	43,5
Грязевой насос	100/30
производительность, *л/мин*	100
давление, *атм*	30
число цилиндров	2
Двигатель внутреннего сгорания	2МЧ-10,5/13
номинальная мощность, *л. с.*	20
число оборотов вала двигателя, об/мин	1500
Общий вес бурового станка, *кг*	1300
трансмиссии, *кг*	150
грязевого насоса, *кг*	565
двигателя (с маховиком), *кг*	361

§ 4. СТАНКИ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

Станки эти предназначаются для бурения геологоразведочных скважин при поисках и детальной разведке месторождений полезных ископаемых; эксплуатационных скважин при добыче жидких и газообразных полезных ископаемых; гидрогеологических скважин и скважин специального назначения при мелиоративных, строительных, взрывных, инженерно-геологических и прочих работах.

Этими станками можно бурить под любым углом к горизонту и в различных по крепости горных породах.

Регулирование давления на забой в станке ЗИВ-150 осуществляется на принципе винтовой (дифференциальной) подачи шпинделя. Шпиндель и гайка подачи имеют левую ленточную нарезку и вращаются вправо с разными скоростями. Разность чисел оборотов дает возможность шпинделю продольно перемещаться вверх или вниз.

Бурение станками с винтовой (дифференциальной) подачей эффективно только в том случае, когда скорость подачи шпинделя соответствует степени буримости породы. При мягких породах, которые разбуриваются быстрее, чем подается шпиндель, проходка получается заниженной. При крепких породах, буримость которых меньше скорости подачи шпинделя, бурение производится с осевым давлением на забой и регулируется фрикционом. При этом происходит нагрев, проскальзывание и сильный износ фрикционных дисков.

Для удобства расхаживания бурового инструмента во время бурения дробью в станке ЗИВ-150 устроена наряду с винтовой подачей шпинделя и рычажная, которая позволяет подавать шпиндель на 150—175 *мм*.

Буровой станок ЗИВ-150 (рис. XXVI-23)

К раме станка болтами прикреплена четырехногая станина. Непосредственно к станине *1* крепится коробка перемены передач *5*. К левой стороне коробки (от поста управления) прикреплен главный фрикцион *4*, а с правой — вращатель *9*. Сверху установлена планетарная лебедка *6* с тормозом.

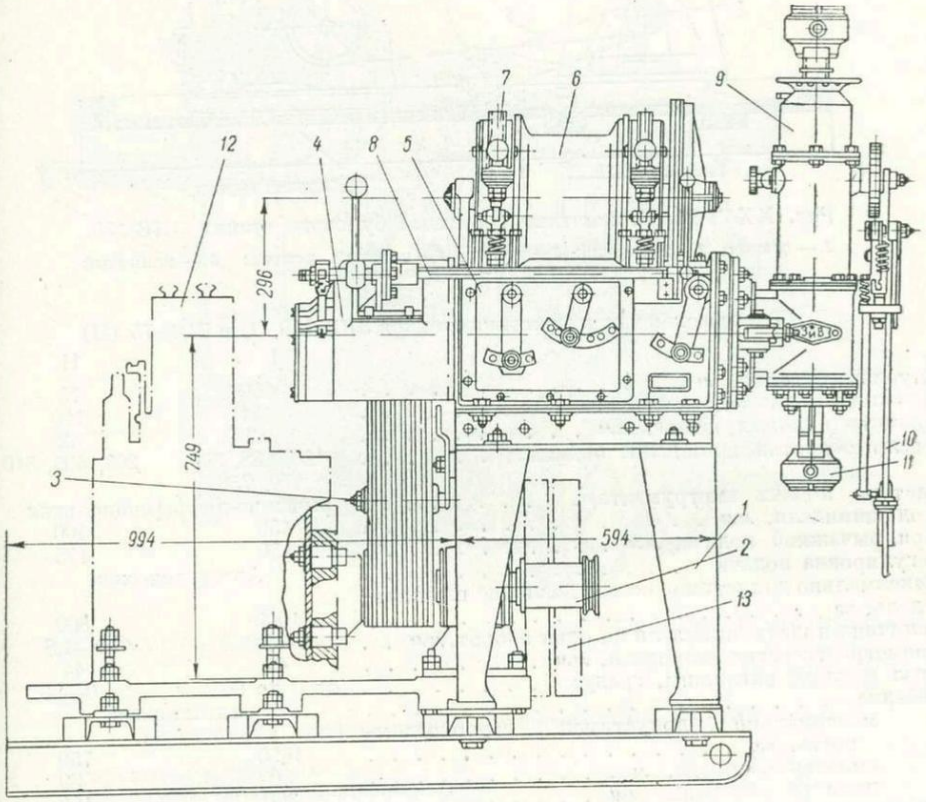


Рис. XXVI-23. Общий вид станка ЗИВ-150.

1 — рама; *2* — привод; *3* — натяжной ролик; *4* — главный фрикцион; *5* — коробка передач; *6* — лебедка; *7* — тормоз лебедки; *8* — управление главного фрикциона; *9* — вращатель; *10* — рычаг; *11* — зажимной патрон; *12* — дизель-мотор; *13* — шкивы промывочного насоса.

Все механизмы станка плотно закрыты и работают в масляных ваннах. Детали отдельных узлов выполнены в соответствии с требованиями взаимозаменяемости при ремонтных операциях.

Станок *1*, двигатель *2* и насос *3* монтируются на общей раме, устроенной из деревянных ряжей и подряжников (рис. XXVI-24). Промывочный насос приводится в движение от трансмиссии двигателя с помощью плоского ремня *4*. Динамомашина *6*, питающая током осветительную сеть на буровой вышке, получает вращение от контпривода станка посредством клинового ремня *5* и шкива мотора.

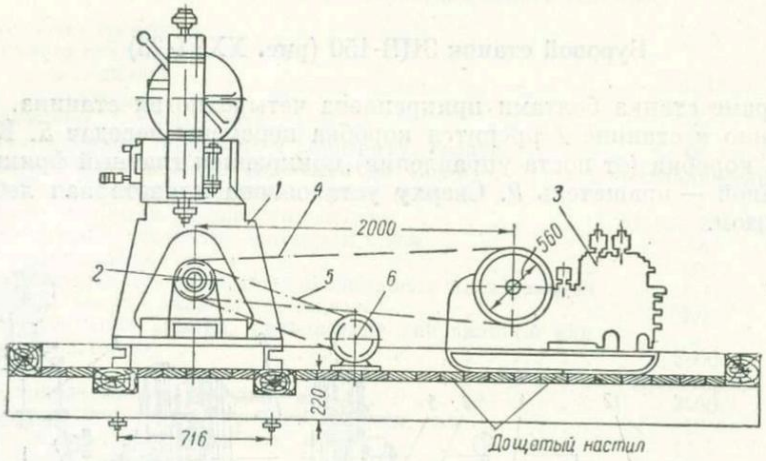


Рис. XXVI-24. Кинематическая схема бурового станка ЗИВ-150.

1 — станок; *2* — двигатель; *3* — насос; *4* — плоский ремень; *5* — клиновый ремень; *6* — динамомашина.

Техническая характеристика станков ЗИВ-150 (I) и ЗИВ-75 (II)

	I	II
Глубина бурения, *м*	150	75
Начальный диаметр скважины, *мм*	131	110
Диаметр буровых штанг, *мм*	42	42
Число оборотов шпинделя, об/мин.	120, 188, 300, 470, 750	203, 405, 810
Система подачи инструмента	рычажно-дифференциальная	
Ход шпинделя, *мм*	450	400
При рычажной подаче, *мм*	150	175
Регулировка подачи	Автоматическая	
Максимально допустимое осевое давление на шпиндель, *кг*	1000	800
Величина подачи шпинделя за один оборот, *мм*	0—1,8	0—1,8
Диаметр отверстия шпинделя, *мм*	44	44
Угол наклона скважины, градус	от 0 до 90	0—90
Лебедка	планетарная	
максимально допустимая грузоподъемность, *кг*	1600	750
емкость барабана, *м*	30	30
диаметр барабана, *мм*	200	180
Диаметр каната, *мм*	11	9,2
Вес станка, *кг*	900	540
Двигатель	2МЧ10,5/13	1МЧ10,5/13
Номинальная мощность, *л. с.*	20	10
Число оборотов, об/мин	1500	1500
Вес двигателя (с маховиком), *кг*	361	290
Насос	100/30	45/15
производительность, *л/мин*	100	45
максимальное давление, *атм*	30	15
высота всасывания, *м*	2	2
вес, *кг*	565	220
Вес агрегата в целом, *кг*	1850	1050

Самоходная буровая установка СБУ-150-ЗИВ

Самоходная буровая установка СБУ-150-ЗИВ смонтирована на автомашине ЗИС-151 и предназначена для бурения скважин глубиной до 150 *м*. Вращатель станка с дифференциально-рычажной подачей при бу-

рении в породах высокой категории буримости заменяется ротором с ведущей штангой. Станок может приводиться в действие от двигателя ГАЗ-МК мощностью 30 *л. с.*, установленного на шасси автомашины, и от двигателя самой автомашины. Запуск двигателя ГАЗ-МК может быть осуществлен от двигателя автомашины.

При работе с ведущей штангой осевое давление осуществляется при помощи цепного механизма подачи. Для работы с ведущей штангой со станка снимается вращатель и ставится ротор (рис. XXVI-25, 26).

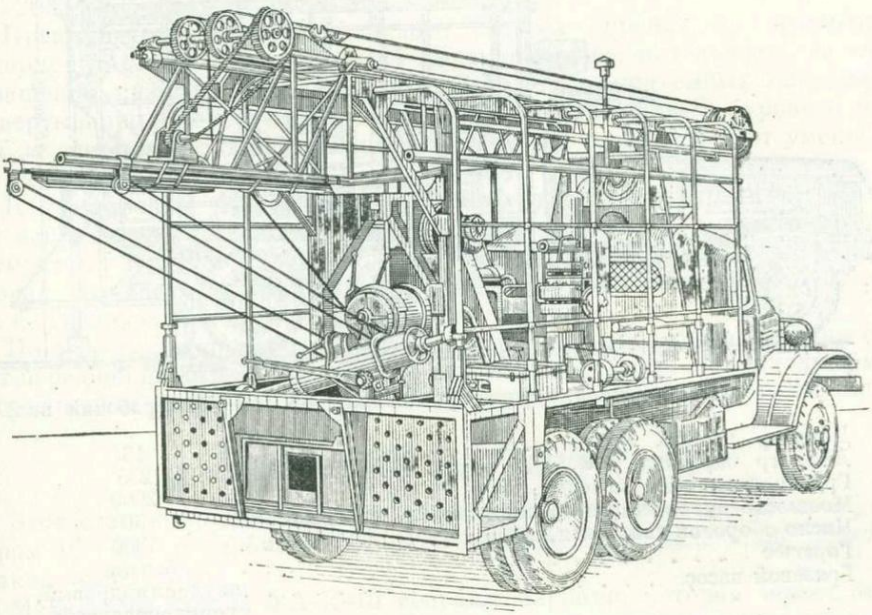


Рис. XXVI-25. Самоходная буровая установка СБУ-150-ЗИВ (транспортное положение).

Техническая характеристика установки СБУ-150-ЗИВ

Глубина бурения, *м*	150
Начальный диаметр скважины, *мм*	150
Конечный диаметр скважины, *мм*	58
Диаметр штанг, *мм*	42
Диаметр ведущей штанги, *мм*	68
Ход шпинделя при дифференциальной подаче, *мм*	450
Ход шпинделя при ручной рычажной подаче, *мм*	150
Ход ведущей штанги (цепная подача), *мм*	3000
Максимальное усилие подачи, *кг*	1000
Количество оборотов шпинделя при различных скоростях, об/мин:	
I	60—82
II	67—118
III	151—205
IV	237—320
V	377—510
Скорость навивки каната на барабан, *м/сек*:	
I	0,137—0,185
II	0,218—0,295
III	0,344—0,465
IV	0,530—0,715
V	0,851—1,15

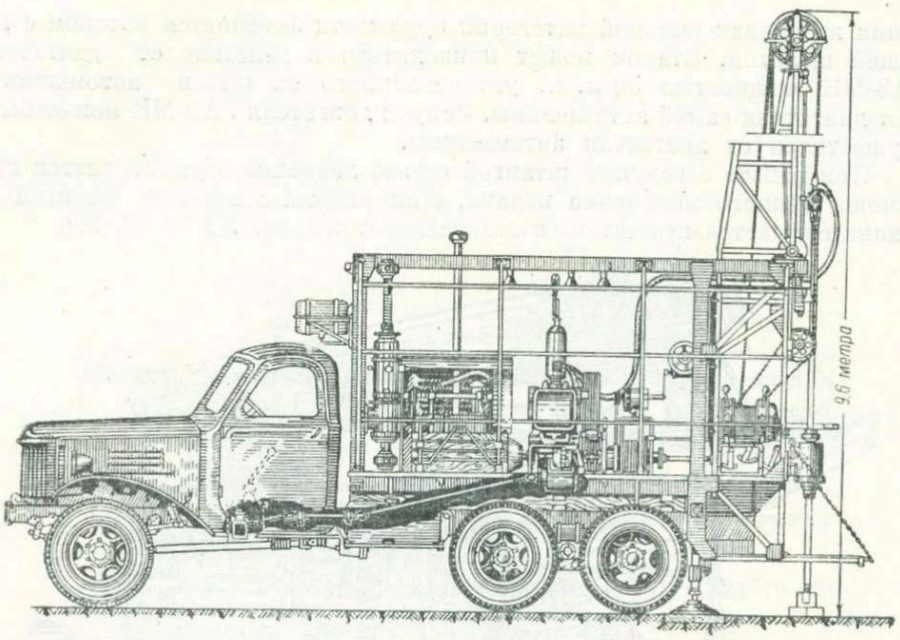


Рис. XXVI-26. Самоходная буровая установка СБУ-150-ЗИВ (рабочий вид).

Диаметр каната, *мм*	13
Диаметр барабана, *мм*	235
Грузоподъемность лебедки, *кг*	2000
Мощность бурового двигателя типа ГАЗ-МК, *л. с.*	30
Число оборотов двигателя, об/мин	1300
Горючее	бензин
Грязевой насос	двухцилиндровый, горизонтальный, двойного действия марки ЗИФ-200/40
Максимальная производительность насоса, *л/мин*	200
Максимальное давление насоса, *кг/см²*	40
Динамомашина ПН-10 мощностью, *квт*	1,5
Габариты установки, *мм*:	
длина	4800
ширина	2690
высота мачты	9600
Вес с автомашиной, *кг*	8492
Вес автомашины, *кг*	5600

В комплект самоходной буровой установки входят:
1) буровой станок ЗИВ-150;
2) вращатель роторного типа с ведущей квадратной штангой;
3) двигатель ГАЗ-МК мощностью 30 *л. с.*
4) насос ЗИФ-200/40;
5) мачта высотой 9,6 *м*;
6) динамомашина мощностью 1,5 *квт*;
7) бензобак;
8) глиномешалка;
9) крюк и вертлюг-сальник;
10) комплект вспомогательного и монтажного инструмента.

§ 5. СТАНКИ УДАРНО-МЕХАНИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ

Буровые станки ударно-механического бурения по способу передачи движения буровому наконечнику подразделяются на две группы:

1) ударно-механические для бурения на канате; передача движения буровому наконечнику осуществляется гибкой связью — канатом;

2) ударно-механические для бурения на штангах; передача движения буровому наконечнику осуществляется при помощи штанг.

Для разведочных и гидрогеологических скважин наиболее распространены ударно-механические станки для бурения на канате. Заводами СССР выпускается много типов ударно-канатных станков. В настоящее время применяются станки УА-75, УА-150, УА-225, БУ-2, КК-50, УКС-20с, УКС-22, УКС-30 и др.

Преимуществом ударно-канатного способа бурения по сравнению с ударно-штанговыми является: 1) высокая производительность за счет сокращения времени, затрачиваемого при спуско-подъемных операциях на свертывание и развертывание штанг; 2) уменьшение веса бурового снаряда за счет штанг; 3) облегчение конструкции станка за счет уменьшения веса бурового снаряда.

К недостаткам ударно-канатного способа бурения относятся: 1) частое искривление скважин в результате неправильного управления инструментом; 2) трудность точной разработки забоя скважин в крепких породах; 3) невозможность применения глинистой промывки, что приводит к увеличенному расходу обсадных труб.

По виду транспортировки станки ударно-механического бурения бывают передвижными — на гусеничном или колесном ходу, и самоходными — на гусеничном ходу или на шасси грузовой автомашины.

Станок УА-75-III (рис. XXVI-27, 28)

Этот станок предназначается для бурения скважин начальным диаметром 10—12″ и глубиной 100—120 *м*. Существует несколько моделей станков этого типа.

Механизмы станка УА-75-Ш собраны на раме, которая может быть удобно установлена как на простом колесном ходу, так и на шасси автомобиля. Кроме того, предусмотрено место для установки двигателя на раме. Привод от двигателя на станок клиноременный. Рулевое управление сконструировано так, что допускает работу при трех следующих положениях станка: рама стоит 1) на колесном ходу; 2) на автомобиле; 3) непосредственно на земле. Привод на желоночный барабан осуществляется цепной передачей от главного вала.

Первоначально станки изготовлялись с деревянной мачтой шестового типа, в последнее же время — с железной телескопической мачтой, причем верхний ролик снабжается амортизатором.

Станок УА-75-III состоит из следующих основных частей: колесного хода, собственно станка и мачты.

Техническая характеристика станка УА-75-III

Глубина бурения, *м*	100
Начальный диаметр скважины, дюймы	12—14
Число ударов бурового инструмента в 1 мин	50—60
Высота подъема точки подвеса, *мм*	570
Число оборотов главного вала, об/мин	296
Грузоподъемность инструментального барабана, *кг*	1200
Грузоподъемность желоночного барабана, *кг*	500
Скорость навивки каната на инструментальный барабан, *м/сек*	0,97
То же, на желоночный, *м/сек*	1,62
Высота мачты, *м*	10,5

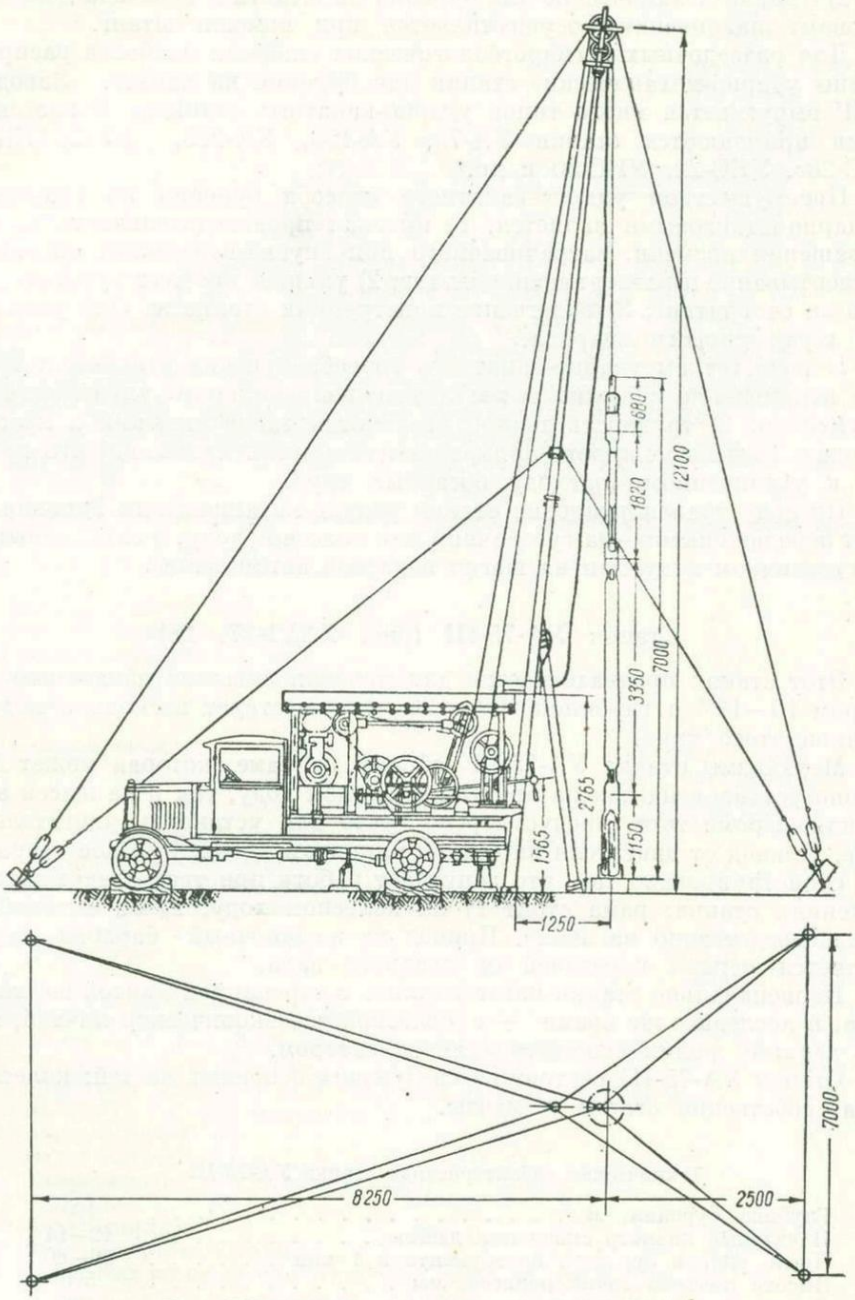


Рис. XXVI-27. Самоходный станок УА-75-III.

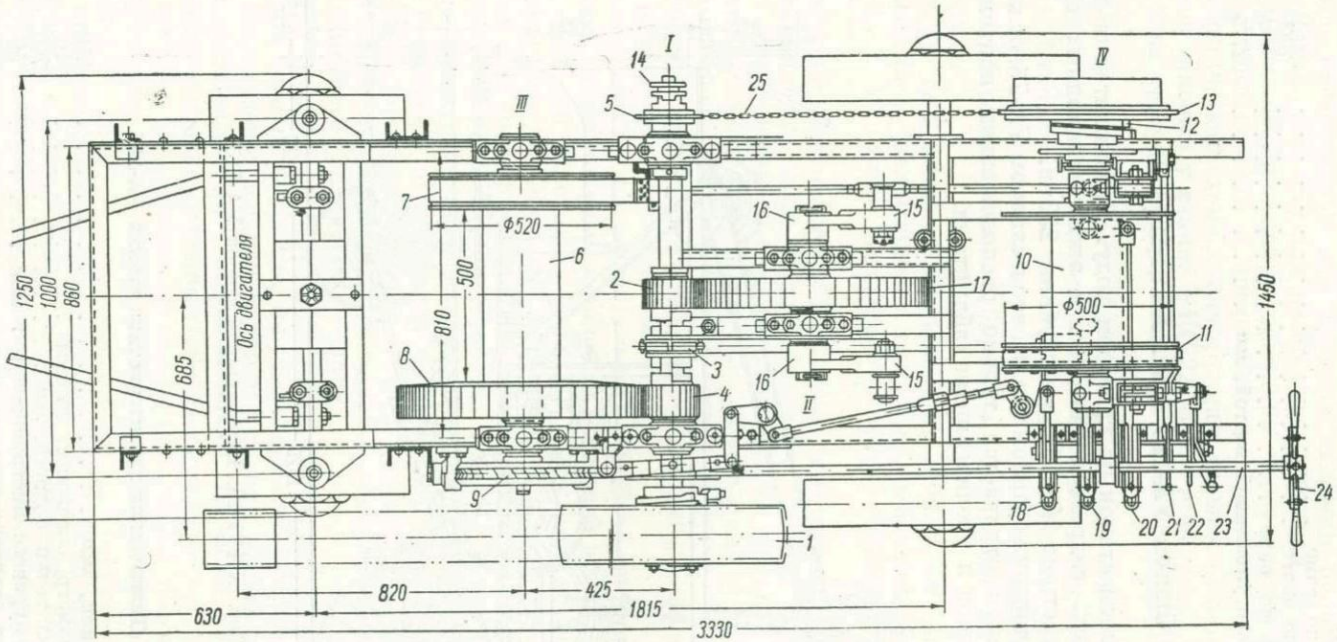


Рис. XXVI-28. Станок УА-75-III (план).

1 — главный фрикционный шкив; *2*, *4*, *8*, *17* — зубчатые колеса; *3*, *14* — кулачковые муфты; *5*, *13* — звездочки; *6* — инструментальный барабан; *7* — тормоз инструментального барабана; *9* — червячное колесо; *10* — желоночный барабан; *11* — тормоз желоночного барабана; *12* — фрикцион желоночного барабана; *15* — кривошипы; *16* — шатуны; *18*, *19*, *20*, *21*, *22* — рукоятки управления станком *23* — червячный вал; *24* — штурвал червячного вала; *25* — ролико-шарнирная цепь.

Вес мачты, *кг*	700
Вес станка с мачтой, *кг*	2840
Габариты, *мм*:	
длина по раме	3330
длина по мачте	7300
ширина по раме	860
Высота станка с уложенной мачтой, *мм*	2775

Станок УА-225 (рис. XXVI-29)

Это передвижной станок на колесном ходу. Применяется он при бурении разведочных, гидрогеологических и эксплуатационных скважин с начальным диаметром 14—16″ до глубины 250 *м*.

Принцип управления станком тот же, что и станком УА-75, от которого описываемый станок отличается только расположением подъемного и ударного механизмов и увеличенными габаритами.

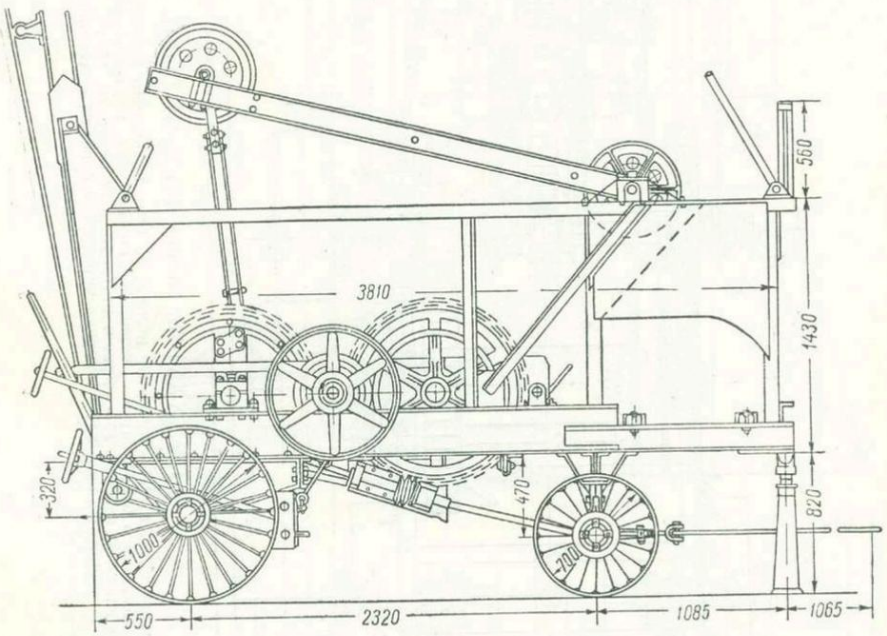


Рис. XXVI-29. Передвижной станок УА-225.

Техническая характеристика станка УА-225

Глубина бурения, *мм*	250
Начальный диаметр скважины, дюймы	16
Высота подъема точки подвеса, *мм*	700
Число ударов бурового инструмента в 1 мин	50
Число оборотов главного вала, об/мин	300
Габариты, *мм*:	
высота	3000
длина	4000
Вес станка, *кг*	6500

Ударно-канатный станок УКС-30 (рис. XXVI-30)

Станок предназначен для бурения скважин большого начального диаметра (около 800 *мм*) для целей водоснабжения, осушения обводненных угольных месторождений, доставки через скважины в подземные выработки закладочного и крепежного материалов, вентиляции и т. п.

Кинематическая схема и конструкция основных узлов станка УКС-30 аналогична таковым у станка УКС-22. Здесь приводится техническая характеристика трех станков, а описание кинематической схемы — одного из них.

УКС-30 — трехбарабанный станок с ударным оттяжным механизмом. Для спуско-подъемных операций имеется телескопическая мачта шестового типа. Станок состоит из следующих основных конструктивных узлов: главного вала, инструментального барабана, ударного механизма, желоночного барабана, талевого барабана, рамы, мачты, поста управления, электроблока.

Главный вал имеет клиноременный привод от электродвигателя. С ударным валом, желоночным и талевым барабанами он связан зубчатой передачей, а с валом инструментального барабана — цепной передачей.

Включение всех валов и барабанов в действие производится при помощи фрикционных муфт, находящихся на главном валу. Кривошипы ударного вала связаны с оттяжной рамой двумя шатунами, которыми она приводится в качательное движение. Желоночный и талевый барабаны свободно насажены на общую ось и могут вращаться независимо друг от друга. Тормоза всех трех барабанов — ленточные, стальные, с приклепанной фрикционной прокладкой.

Рабочий канат с инструментального барабана протянут на направляющий ролик оттяжной рамы и далее на оттяжной ролик, откуда он поступает на больший (инструментальный) ролик мачты, затем опускается вниз к буровому снаряду, где закрепляется в канатном замке.

Канат с желоночного барабана перекинут через малый ролик мачты и прикреплен к желоночному снаряду. Канат с талевого барабана при вспомогательных операциях перекидывается на один из крайних талевых роликов на мачте и используется по мере надобности.

Спуско-подъемные операции с грузами в пределах 25 *м* осуществляются с талевого барабана при оснастке канатом всех талевых роликов мачты и трехроликового подвижного блока.

Подъем мачты с горизонтального в рабочее положение производится посредством червячной лебедки с ручным приводом, укрепленным на раме станка. Выдвижение верхней и нижней секций производится червячной лебедкой, установленной у подошвы мачты. На мачте крепится консольная укосина с подвижным цепным блоком, служащим для подъема тяжелых долот и частей оборудования. Устойчивость мачты обеспечивается жесткими трубчатыми растяжками и двухъярусными оттяжками из стального каната.

Все механизмы станка смонтированы на сварной металлической раме, установленной на двух осях с пневматическими шинами от автомашины ЗИС-150. Поворотная ось может вращаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях и имеет тяговую петлю для присоединения к трактору.

Управление станком сосредоточено в левом переднем углу станка (от скважины) и осуществляется пятью рычагами.

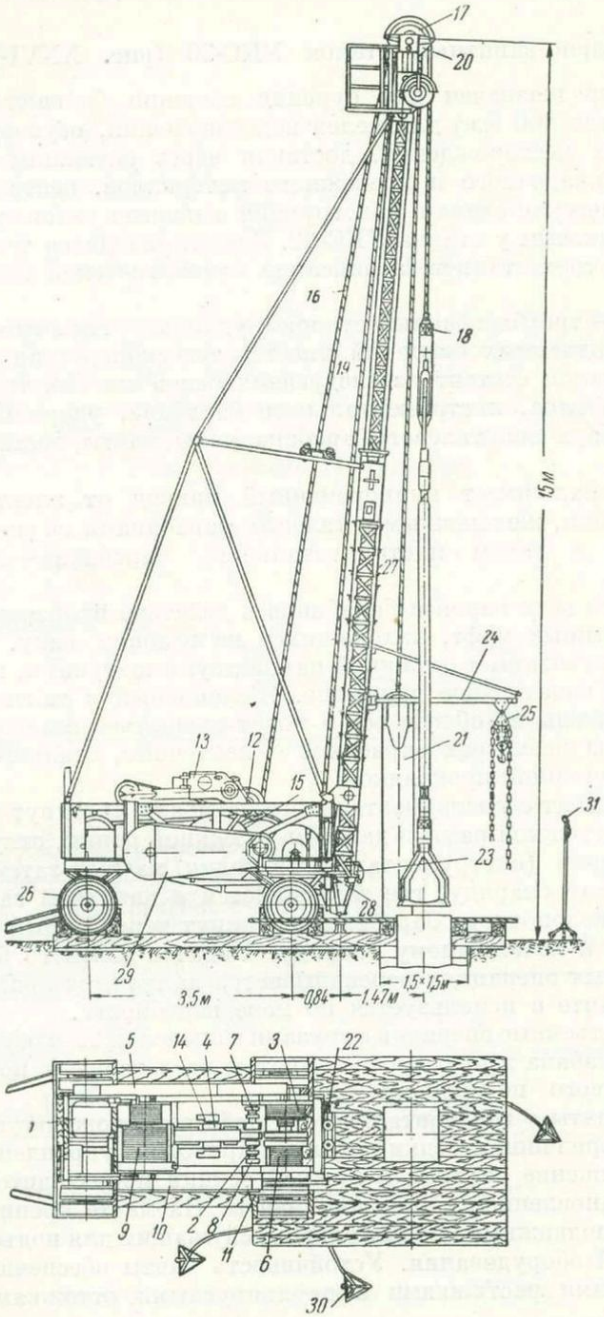


Рис. XXVI-30. Схематическое устройство станка УКС-30.

1 — электромотор; *2* — главный вал; *3* — клиноременная передача; *4* — ударный механизм; *5* — желоночный барабан; *6* — талевый барабан; *7*. *8*, *11* — фрикционные муфты; *9* — инструментальный барабан; *10* — втулочно-роликовая цепь; *12* — оттяжной ролик; *13* — оттяжная рама; *14* — кривошипы; *15* — шатун; *16* — инструментальный канат; *17* — инструментальный блок; *18* — буровой инструмент; *19* — желоночный канат; *20* — желоночный блок; *21* — желонка; *22* — лебедка для подъема мачты; *23* — червячная лебедка; *24* — консольная балка; *25* — таль; *26* — передний скат; *27* — мачта; *28* — кнопочное пусковое приспособление; *29* — ограждения; *30* — светильники; *31* — стойка с автомобильной фарой.

Станок имеет три скорости вращения главного вала и всех сопряженных с ним механизмов и барабанов при постоянном числе оборотов электродвигателя. Изменение числа оборотов главного вала достигается применением трех сменных шкивов электромотора диаметром 370, 330, 290 *мм*. При помощи этих шкивов можно соответственно получать 50, 45, 40 ударов в минуту бурового снаряда и различные скорости навивки канатов на инструментальный, желоночный и талевый барабаны. Быстрая смена шкивов на электродвигателе обеспечивается их особым устройством, позволяющим устанавливать их на конусной втулке, закрепленной на валу двигателя.

Для изменения хода бурового снаряда, величина которого зависит от радиуса установки пальцев кривошипов ударного механизма, кривошипы имеют по четыре конусных отверстия.

В качестве двигателя на станке установлен электромотор *1*, приводящий во вращение главный распределительный вал *2* при помощи клиноременной передачи *3*. Привод ударного механизма *4*, желоночного *5* и талевого *6* барабанов осуществляется зубчатыми передачами, которые включаются многодисковыми фрикционными муфтами *7* и *8*, установленными на главном валу. Инструментальный барабан *9* приводится в действие втулочно-роликовой цепью *10* и включается фрикционной муфтой *11*. Качание оттяжного блока *12*, установленного на оттяжной раме *13*, производится кривошипами *14* ударного механизма при помощи шатуна *15*. Оттяжная рама снабжена пружинным устройством, автоматически увеличивающим ход бурового инструмента, а также предохраняющим станок от динамических нагрузок и увеличивающим срок его службы. Рабочий канат *16* с инструментального барабана перекинут через блоки оттяжной рамы и головной блок мачты *17* и заделывается в канатном замке бурового инструмента *18*. Канат *19* с желоночного барабана перекинут через желоночный блок *20* мачты и закреплен на дужке желонки *21*.

Мачта поднимается специальной лебедкой *22*, установленной на раме станка. Верхняя секция мачты выдвигается из нижней червячной лебедкой *23*, установленной у основания мачты. На мачте крепится консольная балка *24*, по которой перемещается таль *25* грузоподъемностью 1 *т*.

Все механизмы станка смонтированы на сварной металлической раме, установленной на двух скатах. Передний скат *26* может поворачиваться в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Кроме того, передняя ось имеет тяговую петлю (дышло) для присоединения при передвижении к тягачу. Станок может быть установлен как на металлических скатах, так и на пневматиках от автомашины ЗИС-150, причем в последнем случае на ось должно быть поставлено на каждую сторону два колеса, т. е. восемь колес на весь станок. Транспортировать станок можно автомашиной или трактором, развивающим тяговое усилие на крюке не менее 2 *т*.

Управление станком сосредоточено в его правой передней части. Там же смонтировано кнопочное пусковое приспособление *28* электродвигателя. Все передачи (зубчатая, цепная и клиноременный привод) закрыты ограждениями *29*.

Ночью станок освещается полугерметическими светильниками *30*, подвешенными на специальных стойках, с электролампами напряжением 12 *в*. Для освещения мачтовых роликов предусмотрена стойка *31* с автомобильной фарой. Светильники питаются от смонтированного на станке понизительного трансформатора 380/12.

Техническая характеристика станков ударно-канатного бурения

Показатели	Тип станка УКС-20-С	УКС-22	УКС-30
Начальный диаметр скважины, дюймы	20	22	30
Конечный диаметр скважины, дюймы	6	6	8
Глубина бурения, *м*	300	300	500
Наибольший вес бурового снаряда, *кг*	1000	1300	2500
Высота подъема бурового снаряда, *мм*:			
наибольшая	1000	1000	1000
наименьшая	450	350	500
Число ударов в минуту:			
наибольшее	50	50	50
среднее	45	45	45
наименьшее	40	40	40
Грузоподъемность барабанов, *кг*:			
инструментального	1500	2000	3000
желоночного	1000	1300	2000
талевого	—	1500	3000
Скорость навивки каната, *м/сек*:			
на инструментальный барабан	0,65—0,52	1,1—1,37	1,42—1,10
на желоночный барабан	1,27—0,96	1,26—1,55	1,68—1,21
на талевый барабан	—	0,81—1,02	1,22—0,95
Диаметр каната, *мм*:			
инструментального	19,5	21,5	26,0
желоночного	13,0	15,5	17,5
талевого	—	15,5	21,5
Емкость барабанов, *м*:			
инструментального	320	350	500
желоночного	300	350	500
талевого	—	136	210
Мощность электродвигателя, *квт*	29,5	20,0	40,0
Число оборотов вала двигателя, об/мин	965	965	735
Вес двигателя, *кг*	270	250	320
Привод от двигателя	клиноременный		
Мачта	телескопическая		
Высота мачты до оси инструментального ролика, *м*	12,0	13,5	16,0
Грузоподъемность, *т*	5,0	12,0	25,0
Габариты станка в транспортном положении, *м*:			
высота	2,80	2,75	3,50
длина	8,00	8,50	10,00
ширина	1,85	2,30	2,84
Вес станка в рабочем положении, *т*	6,2	7,0	11,2
Способ передвижения станка	перевозится автомашиной или трактором		
Скорость передвижения, *км/час*:			
по проселочным дорогам	6	6	6
по шоссе	20	20	20

Буровой станок БУ-2 «Уралец» (рис. XXVI-31, 32)

Эти станки получили большое распространение для бурения гидрогеологических, буро-взрывных и эксплуатационных скважин. Они устойчивы при передвижке и бурении, отличаются прочностью, простотой управления и хорошей проходимостью, так как ходовая часть станка снабжена гусеницами. Станок БУ-2 однотипен станку БУ-20-2, отличаясь от него лишь размерами некоторых частей, устройством фрикционных муфт и конструкцией механизма свинчивания бурового снаряда. Поэтому ограничимся описанием только станка БУ-2 «Уралец».

Электродвигатель *1* через плоскоременную передачу *2*, шкивы *3* и *5* приводит во вращательное движение главный вал *4* (рис. XXVI-32).

Вращение главного вала распределяется по другим механизмам станка. Зубчатые колеса *6*, *12* и *18*, свободно сидящие на главном валу, соединяются с ним фрикционными муфтами *10*, *11* и *17*.

Зубчатое колесо *6* при включенной фрикционной муфте *10* приводит во вращение зубчатое колесо *7* с тормозным шкивом *9* и закрепленный с ней на общем валу инструментальный барабан *8*. Барабан наматывает инструментальный канат *34* и производит подъем бурового снаряда *39*, прикрепленного к свободному концу каната. Канат проходит через головной блок *32*, опирающийся на амортизатор *33*, под оттяжным блоком *36*, через направляющий блок *37* и закрепляется на инструментальном барабане. Шестерня *12* при включенной фрикционной муфте *11* передает вращение главного вала шестерне ударного механизма *13*. Вращение этой шестерни через палец *14* и шатун *38* преобразуется в качательное движение ударной рамы *35*, которое инструментальным канатом *34* передается буровому снаряду.

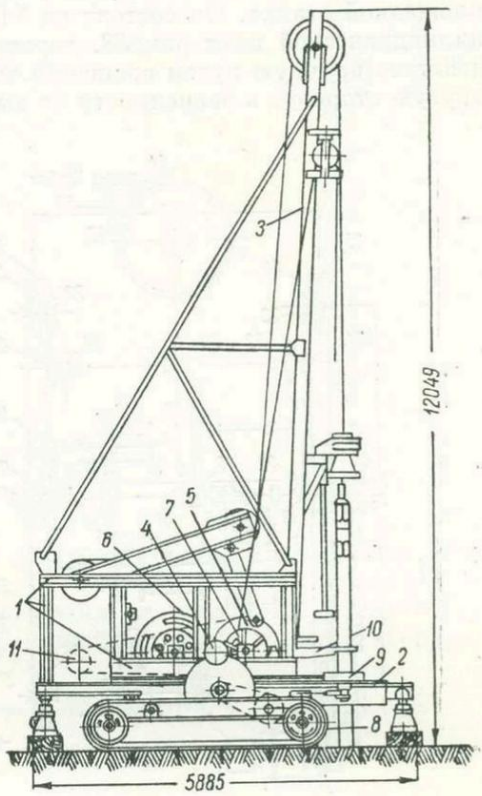


Рис. XXVI-31. Схема станка БУ-2 «Уралец».

1 — рама; *2* — площадка; *3* — мачта; *4* — главный распределительный вал; *5* — ударный механизм; *6* — инструментальная лебедка; *7* — желоночная лебедка; *8* — ходовой механизм; *9* — механизм свертывания бурового инструмента; *10* — управление станком; *11* — двигатель.

Желоночный барабан *16* приводится во вращательное движение соприкосновением фрикционного шкива этого барабана с фрикционным шкивом *15*, укрепленным на главном валу. Желоночный канат *42* перекинут через желоночный блок *41*, укрепленный на мачте *31*. Один конец желоночного каната закреплен на желоночном барабане; на втором свободном конце каната подвешена желонка *40*.

Включение ходового механизма станка производится фрикционными муфтами *17*. Вращение главного вала при этом передается через зубчатые колеса *18* и *19* цепной звездочке *20*, представляющей одно целое с шестерней *19*. Вращение цепной звездочки *20* через первую цепную передачу передается промежуточной спаренной звездочке *22—21*, свободно сидящей на задней опорной оси станка *29*. Затем через вторую цепную передачу вращение передается цепной звездочке *23* и ведущей звездочке гусеничной цепи *24*. Ведущая звездочка гусеничной цепи приводит в движение гусеничную цепь *25*, а вместе с ней и станок. Натяжение гусеничной цепи регулируется лепивцем *26*.

Ручная лебедка *27* предназначена для подъема и опускания мачты *31*. Канат *28* перекинут через ролик *30*, свободно сидящий на опорной оси станка *29*, а также на оси, укрепленной в нижней части мачты. Один конец

каната закреплен на барабане ручной лебедки, а другой — на оси ролика *30* в нижней части мачты.

Механизм для свертывания инструмента смонтирован под рабочей площадкой станка. Он состоит из большой ажурной шестерни *43*, малой цилиндрической шестерни *38*, червячного редуктора *44* и приводится в действие вручную путем вращения червячного винта редуктора в ту или другую сторону, в зависимости от выполняемой операции. [1]

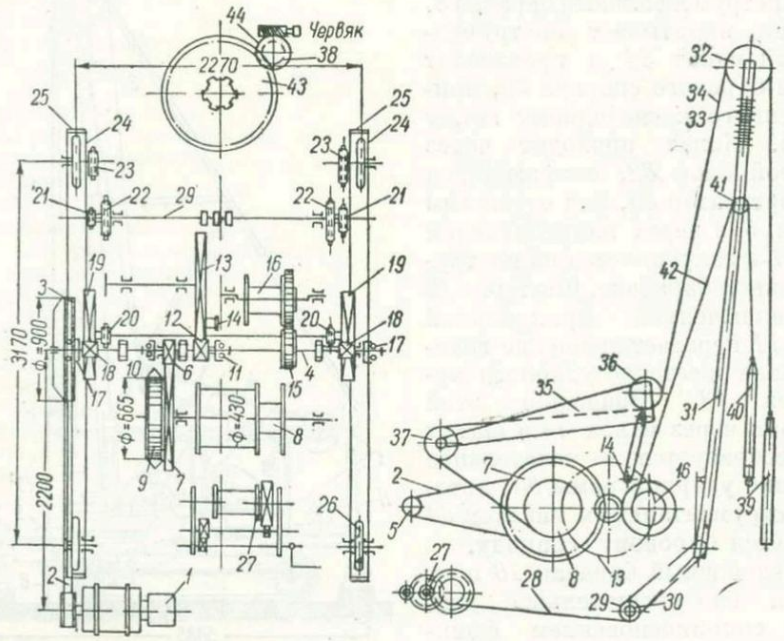


Рис. XXVI-32. Кинематическая схема станка БУ-2 «Уралец».

1 — электродвигатель; *2* — плоскоременная передача, *3*, *5* — шкивы; *4* — главный вал; *6*, *7*, *12*, *13*, *18*, *19* — зубчатые колеса; *8* — инструментальный барабан; *9* — тормозной шкив, *10*, *11*, *17* — фрикционные муфты; *13* — ударный механизм; *14* — палец шатуна; *15* — фрикционный шкив; *16* — желоночный барабан; *20* — звездочка; *21*, *22* — спаренная звездочка; *23* — цепная звездочка; *24* — ведущая звездочка гусеничной цепи; *25* — гусеничная цепь; *26* — ленивец; *27* — ручная лебедка; *28* — канат; *29* — опорная ось станка; *30* — ролик; *31* — мачта; *32* — головной блок; *33* — амортизатор; *34* — инструментальный канат; *35* — ударная рама; *36*, *37* — оттяжной и направляющий блоки; *38* — шатун; *39* — буровой снаряд; *40* — желонка; *41* — желоночный блок; *42* — желоночный канат; *43* — ажурная шестерня; *44* — червячный редуктор.

На передней части станка расположено силовое оборудование — электродвигатель или двигатель внутреннего сгорания, на задней части — рабочая площадка.

Рама представляет собой сварную стальную конструкцию, опирающуюся на ходовое устройство станка в трех точках: двумя точками на заднюю опорную ось и одной — на качающуюся (балансирную) ось, расположенную в передней части станка.

Управление всеми механизмами станка, в том числе и электродвигателем, сосредоточено у рабочей площадки станка.

---

[1] В последних конструкциях станка БУ-2 привод механизма свертывания инструмента производится от главного вала станка.

Техническая характеристика станка БУ-2 «Уралец»

Глубина бурения, *м*	300
Диаметр скважины, *мм*	300
Вес бурового снаряда, *кг*	1300
Высота подъема бурового снаряда над забоем, *мм*	450—1100
Число ударов в 1 мин	52—56
Мощность двигателя, *квт*	16,5
Вес станка, *т*	11,1
Диаметр рабочего каната, *мм*	19
Грузоподъемность:	
инструментального барабана, *кг*	1500
желоночного барабана, *кг*	1000
Габариты станка с поднятой мачтой, *м*:	
высота	12,0
длина	6,0
ширина	2,7
Высота мачты до оси головного блока, *м*	11,6
Ход станка	гусеничный
Способ передвижения	самоходный
Скорость передвижения, *км/час*	0,9
Удельное давление гусеницами на грунт, *кг/см²*	0,7

Буровой станок БС-1

Этот мощный буровой ударно-канатный станок применяется для бурения скважин в крепких породах. По конструкции и кинематической схеме он близок станку БУ-2. Основными частями станка являются: рама, мачта, механическая часть с системой передач и силовое оборудование.

Техническая характеристика станка БС-1

Глубина бурения, *м*	300
Диаметр скважины, *мм*	300
Вес бурового снаряда, *кг*	1700
Высота подъема бурового снаряда над забоем, *мм*	600—1200
Число ударов в 1 мин.	48—52
Мощность двигателя, *квт*	32
Вес станка, *т*	20,8
Диаметр рабочего каната, *мм*	22
Грузоподъемность инструментального барабана, *кг*	2000
Габариты станка с поднятой мачтой, *м*:	
высота	15,0
длина	7,0
ширина	3,48
Высота мачты до оси головного блока, *м*	15,05
Ход станка	гусеничный
Способ передвижения	самоходный
Скорость передвижения, *км/час*	0,9
Удельное давление гусеницами на грунт, *кг/см²*	0,7

Примечание. Установка электродвигателя мощностью 70—75 *квт* дает возможность увеличивать вес бурового снаряда до 2700 *кг*.

§ 6. ПЕРЕДВИЖНЫЕ РОТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

При бурении разведочных гидрогеологических скважин роторным способом глубиной до 1000 *м* применяются передвижные станки. Передвижная буровая установка состоит из двух блоков — роторного и насосного, на которых монтируется все буровое оборудование, включая вышку и вспомогательные узлы.

Большое распространение получили несамоходные передвижные буровые установки БУ-40 Очерского и Сталинградского заводов, БА-40 и БА-40М Кунгурского завода.

Буровая установка БУ-40 (рис. XXVI-33,34)

Эта передвижная установка роторного бурения рассчитана для бурения скважин глубиной до 1000 *м* трубами $4^1/_2''$.

В комплект установки БУ-40 входят: лебедка с приводом, ротор, два грязевых насоса, складная вышка с кронблоком, талевым блоком,

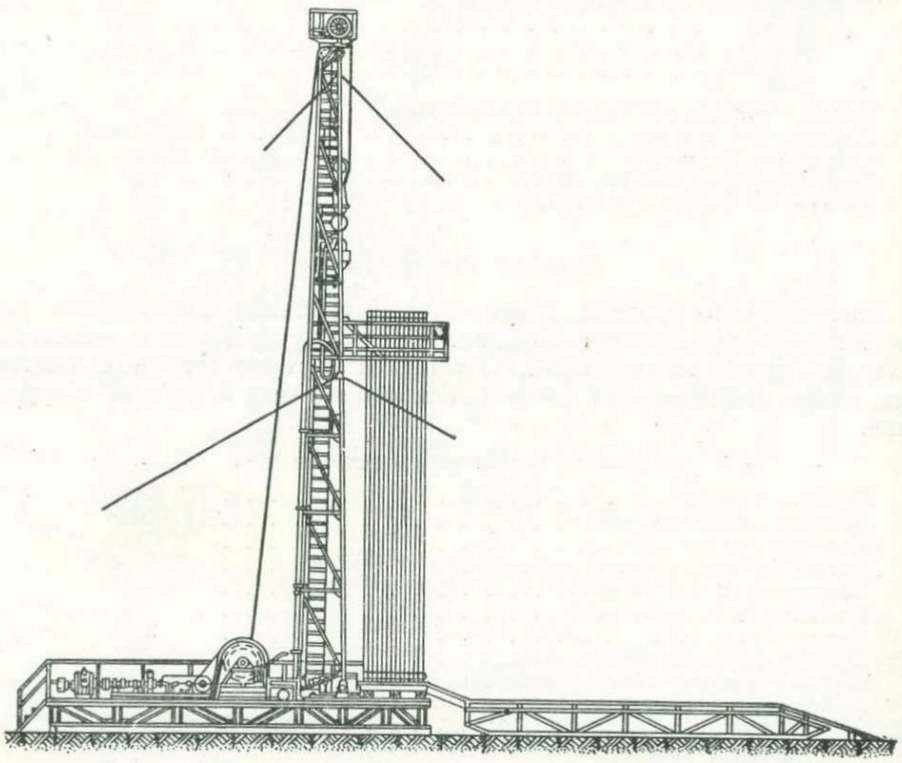


Рис. XXVI-33. Буровая установка БУ-40.

крюком и вертлюгом, металлическое основание под оборудование и вышку, мостики, глиномешалка и приспособление для хранения топлива. Привод буровой установки в действие осуществляется двумя дизелями В-2-300 мощностью по 300 *л. с.* каждый, с помощью четырехскоростной коробки передач. Один из двигателей резервный. При наличии электроэнергии дизели заменяются двумя электромоторами мощностью по 95 *квт* каждый.

Агрегат снабжен топливо-маслоустановкой, вмещающей запас смазочных продуктов и топлива.

Вспомогательное оборудование — топливо-маслоустановка, электростанция, глиномешалка, циркуляционная система и т. д. — не связано с монтажом основного оборудования и располагается параллельно ему.

Привод барабана лебедки цепной. Барабан включается при помощи фрикционной дисковой муфты. Ротор соединен с коробкой передач карданным валом.

Максимальная производительность каждого насоса при диаметре поршня $6^3/_4''$ (170 *мм*) достигает 24 *л/сек*. При поршне диаметром 100 *мм* насос подает 8 *л/сек* и развивает давление 150 *атм*. Насосы могут работать параллельно и порознь. Для облегчения монтажа насосы смонтированы на специальной раме и оборудованы насосной обвязкой.

Вышка установки БУ-40 состоит из четырех секций. Подъем ее осуществляется стрелой лебедки бурового станка. Свечи при подъема устанавливаются вертикально; верх их заводится в специальный магазин. Вышка может собираться из двух секций высотой 20 *м* и тогда длина свечей будет 12,5 *м*.

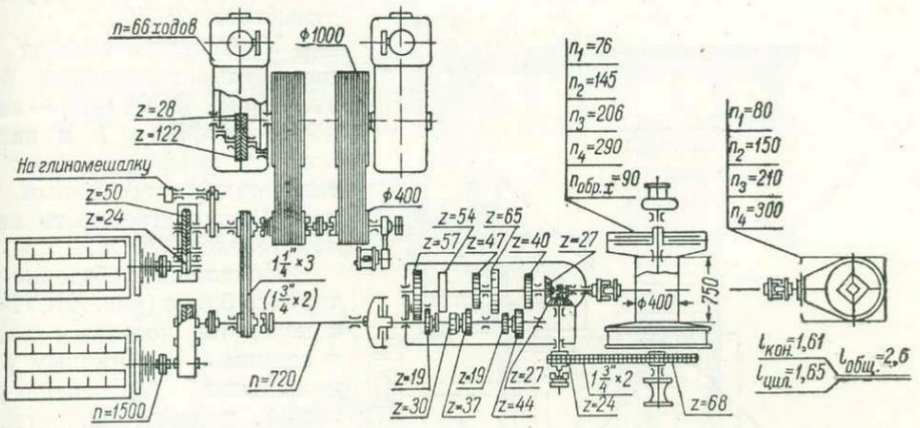


Рис. XXVI-34. Кинематическая схема установки БУ-40.

Основание под вышку и оборудование изготовляется сваркой из профильного проката в виде помоста и доставляется на место бурения в собранном виде.

Техническая характеристика БУ-40

Глубина бурения, *м*	1000
Диаметр бурильных труб, дюймы	4,5
Начальный диаметр скважины, *мм*	400
Грузоподъемность лебедки при оснастке талей 3 × 4, *кг*	40000
Скорость подъема крюка, *м/сек*	0,35; 0,65; 0,92; 1,3
Максимальное натяжение каната, *кг*	8000
Диаметр талевого каната, *мм*	22
Вес лебедки, *кг*	4680
Проходное отверстие ротора, *мм*	456
Вкладыши под квадрат, дюймы	4,1/2; 5,9/16; 6,5/8
Грузоподъемность вертлюга, *кг*	40000
Насос	НГ-150
максимальная производительность, *л/сек*	24
максимальное давление, *атм*	150
диаметр сменных поршней, *мм*	170, 150, 120, 100
производительность, *л/сек*	24, 19, 12, 8
давление, *атм*	50, 60, 100, 150
Вес со шкивом и салазками, *кг*	8200
Глиномешалка двухвальная, емкость, $м^3$	3
Вес глиномешалки, *кг*	2620

Емкость приемных чанов (два), $м^3$	по 8
Общая длина желобной системы, $м$	40
Высота вышки, $м$	40
Длина свечей, $м$	25
Площадка под установку, $м$	70×20
Двигатель	В2-300
Количество двигателей	2
Мощность двигателя, $л.с.$	300
Число оборотов вала двигателя, об/мин	1500

Буровой агрегат БА-40 «Восток» (рис. XXVI-35,36,37)

Передвижная установка предназначена для бурения разведочных, гидрогеологических и эксплуатационных скважин (бурильными трубами диаметром $4^1/_2''$), а также поисковых скважин (бурильными трубами диаметром $2^7/_8''$).

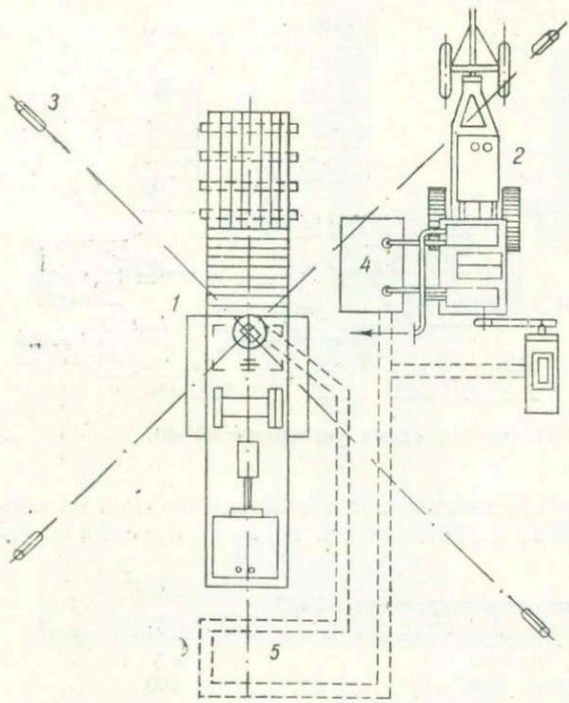


Рис. XXVI-35. Схема установки бурового агрегата БА-40 «Восток» на точке бурения.

1 — лебедочно-роторный блок; *2* — насосный блок; *3* — растяжки для мачты; *4* — приемный чан; *5* — желоба.

Установка состоит из двух самостоятельных блоков (рис. XXVI-35) — лебедочно-роторного *1* и насосного *2*, смонтированных на тележках с гусеничным ходом. Грузоподъемность каждой тележки 20 *т*.

На тележке лебедочно-роторного блока (рис. XXVI-36) с передним колесным ходом и задним — гусеничным расположены: двигатель-дизель *2*, коробка скоростей *3*, лебедка *4* и ротор *5*. Для большей точности и прочности все механизмы смонтированы на общей раме, установленной на тележке. На одном конце рамы находится двигатель внутреннего сгорания, работающий через понижающий редуктор. Мощность двигателя передается через карданный вал *6* коробке скоростей *3*, имеющей пять прямых скоростей и одну обратную. К коробке скоростей привернут цилиндрический редуктор, изменяющий направление вращения и число оборотов вала. Коробка скоростей и редуктор соединены постоянной зубчатой муфтой.

От цилиндрического редуктора вращение передается на вал углового, который передает вращение через кулачковую муфту к валу лебедки *4*. Включение и выключение барабана лебедки производится также при помощи муфты.

Для работы с буровым инструментом около ротора устроена площадка под свечи и наклонный приемный мост *10*.

На тележке *1* насосного блока (рис. XXVI-37) с передним колесным и задним гусеничным ходом установлены двигатель-дизель *2* и два приводных насоса *3*. Насосы приводятся в действие от трансмиссии *4* при помощи клиновых ремней. Передача вращения от двигателя на трансмиссию осуществляется через карданный вал *5*. Привод глиномешалки осуществляется шкивом *6*, установленным на продолжении вала трансмиссии.

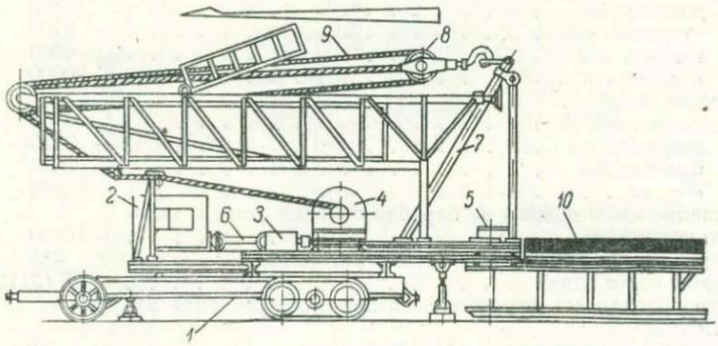


Рис. XXVI-36. Лебедочно-роторный блок бурового агрегата БА-40 «Восток».

1 — тележка; *2* — двигатель-дизель; *3* — коробка скоростей; *4* — лебедка; *5* — ротор; *6* — карданный вал; *7* — стойка; *8* — талевый блок; *9* — талевый канат; *10* — приемный мост.

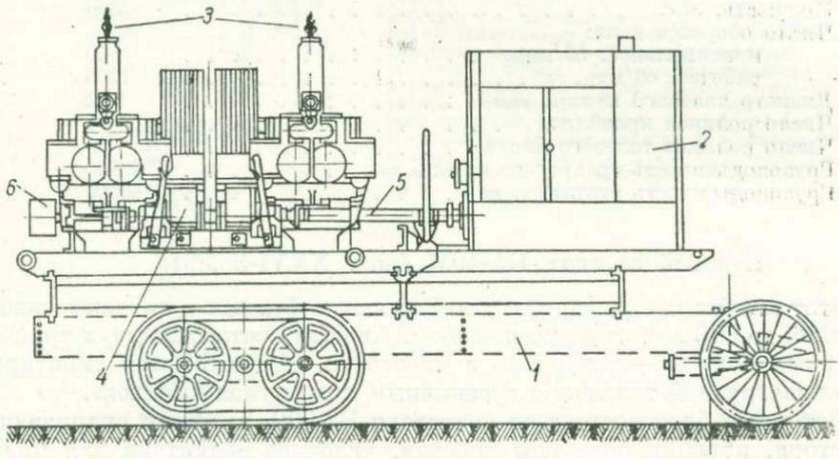


Рис. XXVI-37. Насосный блок бурового агрегата БА-40 «Восток».

1 — тележка; *2* — двигатель-дизель; *3* — приводные насосы; *4* — трансмиссии; *5* — карданный вал; *6* — шкив.

Желобная система для очистки глинистого раствора расположена с правой по ходу стороны лебедочно-роторного блока и позади его.

Агрегат БА-40 «Восток» имеет металлическую вышку, сделанную из углового железа в виде двух ферм, вставленных одна в другую. Верхняя (выдвижная) ферма снабжена кронблоком и в выдвинутом положении опирается на специальные откидные опоры нижней фермы. Нижняя ферма вышки имеет полати, закрепленные на шарнирах. Во время перевозки полати лежат горизонтально на вышке, а при вертикальном положении они выравниваются и укрепляются подкосами.

Техническая характеристика установки БА-40 «Восток»

Глубина бурения, *м*	800
Начальный диаметр скважины, *мм*	300
Диаметр бурильных труб, дюймы	$4^1/_2$
Вышка:	
основание, *мм*	1375—2100
высота, *мм*	19150
грузоподъемность на крюке, *кг*	40000
Лебедочно-роторный блок:	
длина, *мм*	15895
ширина, *мм*	2700
высота, *мм*	4800
вес, *кг*	20000
Насосный блок:	
длина, *мм*	6700
ширина, *мм*	2725
высота, *мм*	3050
вес, *кг*	10676
Натяжение набегающего на барабан лебедки конца талевого каната, *кг*	10400
Размер проходного отверстия стола ротора, *мм*	335
Грязевой насос (два)	БГ (2112)
Производительность одного насоса при коэффициенте наполнения 0,9:	
при диаметре втулки 150 *мм*, *л/сек*	12
при диаметре втулки 115 *мм*, *л/сек*	6,6
Давление:	
при диаметре втулки 150 *мм*, *кг/см*^{2}	80
при диаметре втулки 115 *мм*, *кг/см*^{2}	150
Двигатель (два)	В2-300
Мощность, *л. с.*	300
Число оборотов вала:	
максимальное, об/мин.	1500
рабочее, об/мин.	1200
Диаметр талевого каната, *мм*	22
Число роликов кронблока	4
Число роликов талевого блока	3
Грузоподъемность трехрогого крюка, *кг*	40000
Грузоподъемность вертлюга, *кг*	40000

Буровой агрегат БА-40М (рис. XXVI-38,39)

Этот станок предназначен для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 800 *м* роторным способом. Агрегат состоит из двух транспортабельных блоков — роторного и насосного. Каждый блок смонтирован на большегрузной тележке с гусеничным ходом типа «Восток».

Роторный блок состоит из двигателя В2-300, углового спаривающего редуктора, коробки перемены передач, углового редуктора для привода лебедки, бурильной лебедки, ротора, фрикционной муфты, телескопической вышки с кронблоком, талевого блока с крюком и вертлюга.

Насосный блок состоит из двигателя В2-200, насосной трансмиссии и двух грязевых насосов ЗЦИ.

Оборудование бурового агрегата смонтировано на двух гусеничных тележках, что создает высокую маневренность агрегата в условиях бездорожья, а также дает возможность быстро монтировать и демонтировать оборудование. Все это в сочетании с высокой мощностью двигателей дает высокие технические показатели бурения скважин. Гусеничные тележки служат основанием агрегата. В процессе бурения насосный блок поддерживается дополнительно домкратами, а роторный — домкратами и подсвечником. Агрегат имеет четырехдюймовую рабочую квадратную трубу,

бурильные ключи и передвижную зарядно-осветительную станцию мощностью 1,5 *квт* с приводом от бензинового двигателя.

Управление всеми механизмами роторного блока сосредоточено у поста бурильщика. Передвижение агрегата осуществляется двумя тягачами.

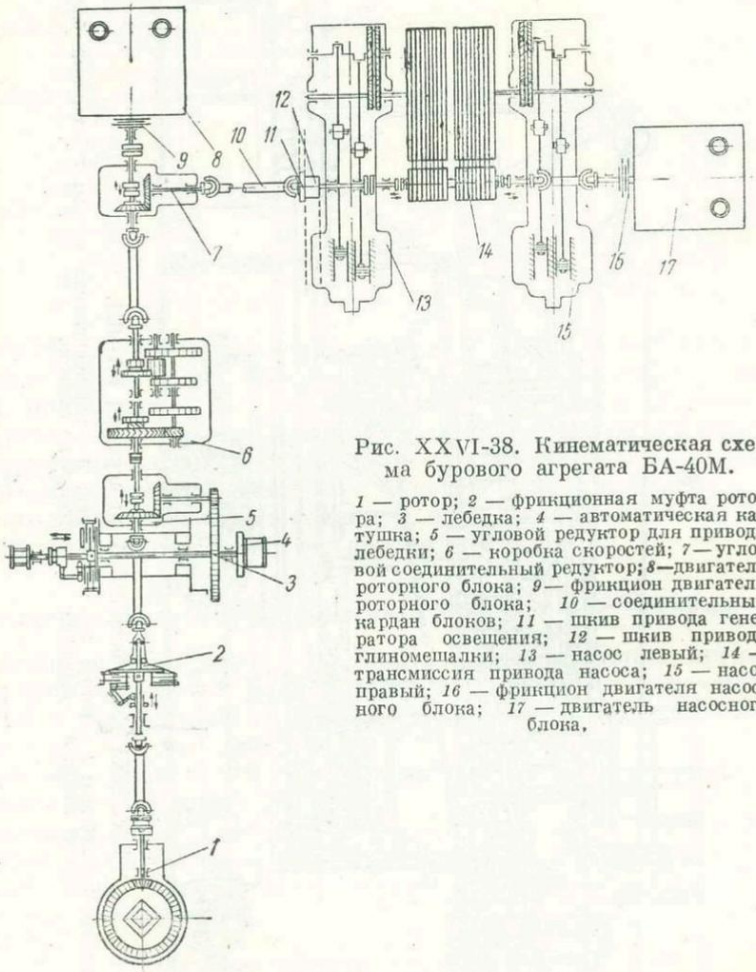


Рис. XXVI-38. Кинематическая схема бурового агрегата БА-40М.

1 — ротор; *2* — фрикционная муфта ротора; *3* — лебедка; *4* — автоматическая катушка; *5* — угловой редуктор для привода лебедки; *6* — коробка скоростей; *7* — угловой соединительный редуктор; *8* — двигатель роторного блока; *9* — фрикцион двигателя роторного блока; *10* — соединительный кардан блоков; *11* — шкив привода генератора освещения; *12* — шкив привода глиномешалки; *13* — насос левый; *14* — трансмиссия привода насоса; *15* — насос правый; *16* — фрикцион двигателя насосного блока; *17* — двигатель насосного блока.

Техническая характеристика агрегата БА-40М

Грузоподъемность на крюке, *кг*	40000
Глубина бурения четырехдюймовым инструментом, *м*	800
Начальный диаметр скважины, *мм*	335
Диаметр бурильных труб, дюймы	$4^1/_2$
Тип двигателя	В2-300
Число двигателей	2
Мощность двигателя, *л. с.*	300
Оснастка талевой системы	3 × 4
Диаметр каната, *мм*	21,5
Максимальное натяжение каната на барабан, *т*	10,4
Диаметр проходного отверстия ротора, *мм*	355
Число оборотов стола ротора, об/мин.:	
I скорость	37.7
II скорость	83

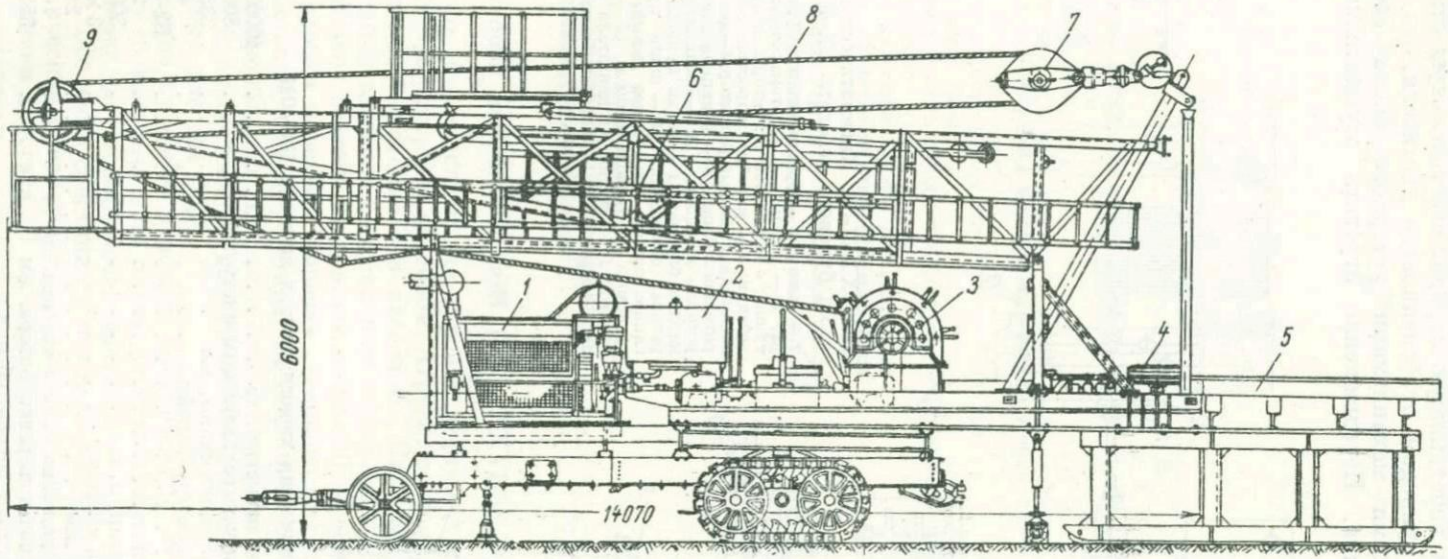


Рис. XXVI-39. Роторный блок агрегата БА-40М.

1 — двигатель; *2* — коробка скоростей; *3* — лебедка; *4* — ротор; *5* — подсвечник; *6* — телескопическая вышка; *7* — талевый блок; *8* — талевый канат; *9* — кронблок; *10* — гусеничные тележки.

III скорость	180
IV скорость	395
Обратный ход, об/мин	83
Высота вышки от стола ротора, *м*	19
Размеры нижнего основания, *м*:	
ширина	2,1
длина	1,375
Грязевой насос (два):	
максимальное давление, *атм*	80
производительность, *л/сек*	44
Габариты роторного блока в транспортном положении, *мм*:	
длина	14070
ширина	2700
высота	6000
вес с тележкой, *кг*	27700
Габариты насосного блока, *мм*:	
длина	8700
ширина	2840
высота	3700
вес с тележкой, *кг*	19560

Для проходки глубоких скважин (до 3000 *м* и более) на нефть и газ, часто одновременно вскрывающих водоносные горизонты с напорными водами, применяются тяжелые установки роторного и турбинного бурения. Кроме того, глубокое бурение применяется для вскрытия и опробования промышленных вод, связанных с глубокозалегающими водоносными горизонтами. Описание установок тяжелого типа, вследствие их специфического назначения, здесь не дается, но приводится литература, в которой можно найти основные сведения по ним.

Установка разведочного бурения УРБ-3АМ (рис. XXVI-40 и 41)

Установка разведочного бурения № 3 на автомашине предназначена для бурения поисковых скважин глубиной до 300 *м* с конечным диаметром $5^3/_4''$ и структурных скважин глубиной до 500 *м* с конечным диаметром 76 *мм*.

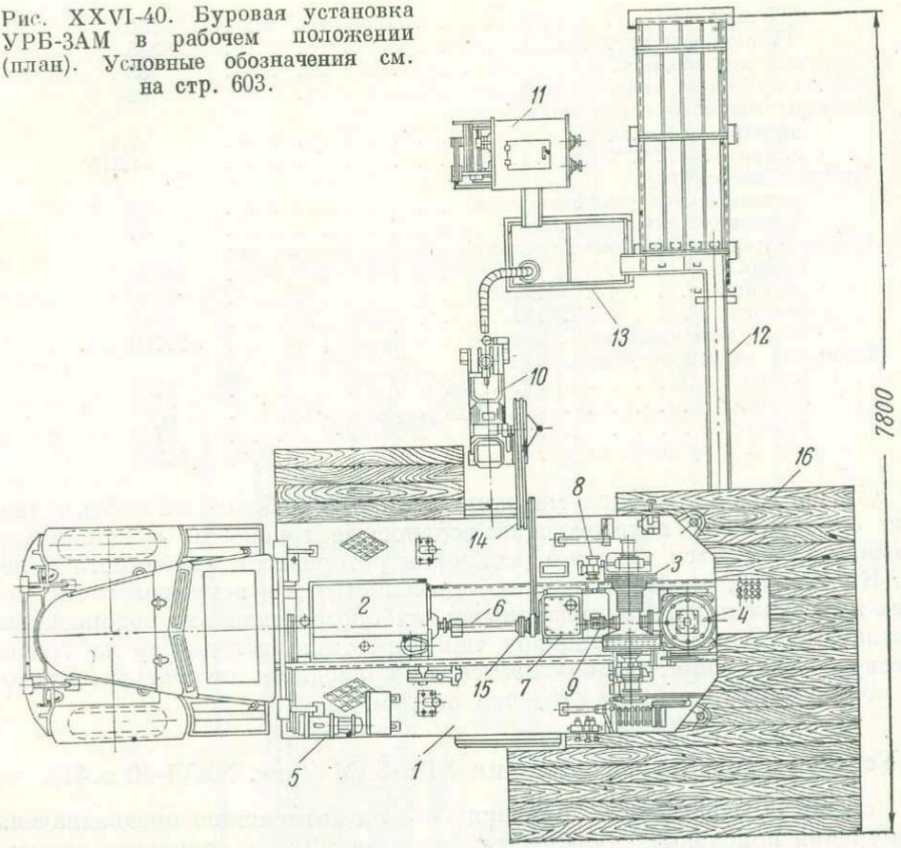
При этом бурение скважин можно производить сплошным забоем и кольцевым с получением керна.

Все механизмы установки с двигателем и мачтой смонтированы на платформе автомашины МАЗ-200 и транспортируются в собранном виде. Грязевой насос, глиномешалка и циркуляционная система устанавливаются вне автомашины.

Техническая характеристика установки УРБ-3АМ

Максимальная глубина бурения, *м*:	
бурильными трубами $2^7/_8''$ и $3^1/_2''$	300
бурильными трубами *d* 60,3 *мм* с приварными резьбовыми концами	500
Диаметр скважины начальный, дюймы	$13^3/_4$
Диаметр скважины конечный, дюймы	3
Мачта складывающаяся:	
высота мачты, *м*	16
рабочая грузоподъемность, *т*	15
подъем мачты	Двумя гидравлическими домкратами
Габариты установки в транспортном положении, *м*:	
длина	10,7
ширина	2,8
высота	3,4

Рис. XXVI-40. Буровая установка УРБ-3АМ в рабочем положении (план). Условные обозначения см. на стр. 603.



Общий вес установки с мачтой без автомашины, *кг*	6850
Общий вес установки с автомашиной, *кг*	13700
Ротор:	
Проходное отверстие стола, *мм*	250
Статическая грузоподъемность стола, *кг*	5000
Число оборотов ротора в минуту:	
при I скорости	109,6
при II скорости	189,6
при III скорости	313,6
Обратный ход	46,2
Лебедка:	
Максимальное натяжение каната, *кг*	2800
Скорости подъема серьги при оснастке талей 2,1, *м/сек*:	
при I скорости	0,51
при II скорости	0,87
при III скорости	1,45
Включение барабана	фрикционное
Тормоз	одноленточный, простого действия
Коробка скоростей:	
число прямых скоростей коробки	3
число обратных скоростей коробки	1
передаточные числа	$i_1=0{,}42$
	$i_2=0{,}729$
	$i_3=1{,}2$
	$i_4=5{,}6$

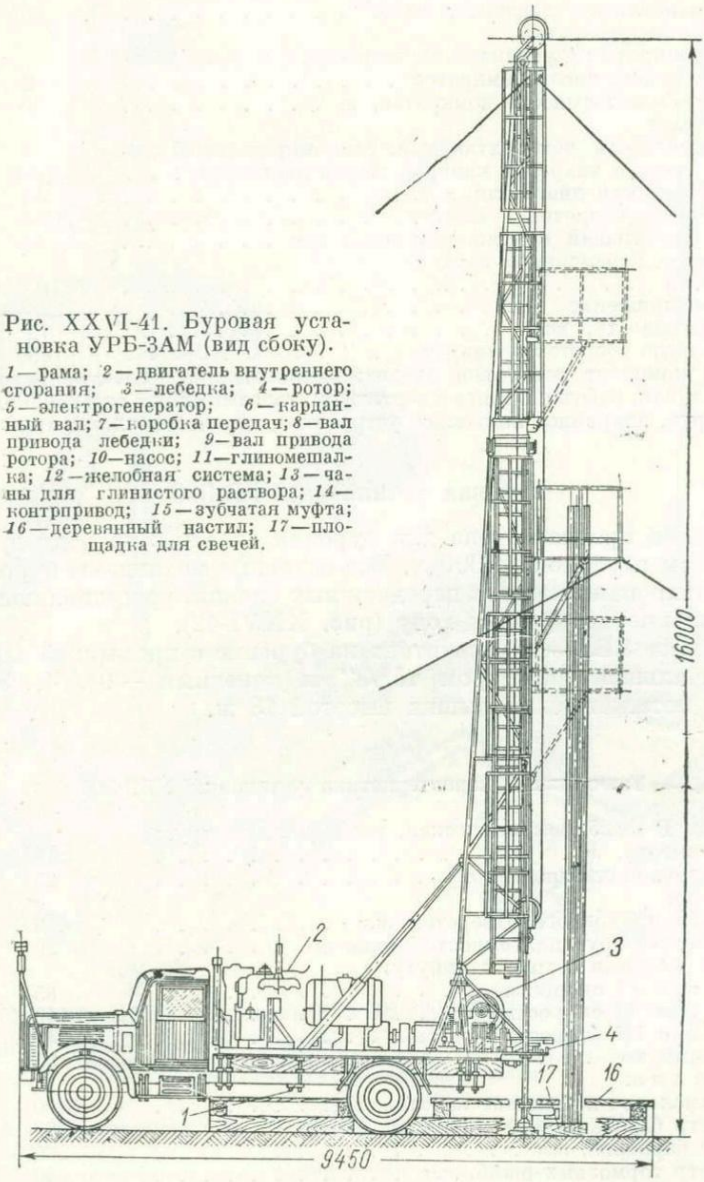


Рис. XXVI-41. Буровая установка УРБ-3АМ (вид сбоку).

1—рама; *2*—двигатель внутреннего сгорания; *3*—лебедка; *4*—ротор; *5*—электрогенератор; *6*—карданный вал; *7*—коробка передач; *8*—вал привода лебедки; *9*—вал привода ротора; *10*—насос; *11*—глиномешалка; *12*—желобная система; *13*—чаны для глинистого раствора; *14*—контрпривод; *15*—зубчатая муфта; *16*—деревянный настил; *17*—площадка для свечей.

Насос промывочный,[1] грязевой, поршневой, горизонтальный, двухцилиндровый, двойного действия:

марка насоса	ЗИФ 200/40
производительность насоса, *л/мин*	200
рабочее давление насоса, *кг/см*^{2}	40
число двойных ходов поршня в минуту	75

[1] В последних выпусках насос ЗИФ 200/40 снят и поставлен грязевой, поршневой горизонтальный, двухцилиндровый, двойного действия насос марки 11-ГР.

наибольшая производительность насоса, *л/мин*	300
наибольшее давление, *кг/см²*	80
Аварийные домкраты:	
домкраты гидравлические, встроенные в раму установки, число домкратов	2
грузоподъемность домкратов, *т*	40
Двигатель:	
двигатель четырехтактный, бескомпрессорный дизель с вихревой камерой, марка двигателя	Д-54
мощность двигателя, *л. с.*	54
число оборотов в минуту	1300
наибольший крутящий момент, *кгм*	35
Генератор переменного тока:	
тип	АПНТ-85
напряжение	220/380
мощность, *квт*	7,2
число оборотов в минуту	1450

В комплект установки входят: глиномешалка с электроприводом, желоба, бак, рабочая штанга с вертлюгом, талевый блок с серьгой, клинья для труб, аварийное подъемное устройство, переносные домкраты.

Буровая установка УБВ-300

Установка предназначена для бурения скважин на воду вращательным способом глубиной до 300 *м*. Все основные механизмы буровой установки смонтированы на двух передвижных блоках, представляющих собой прицепы на пневматическом ходу (рис. XXVI-42).

Установка УБВ-300 рассчитана на бурение с промывкой забоя скважин с начальным диаметром $15^3/_4''$ и конечным — $9^3/_4''$. Установке придается металлическая вышка высотой 18 *м*.

Техническая характеристика установки УБВ-300

Вышка В-18/25 металлическая, разборная, из труб:	
высота, *м*	18
грузоподъемность, *т*	25
Ротор:	
Диаметр проходного отверстия, *мм*	410
Статическая грузоподъемность стола, *т*	20
Число оборотов ротора в минуту:	
при I скорости	85
при II скорости	146
при III скорости	241
Обратный ход	35
Лебедка:	
Максимальное натяжение каната, *кг*	3600
Диаметр барабана, *мм*	380
Длина барабана, *мм*	500
Диаметр тормозных шайб, *мм*	640
Длина каната *d* 16,5 *мм*, наматываемого на барабан лебедки, *м*	303
Длина каната *d* 12,5 *мм*, наматываемого на барабан лебедки, *м*	400
Скорость навивки каната на барабан лебедки, *м/сек*:	
при I скорости	1,36
при II скорости	2,33
при III скорости	3,85
Грязевой насос 9-ГР:	
Диаметр сменных втулок, *мм*	100, 115, 125
Производительность при 90 оборотах коленчатого вала в минуту, *л/сек*	9,75; 13,75; 15,7
Максимальное давление, *кг/см²*	39, 29, 24

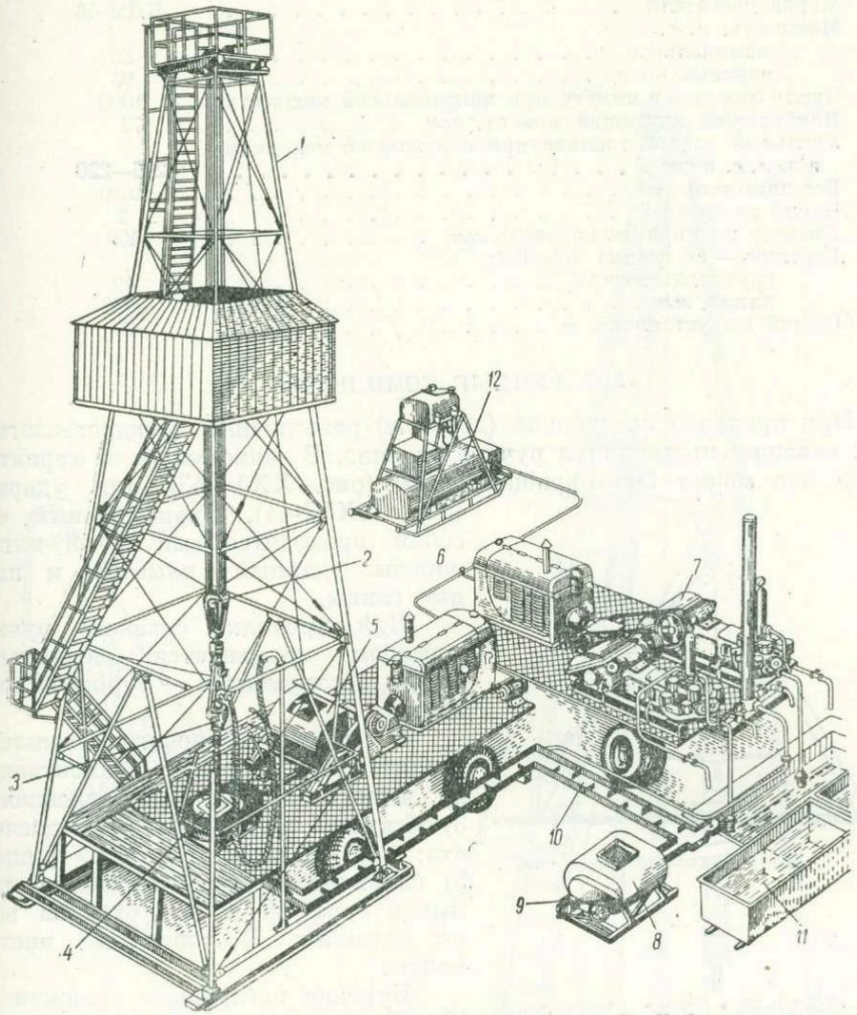


Рис. XXVI-42. Буровая установка УБВ-300. (по В. В. Дубровскому и др.).

1 — вышка; *2* — талевый блок; *3* — вертлюг; *4* — ротор; *5* — лебедка; *6* — двигатель ДКМ-46; *7* — насос; *8* — глиномешалка; *9* — электродвигатель; *10* — желобная система; *11* — емкости; *12* — емкости для топлива и смазки.

Производительность при 44 об/мин. коленчатого вала насоса, *л/сек*	4,77; 6,44; 7,68
Давление при 44 об/мин. коленчатого вала, *кг/см*^{2}	80, 60, 50
Вес насоса (без шкива), *кг*	2270
Число насосов	2 (1)
Генератор АПНТ-85 (для освещения и привода электродвигателя глиномешалки):	
мощность, *квт*	7,2
число оборотов в минуту	1500
привод	тремя клиновыми ремнями типа «*Б*»

Двигатель:

Двигатель является четырехцилиндровым, четырехтактным, бескомпрессорным дизелем с предкамерным распыливанием топлива

Марка двигателя	КДМ-46
Мощность, *л. с.*	
номинальная	80
максимальная	93
Число оборотов в минуту при максимальной мощности	1000
Наибольший крутящий момент, *кгм*	72
Удельный расход топлива при наибольшей мощности *г/э. л. с.* в час	205—220
Вес двигателя, *кг*	2030
Число двигателей	2
Диаметр роликов (по канавке), *мм*	400
Вертлюг — со станка БА-40М:	
грузоподъемность, *т*	40
длина, *мм*	2730
Общий вес установки, *т*	20

§ 7. РУЧНЫЕ КОМПЛЕКТЫ

При проходке неглубоких (до 50 *м*) разведочных и гидрогеологических скважин применяется ручное бурение. В зависимости от характера пород оно может быть вращательным (рис. XXVI-43) или ударным (рис. XXVI-44). Вращательным способом проходятся сыпучие и мягкие породы, ударным — плывуны и плотные глины.

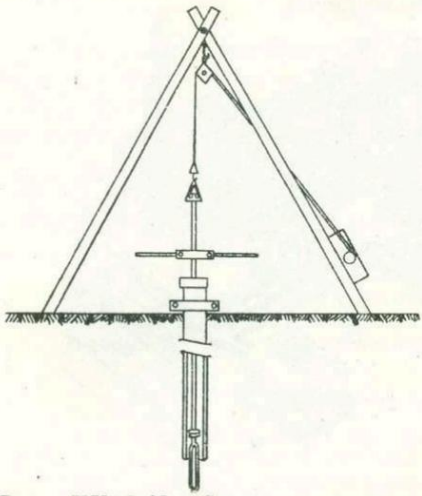


Рис. XXVI-43. Схема установки для вращательного бурения.

При проходке скважин ручным способом применяется специальный набор инструментов — буровой комплект.

В состав бурового комплекта входят: 1) буровые наконечники; 2) штанги и их принадлежности; 3) обсадные трубы и их принадлежности; 4) буровая вышка (копер); 5) балансир; 6) устройство для промывки скважин и для откачки воды из скважин; 7) ловильные инструменты.

Бурение неглубоких скважин (до 10—15 *м*) и малых диаметров (до 4″) обычно ведется без вышек.

Различают следующие буровые комплекты:

2″ (50 *мм*)	глубина 25 *м*
3″ (75 *мм*)	до 40 *м*
4,5″ (113 *мм*)	до 50 *м*
6″ (150 *мм*)	до 50 *м*

§ 8. БУРОВЫЕ ВЫШКИ

При бурении для производства спуска бурового инструмента и обсадных труб в скважину и подъема их из нее служат буровые вышки.

Буровая вышка состоит из собственно вышки (копра) и откоса (сарая). Откос служит для размещения бурового оборудования и для защиты рабочих и агрегата от атмосферных влияний. Буровые вышки в зависимости от глубины скважины и условий работы могут быть в виде треноги, вышки-копра и мачты.

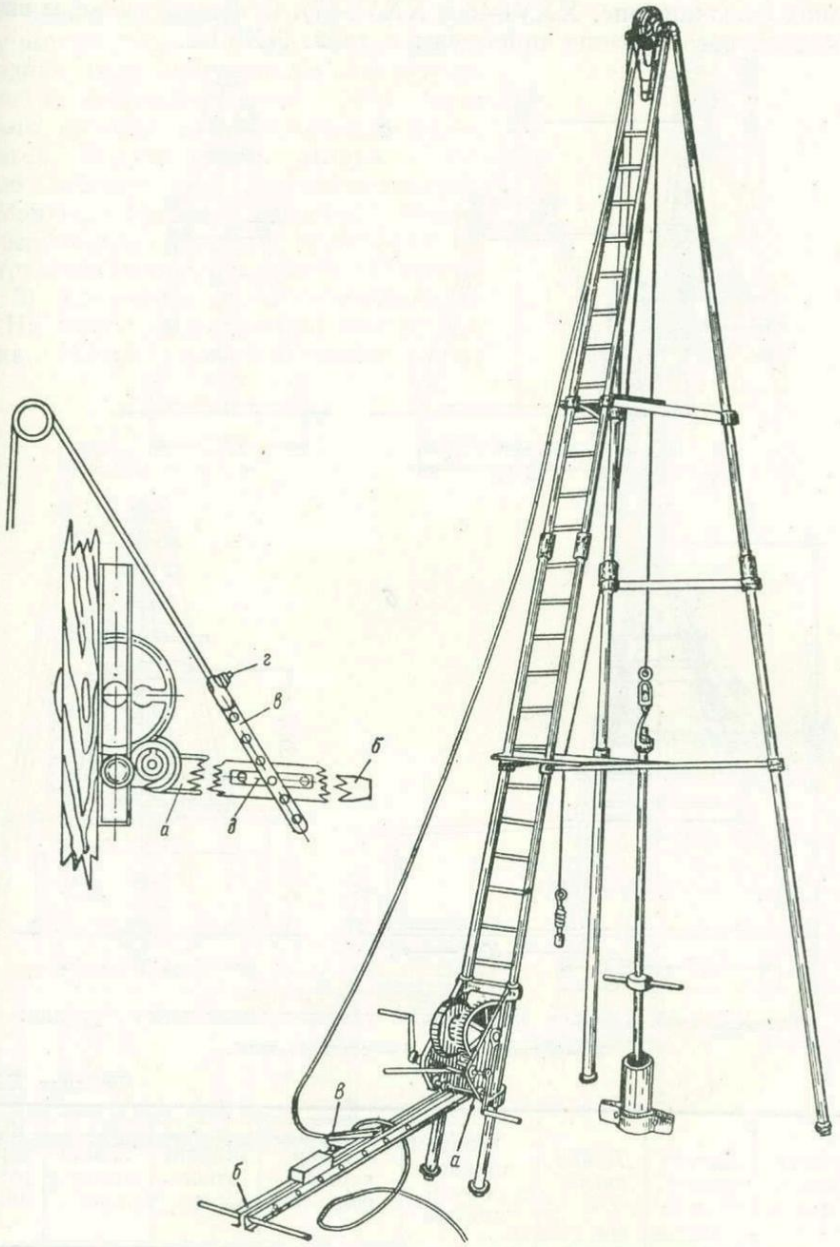


Рис. XXVI-44. Установка для ручного бурения с балансиром.
а — головная часть балансира; *б* — балансир; *в* — уравнительная планка; *г* — канатный зажим; *д* — шкворень.

Треноги. Треноги — высотой от 6 до 15 *м* применяются при ручном ударно-вращательном бурении скважин глубиной до 50 *м* и при колонковом бурении — до 300 *м* (рис. XXVI-45).

Вышки-копры. Четырехногие копры применяются при бурении более глубоких скважин (рис. XXVI-46 и XXVI-47). Основные размеры вышек для колонкового бурения приведены в табл. XXVI-2.

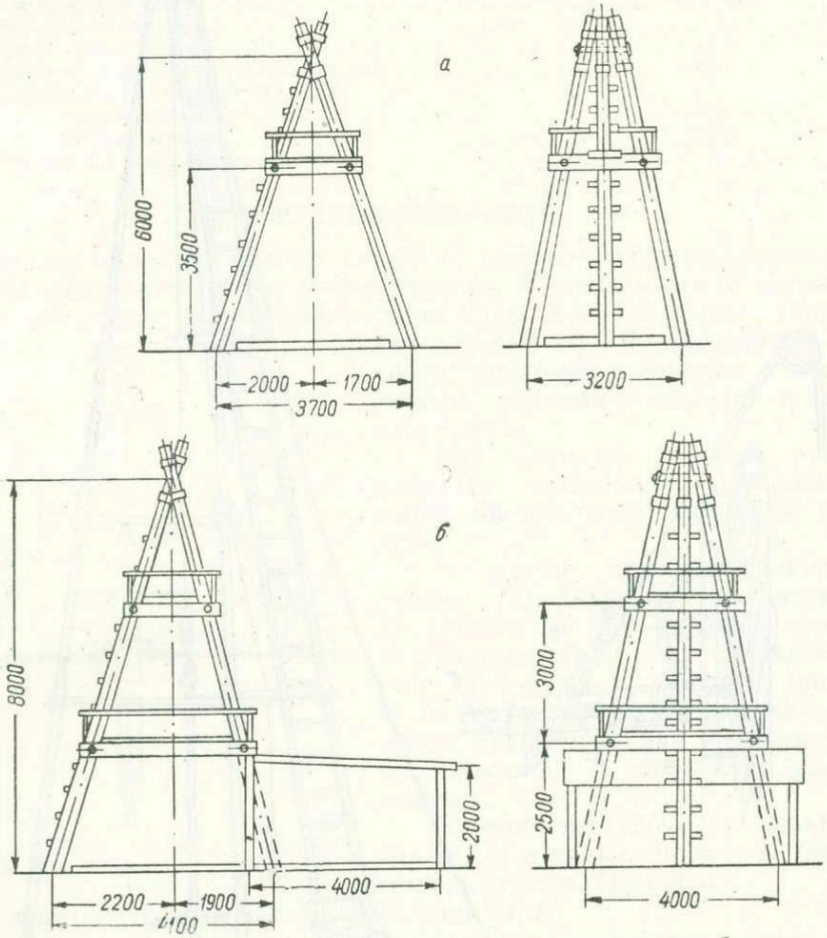


Рис. XXVI-45. Треноги для ручного ударно-вращательного бурения:
а — легкого типа; *б* — среднего типа.

Таблица XXVI-2

Глубина бурения, *м*	Высота вышки, *м*	Длина свечи, *м*	Размер нижнего основания, *м*	Размер верхней рамы, *м*	Ширина откоса, *м*	Длина откоса, *м*	Высота верхних рабочих полатей, *м*
0—200	9	6	4×4	1×1	4	4,5	5
200—400	12	9	4,5×4,5	1,25×1,25	4,5	4,5	8
400—600	15	12	5×5	1,5×1,5	5	5	11
600—1200	18—22	15—18	6×6	1,6×1,6	6	5	14—17

Металлические вышки в настоящее время постепенно вытесняют деревянные, так как они легче деревянных, долговечнее и более огнеустойчивы. Во избежание опрокидывания вышки, кроме крепления к фундаменту, закрепляются растяжками.

В целях экономии времени на перевозку вышек с одной точки на другую за последние годы применяется переброска вышек в собранном виде. Для этого брусьям нижней рамы придается форма полозьев. Передвигаются вышки с помощью лебедок или тракторов-тягачей.

Мачты. Мачты заменяют вышки в передвижных буровых агрегатах. По конструкции мачты различают: 1) шестовые, 2) А-образные и 3) комбинированные. На мачте закрепляются сверху два ролика. Мачты чаще изготовляются из труб или фасонного железа. В целях удобства перевозки и монтажа высокие мачты делаются телескопическими или складывающимися.

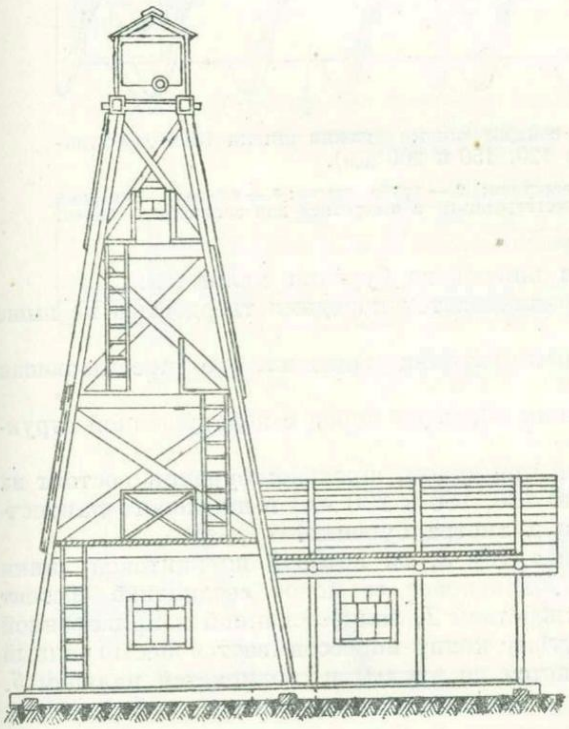


Рис. XXVI-46. Бревенчатая вышка.

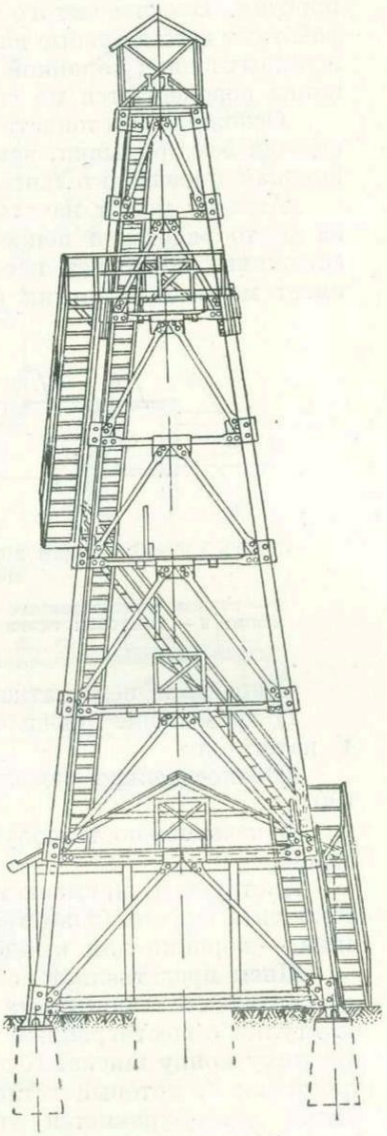


Рис. XXVI-47. Металлическая вышка для колонкового бурения.

§ 9. МЕХАНИЧЕСКОЕ БУРЕНИЕ НЕГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Шнековое бурение

Шнековое бурение скважин производится сплошным забоем в сухих породах. В основе этого вида бурения положен принцип, по которому работают вертикальные винтовые конвейеры. Колонна шнеков вращается, а разрыхленная коронкой порода под влиянием сил трения о стенки скважины перемещается по спирали шнеков вверх.

Основным достоинством шнекового бурения является то, что оно ведется без промывки, чем упрощается организация работ и достигается высокая производительность — от 40 до 200 *м* в смену.

Агрегат может начать бурение через 20—30 минут после прибытия на место работы, а непрерывная выдача разбуренной породы к устью скважины исключает необходимость ведения работ циклами, как это имеет место при других видах бурения.

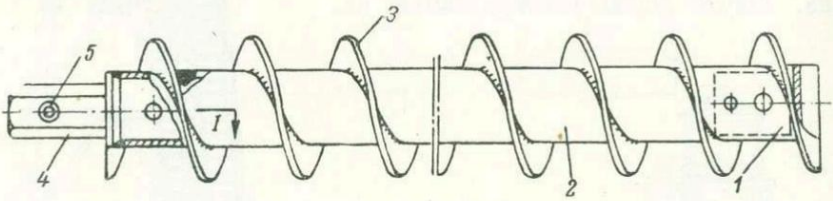


Рис. XXVI-48. Общий вид секции шнека (длина шнека 1300 *мм*, диаметр 120, 150 и 200 *мм*).

1 — втулка с шестигранным отверстием; *2* — труба шнека; *3* — спираль—стальная лента; *4* — хвостовик замка (шестигранный) с отверстием для пальца; *5* — палец.

Основными недостатками шнекового бурения являются:

1) применение шнека ограничивается породами твердостью не выше V категории;

2) относительно небольшая глубина скважин, не превышающая 100 *м*;

3) невозможность получения образцов пород с ненарушенной структурой.

Инструмент, применяемый при сухом, шнековом бурении, состоит из комплекта шнеков (диаметрами 120, 150 и 200 *мм*) и шнекового наконечника — коронки для каждого диаметра бурения.

Шнек представляет собой трубу *2*, на которой по винтовой линии приварена стальная лента *3*. Шнековое замковое соединение состоит из втулки с шестигранным отверстием *1*, запрессованной и приваренной к одному концу шнека. К другому концу впрессовывается шестигранный хвостовик *4*, который вставляется во втулку и соединяется пальцем *5*. Палец предохраняется от выпадания пружинным фиксатором (рис. XXVI-48).

Коронка шнека состоит из стального корпуса *1* с тремя лопастями. Лопасти имеют ступенчатые резцы, в которые впаяны пластинки твердого сплава. Для сохранения диаметра скважины по наружному диаметру лопастей впаяны восьмигранники из твердого сплава. Соединение коронки со шнеком осуществляется таким же шестигранным замком, как и у секций шнеков *3*. Диаметр коронки несколько больше, чем диаметр секции шнека (рис. XXVI-49).

Для отбора проб грунта применяется специальный колонковый магазинный шнек, представляющий собой трубу большего, чем у бурового шнека диаметра, к наружной поверхности которой приварена спираль. С одного конца трубы укреплена на резьбе зубчатая, армированная

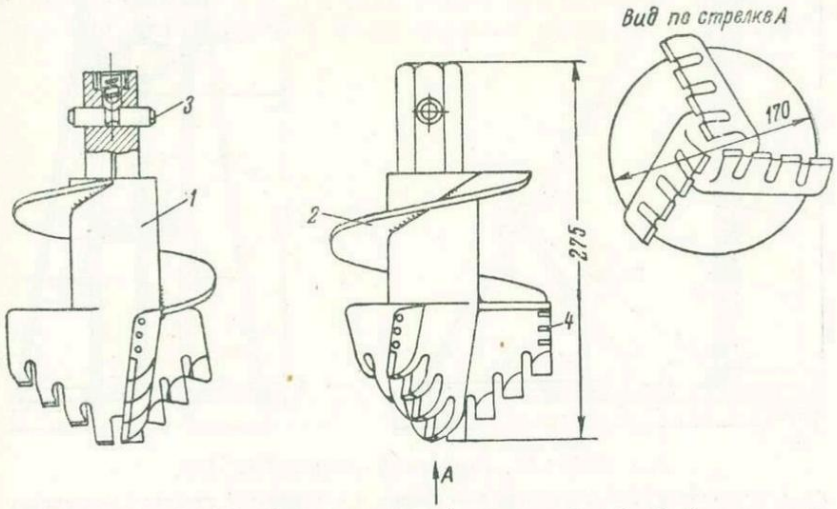


Рис. XXVI-49. Общий вид трехперой коронки (по В. В. Сермягину).

1 — корпус коронки; *2* — спираль; *3* — замок для соединения коронки со шнеком; *4* — пластины твердого сплава.

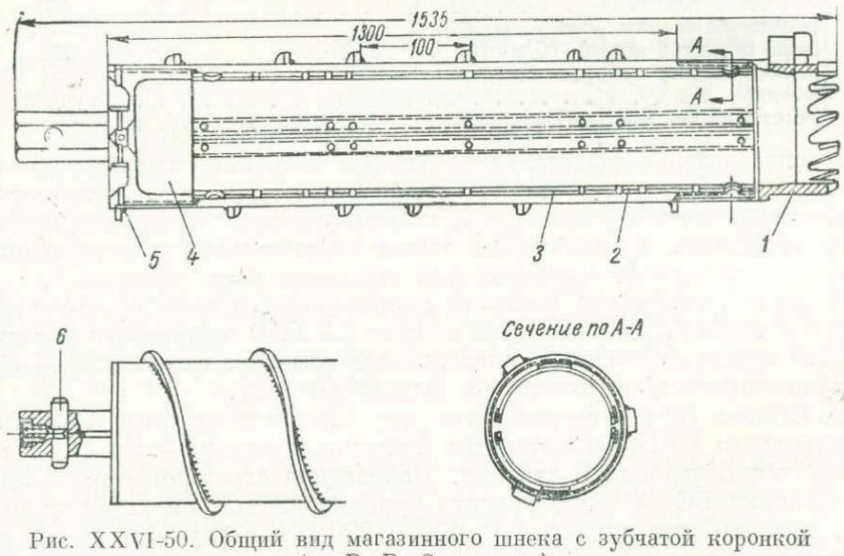


Рис. XXVI-50. Общий вид магазинного шнека с зубчатой коронкой (по В. В. Сермягину).

1 — зубчатая коронка; *2* — труба магазинного шнека; *3* — магазин для отбора проб; *4* — переходник; *5* — кольцо; *6* — замок.

пластинками твердого сплава, коронка *1*. Внутри трубы помещается магазин, состоящий из двух долевых половинок тонкостенной трубы *3* (рис. XXVI-50). Для шнекового бурения разработано несколько типов буровых станков.

1. Самый легкий — передвижной станок ПБС-110 (рис. XXVI-51).

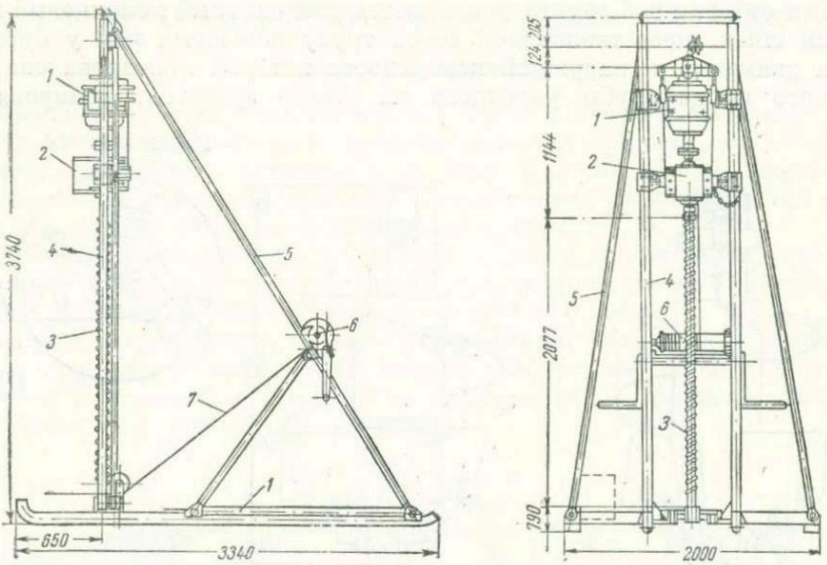


Рис. XXVI-51. Шнековый станок ПБС-110.

1 — электромотор; *2* — редуктор; *3* — шнеки; *4* — трубчатые стойки; *5* — станина; *6* — ручная лебедка; *7* — трос.

Техническая характеристика станка ПБС-110

Глубина бурения, *м*	25
Диаметр скважины, *мм*	110—125
Число оборотов шнека, об/мин	220
Привод—электромотор, мощностью, *квт*	10
Лебедка	ручная
Вес станка без инструмента, *кг*	495

Производительность станка по углю и некрепким породам 40—60 *м* в смену. Принцип работы станка ПБС-110 следующий: от электромотора *1* вращение передается редуктору *2*, к которому присоединяются шнеки *3*. Электродвигатель с редуктором имеют вертикальные перемещения по трубчатым стойкам *5*, составляющим переднюю часть станины *5*.

Подъем инструмента (шнеков) производится с помощью ручной лебедки *6* и троса *7*. Длина секций шнеков 1,3 *м*. В последние годы станок ПБС-110 модернизирован. Ручная лебедка заменена механической и разработана конструкция станка на шагающем ходу.

2. Станок БС-3А смонтирован на базе автомашины ГАЗ-63. Он спроектирован ЦКБ Министерства геологии и охраны недр СССР и изготовляется Щигровским заводом. Назначение агрегатов сухого шнекового бурения БС-3А — производить буровые работы на глубину до 30—50 *м*, при диаметре шнеков 120, 150 и 200 *мм* в грунтах до IV категории твердости включительно (рис. XXVI-52).

Буровой агрегат БС-3А имеет следующую конструкцию. На шасси автомашины ГАЗ-63 высокой проходимости *1* устанавливается прямоугольная коробчатая рама *12*, которая может передвигаться вдоль шасси по направляющим, укрепленным на раме автомашины. По коробчатой раме перемещается вверх и вниз подъемная рама *11*, на которой установлен двигатель ГАЗ-МК 30 *л. с. 2*, коробка передач *3*, вращатель *4* и группа узлов, связанных с подъемным механизмом *5*, редуктором *6*, рычагом

управления подъема, а также вспомогательные узлы — вал привода лебедки *8*, управление фрикционом двигателя *14* и другие. Между кабиной водителя и передвижной рамой установлена лебедка *9* для подъема колонны шнеков из скважины.

В настоящее время разработан новый тип бурового шнекового агрегата БС-3АМ, который имеет более мощный двигатель ЗИС-5-к 55 *л. с.*

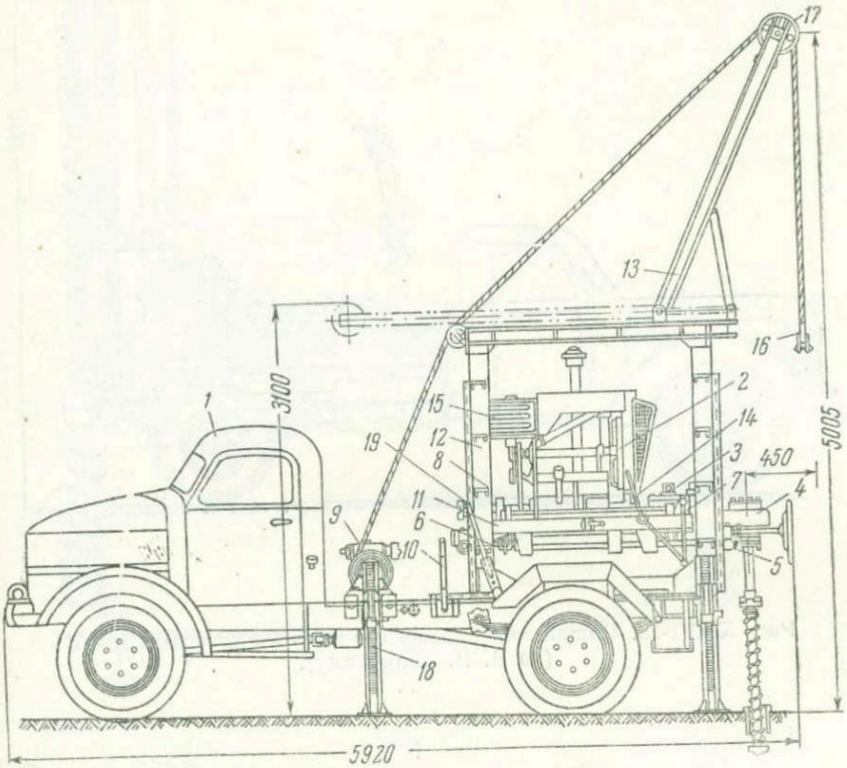


Рис. XXVI-52. Общий вид шнекового агрегата БС-3А (по В. В. Сермягину).

1 — автомашина ГАЗ-63; *2* — двигатель; *3* — коробка передач; *4* — вращатель со шпинделем; *5* — механизм подъема рамы; *6* — редуктор подъема рамы; *7* — управление подъемом рамы; *8* — вал привода лебедки; *9* — лебедка; *10* — управление лебедкой; *11* — подъемная рама: *12* — коробчатая передвижная рама; *13* — мачта; *14* — управление фрикционом двигателя; *15* — бензобак; *16* — трос с серьгой; *17* — оттяжной ролик; *18* — домкрат; *19* — ключ-трещотка.

Он рассчитан на бурение в породах до V категории буримости, на глубину 50—80 *м* при диаметре шнеков до 250 *мм*. В БС-3АМ предусмотрена возможность обсадки труб механизированным путем и исправлены все конструктивные недостатки, которые имелись у станка БС-3А (рис. XXVI-53).

3. Шнековые буровые агрегаты УШБ и УШБ-Т предложены и изготовлены в механических мастерских треста Средазнефтегеофизика на базе бурового агрегата АВБЗ-100 (рис. XXVI-54).

Установка УШБ имеет усиленную мачту-ферму из труб диаметром 60 *мм*, по направляющим которой производится подъем и спуск шнековой колонны, соединенной с вращателем. Подъем вращателя производится при помощи механической лебедки. Мачта буровой установки ставится в рабочее или же транспортное положение при помощи ручной лебедки.

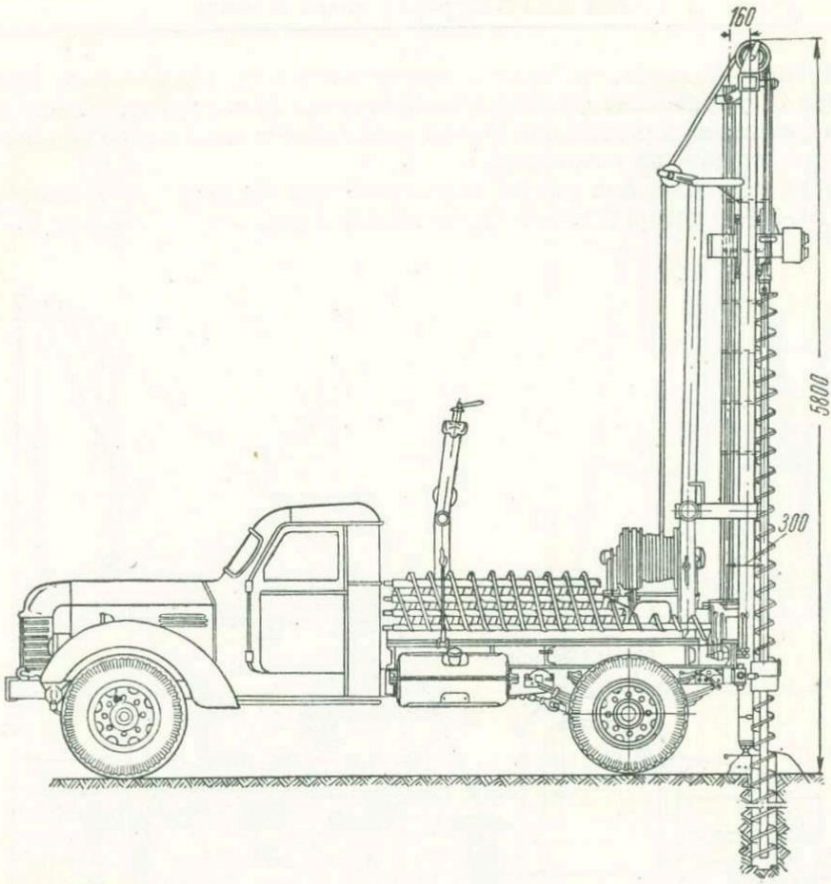


Рис. XXVI-53. Общий вид бурового шнекового агрегата БС-3М (по В. В. Сермягину).

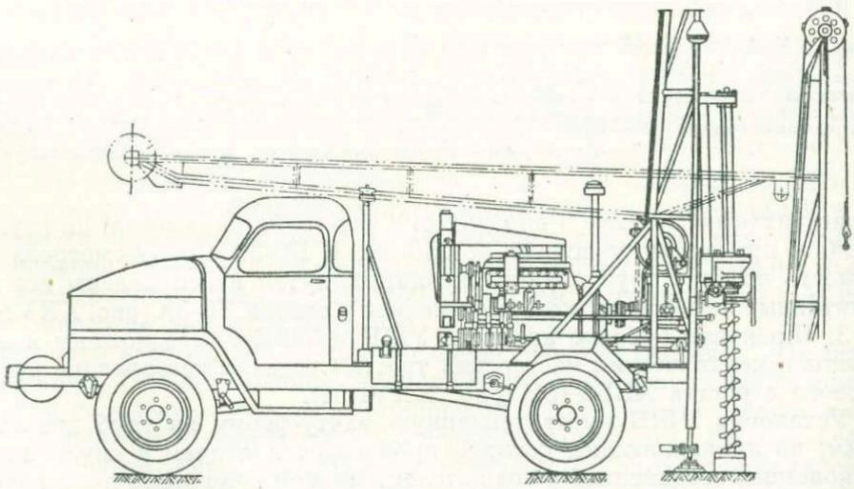


Рис. XXVI-54. Буровой агрегат УШБ на базе автомашины ЗИС-150 (по В. В. Сермягину).

Назначение агрегатов сухого шнекового бурения УШБ и УШБ-Т — производить бурение скважин в грунтах до IV категории буримости при диаметре шнеков 200 *мм* и глубине скважин 50—60 *м* (рис. XXVI-55).

Техническая характеристика агрегата УШБ

Тип установки	передвижная, смонтирована на автомашине ЗИС-150 или ЗИС-151 или на прицепе
Способ бурения	сухое вращательное при помощи режущих долот и шнеков, возможно использование эффекта вибрации
Глубина бурения, *м*:	
при диаметре долота 200 *мм*	50
при диаметре долота 150 *мм*	75
при диаметре долота 120 *мм*	100
Диаметры шнеков, *мм*	200, 150, 120
Число оборотов долота, об/мин	150—180
Ход вращателя (возможные интервалы непрерывного бурения), *м*	3,5
Длина шнековых штанг, *м*	3,0
Шаг шнека, *мм*	150
Скорость подъема вращателя, *м/сек*	0,385
Двигатель:	
тип	ЗИС-120
мощность, *л. с.*	93
Габариты установки, *мм*:	
в рабочем положении:	
длина	6000
ширина	2260
высота	5800
в транспортном положении:	
длина	7440
ширина	2260
высота	3200
Общий вес установки, *кг*	6417
Вес без автомашины с комплектом шнековых штанг (17 шт), *кг*	2780
Подача инструмента	весом вращателя и принудительная задавливанием при помощи ручной лебедки
Вес вращателя, *кг*	400
Передача от коробки отбора мощности к установке	карданная

Кинематическая схема обеих установок аналогичная. На площадке автомашины или на прицепе устанавливается рама, на которой монтируется лебедка, вращатель и мачта (рис. XXVI-56).

Вибробурение

Механизация трудоемких процессов при ручном бурении и стремление к увеличению производительности при проходке неглубоких скважин привели к созданию вибробура. Принцип вибрационного бурения заимствован из метода вибрационной забивки свай, предложенного Д. Д. Барканом.

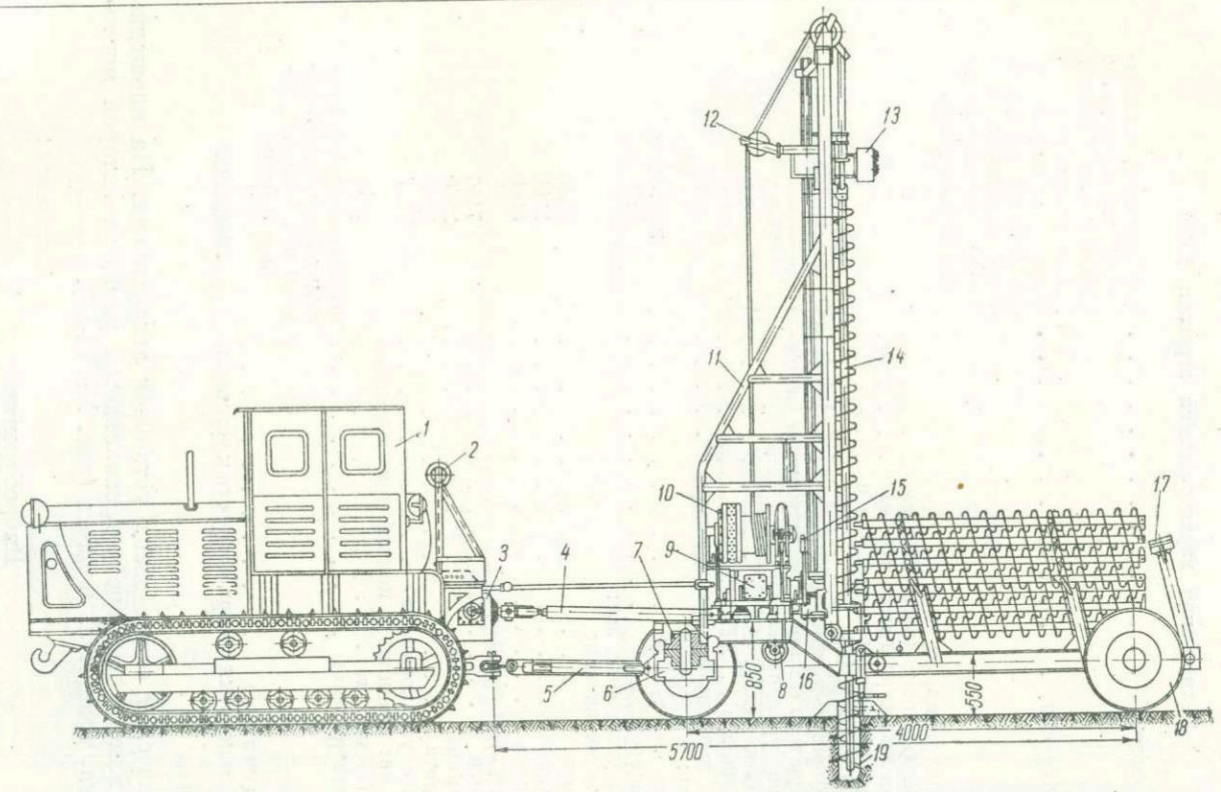


Рис. XXVI-55. Общий вид буровой шнековой установки УШБ-Т (по В. В. Сермягину).

1 — трактор С-80; *2* — ролик подъема мачты; *3* — коробка отбора мощности; *4* — съемный карданный вал; *5* — тяга прицепа; *6* — передняя ось шасси прицепа; *7* — шасси прицепа; *8* — ручная лебедка подъема мачты; *9* — редукторная коробка; *10* — механическая лебедка подъема вращателя и шнековой колонны; *11* — мачта буровой установки; *12* — верхний узел; *13* — вращатель; *14* — шнековая колонна; *15* — рычаги управления; *16* — ротор; *17* — опора мачты при постановке ее в транспортное положение; *18* — скаты; *19* — буровая коронка-долото.

Первые опыты применения вибратора для погружения бурового снаряда дали большой эффект: 4-дюймовый буровой наконечник был погружен на 10 *м* в глинистые пески в течение 3 минут (рис. XXVI-57).

Сущность вибрационного способа бурения заключается в том, что на верхнем конце колонны буровых штанг устанавливается вибратор, приводимый в действие быстроходным двигателем (2000 об/мин). Во время работы вибратора происходит вибрирование бурового инструмента, вызываемое возмущающими силами от эксцентрично расположенных грузов на соответствующих валах вибратора.

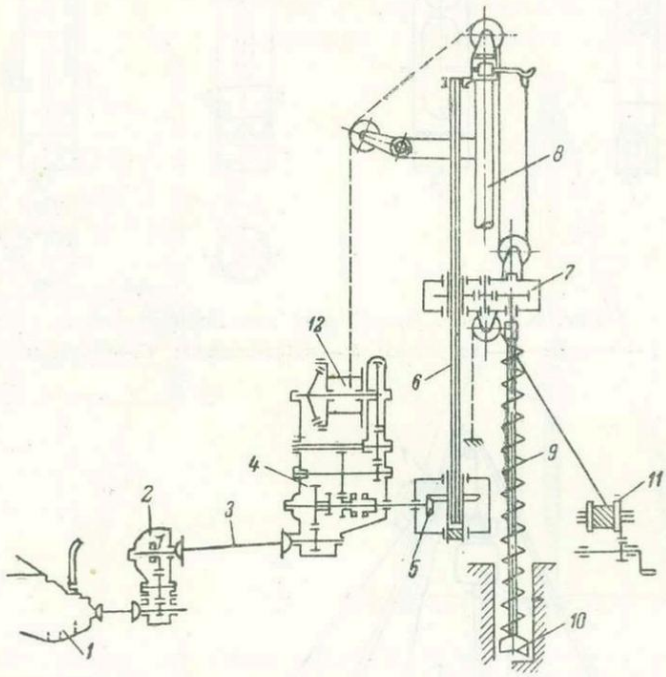


Рис. XXVI-56. Кинематическая схема шнековой установки.

1 — двигатель; *2* — коробка отбора мощности; *3* — карданный вал; *4* — редуктор; *5* — ротор; *6* — шестигранный вал; *7* — каретка; *8* — трубчатые стойки; *9* — шнеки; *10* — наконечник (долото); *11* — ручная лебедка; *12* — лебедка для перемещения каретки.

Под влиянием вибраций бурового инструмента в грунте происходит резкое уменьшение сил сопротивления сдвигу, в результате чего инструмент погружается под действием собственного веса.

Схема установки вибробура приведена на рис. XXVI-58. В качестве бурового наконечника применяется виброзонд диаметром 70 *мм* или 95 *мм*. На корпусе виброзонда для удобства извлечения породы сделан продольный вырез шириной 30—40 *мм*. Виброзонд посредством переходника соединяется со штангами диаметром 42 *мм*, к которым прикрепляется вибратор с мотором. Вес вибратора 80 *кг*. Мотор переменного тока мощностью 3,6 *квт* напряжением 127/220 *в*.

Питание электромотора осуществляется от генератора, приводимого в движение двигателем автомашины, которая используется и для спускоподъемных операций с буровым инструментом и для транспортировки всего оборудования.

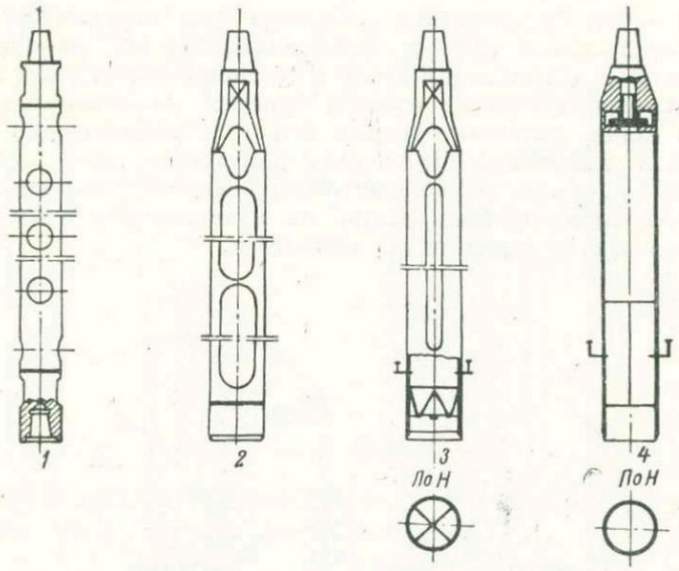


Рис. XXVI-57. Инструмент для вибробурения:
1 — штанга; *2* — виброзонд; *3* — виброжелонка; *4* — грунтонос.

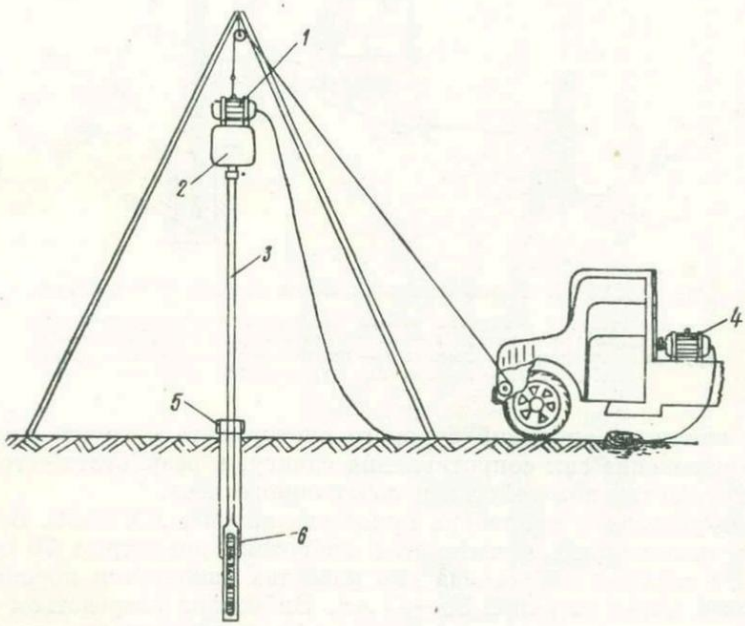


Рис. XXVI-58. Схема установки вибробура.
1 —мотор; *2* — вибробур; *3* — штанга (42 *мм*); *4* — генератор; *5* — обсадная труба; *6* — рабочий наконечник (стакан).

Вибробур, смонтированный с бензиновым двигателем системы ВБЛ-3, показан на рис. XXVI-59.

Вибробурение имеет ряд существенных недостатков.

1. Сравнительно быстрое затухание колебаний бурового наконечника с увеличением глубины бурения. Поэтому бурение вибраторами, установленными на поверхности, возможно только до глубины 15—30 *м*.

2. Ограниченность применения твердостью проходимых пород. Практически вибробурению подвергают породы I—IV категорий. Однако область бурения мелких скважин в мягких (до IV категории) породах настолько обширна, особенно на строительстве каналов, гидроэлектростанций и при изыскании шоссейных и железных дорог, что возможность применения вибробура представляет большой народно-

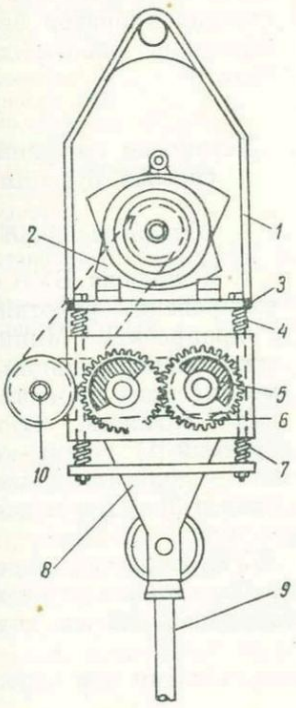


Рис. XXVI-59. Общий вид вибробура системы ВБЛ-3.

1—подвесная серьга; *2*—двигатель; *3*—опорная плита; *4* и *7*—пружины; *5*—эксцентрики; *6*—зубчатое зацепление; *8*—зондодержатель; *9*—штанга; *10*—шкив привода вибратора.

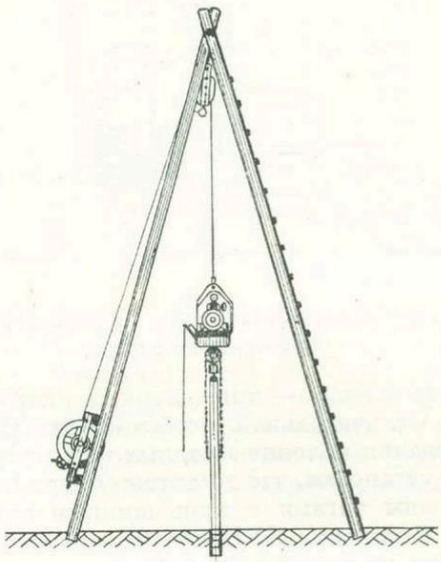


Рис. XXVI-60. Схема работы вибробура с использованием копра.

хозяйственный интерес. Производительность вибробура в 7—9 раз выше обычного трудоемкого ручного бурения. Как показали опыты, вибробуром можно проходить и более твердые породы, если придать вращательное движение вибронаконечнику.

3. Некоторое изменение структуры выбуриваемых образцов вследствие их уплотнения. Этот недостаток не имеет существенного значения при бурении гидрогеологических скважин и не может служить препятствием для широкого внедрения вибробура при их проходке. Бурение вибробуром может производиться с помощью буровых копров (рис. XXVI-60), автокранов (рис. XXVI-61) и других механизмов.

Вибробур конструкции Ленгидэп ВБЛ-3 применяется при бурении неглубоких (до 15 *м*) скважин диаметром 108—127 *мм* для отбора образцов горных пород (рис. XXVI-59). Этот вибробур приводится в действие от двигателя внутреннего сгорания ОДВ-300 мощностью 6 *л. с.* Вибробур ВБЛ-3 обладает сравнительно небольшим весом, изготовление его

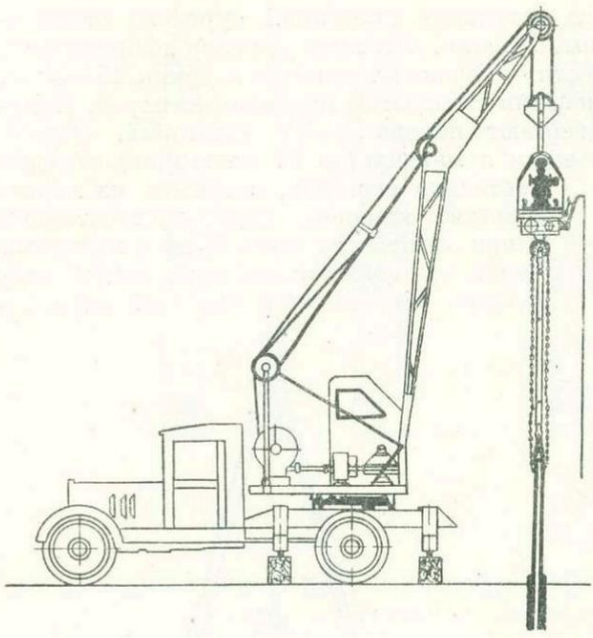


Рис. XXVI-61. Схема работы вибробура с использованием автокрана.

несложно и может быть произведено в мастерских, имеющих обычное механическое оборудование. Наличие муфты включения дает возможность включать и выключать собственно вибратор без выключения работы двигателя.

Установки смешанного способа бурения

Установка БУК

Установка БУК спроектирована работниками Гидропроекта Министерства электростанций для механизации бурения мелких скважин. Способы бурения 1) ударно-канатное — долотами и желонками и 2) сухое медленно-вращательное — при помощи ложек и змеевиков.

Отличительной особенностью установки БУК является передача вращения колонне обсадных труб на значительном расстоянии от механизмов установки, что достигается при помощи специальных ключей, которые связаны тягами с кривошипным валом.

Установки БУК предназначены для бурения скважин при водоснабжении на глубину 20 и 75 *м*.

Буровые установки предусматривают полную механизацию процессов, включая обсадку труб расхаживанием или вращением и состоят из следующих основных узлов: ударно-вращательного устройства с тягами и поворотными ключами, фрикционной однобарабанной лебедки Т-109, приспособления для расхаживания обсадных труб, электромотора (или двигателя).

Техническая характеристика

	Тип станка	
	БУК-М-20	БУК-75
Глубина бурения, *м*	20	75
Диаметр скважины, дюймы	6	6 и $10^4/_5$
Тип лебедки	фрикционная	
Грузоподъемность лебедки, *кг*	600	1000
Скорость навивки каната на барабан лебедки, *м/сек*	0,93	0,6
Передача к станку от двигателя	цепная	клиноременная
Высота подъема снаряда над забоем, *мм*	150—300	150—350
Число ударов в минуту	50	40 и 70
Падение снаряда на забой скважины	свободное	свободное

	Тип станка	
	БУК-М-20	БУК-75
Мачта	металлическая или деревянная	
Высота мачты, *м*	9—10	9—10
Двигатель типа	УД-2	«Андижанец»
Мощность, *л. с.*	8	13
Электромотор:		
Мощность, *квт*	—	7
Число оборотов, об/мин	—	970
Напряжение, *в*	—	220/380
Габариты установки, *мм*:		
длина	5300	2030
ширина	2100	2000
высота	5750	985
Вес установки без двигателя, *кг*	1000	1000

Изготовитель — центральные механические мастерские Гидропроекта Министерства электростанций, г. Углич.

Буровая комплектная установка УГБ-50А

Установка УГБ-50А предназначена для бурения гидрогеологических скважин на глубину до 50 *м* с одновременной обсадкой трубами, а также для выполнения пробных откачек. Основной способ бурения — шнековый, но можно бурить ударно-канатным и колонковым способом. Установка смонтирована на автомашине ГАЗ-63 высокой проходимости и имеет крытый автоприцеп для перевозки оборудования, инструмента и буровой бригады. Комбинированный способ бурения является характерной особенностью установки УГБ-50А.

Техническая характеристика

Показатели	Способ бурения		
	шнековый	ударный	колонковый
Глубина бурения, *м*	50	50	100
Начальный диаметр скважины, *мм*	230	230	190
Конечный диаметр скважины, *мм*	180	180	92
Число оборотов шпинделя, об/мин	65, 115, 190	—	65, 115, 190
Подача инструмента	механическая	ручная	механическая
Максимальный рабочий ход инструмента, *мм*	1500	—	1500
Число ударов инструмента, ударов в минуту	—	47—55	—
Наибольший вес ударного инструмента, *кг*	—	400	—
Грузоподъемность лебедки, *кг*	2500	2500	2500
Скорость навивки каната, *м/сек*	0,6; 1,1	0,6; 1,1	0,6; 1,1
	1,8	1,8	1,8
Грузоподъемность мачты, *кг*	7300	7300	7300
Высота мачты, *м*	8,0	8,0	8,0
Устройство для спуска обсадных труб	Фрикционные ключи, совершающие поворотно-возвратное движение с автоматическим перехватом		

Продолжение

Показатели	Способ бурения		
	шнековый	ударный	колонковый
Тип двигателя (основного)		Д-36	
Мощность, *л. с.*		37	
Число оборотов, об/мин		1400	
Двигатель автомашины (вспомогательный)		ГАЗ-51	
Мощность, *л. с.*		46	
Габариты установки, *мм*:			
в транспортном положении:			
длина	7200		
ширина	2000		
высота	3000		
в рабочем положении:			
длина	5850		
ширина	2000		
высота	8200		

Вес установки в транспортном положении, *кг* 5500

Изготовитель — Щигровский механический завод Министерства геологии и охраны недр СССР.

Опытный образец установки изготовлен ремонтным заводом Гидропроекта (Ленгидэп).

Буровая установка УГБ-50Ш

Установка УГБ-50Ш предназначена для бурения скважин при геофизической разведке и гидрогеологических исследованиях глубиной до 50 *м*. Основной вид бурения шнековый с отбором керна и сплошным забоем. В необходимых случаях установкой УГБ-50Ш можно производить и колонковое бурение с промывкой скважины водой. Все механизмы установки смонтированы на автомашине ГАЗ-63. В комплект установки входят: буровой станок с лебедкой и вращателем, металлическая мачта с одним кронблочным роликом и подъемным механизмом и приводной дизель Д-36. Кроме того установка УГБ-50Ш комплектуется специально оборудованным автоприцепом ПТ-2А, в котором под брезентовым укрытием расположены: слесарный верстак с тисками, баки для топлива и воды, кровати для отдыха бригады и весь необходимый инвентарь, запасные части и инструмент буровой установки.

Установка УГБ-50Ш по сравнению со станком БС-3А аналогичного назначения обеспечивает более высокие технико-экономические показатели за счет следующих преимуществ:

1) для привода станка предусмотрен дизель, который экономичнее бензинового двигателя;

2) упрощается изготовление, ремонт и обслуживание установки в эксплуатации за счет унификации большинства деталей серийно выпускаемой модели установки УГБ-50А;

3) по сравнению с моделью УГБ-50А установка УГБ-50Ш упрощена и облегчена на 700 *кг* за счет снятия ряда узлов.

Техническая характеристика установки УГБ-50Ш

Тип и монтаж установки — самоходная, смонтированная на автомашине ГАЗ-63

Глубина бурения, *м*	50
Диаметр скважины, *мм*:	
начальный	180
конечный	135
Вращатель:	
Число оборотов, об/мин:	
правое вращение	65; 115; 190
левое вращение	65
Длина рабочего хода подачи, *м*	1,5
Скорость подачи, *м/мин*	0 ÷ 0,25
Скорость обратного хода каретки вращателя, *м/мин*	13,6
Тип подачи	механическая, самоустанавливающаяся в зависимости от заданного давления на забой
Наибольшее усилие механизма подачи, *кг*	1000
Лебедка:	
Грузоподъемность на прямом канате, *кг*	2500
Наибольшая грузоподъемность на крюке (с подвижным и подвесным блоком), *кг*	7300
Скорость навивки каната на барабан лебедки, *м/сек*	0, 6; 1,1; 1,8
Мачта:	
Высота до оси блока, *м*	8,0
Грузоподъемность, *кг*	7300
Двигатель:	
Тип и марка	дизель Д-36
Мощность, *л. с.*	37
Число оборотов, об/мин	1400
Вес, *кг*	730

Вспомогательное оборудование:

Освещение от генератора установки и генератора автомашины низковольтное, 12 *в*, 4 точки

Габариты установки, *мм*:

	в транспортном положении	в рабочем положении
длина	7200	5850
ширина	2000	2000
высота	3000	8200

Вес установки, *кг*:

в рабочем положении (без инструмента)	5300
в транспортном положении (без автомашины)	2900
в транспортном положении (с автомашиной)	5100

Буровая установка УГБ-150

Установка УГБ-150 предназначена для бурения гидрогеологических, инженерно-геологических и других скважин, глубиной 150 *м* с выполнением пробных откачек.

Основной способ бурения шнековый с отбором керна и сплошным забоем. Отдельные горизонты установкой УГБ-150 можно проходить или ударным способом с одновременной обсадкой трубами, или колонковым бурением с промывкой забоя скважины.

На гусеничном тракторе ДТ-54 смонтированы все механизмы установки: коробка передач с главным фрикционом, лебедка, ударный механизм, каретка с вращателем и механизмом подачи, мачта и электрооборудование. Привод всех механизмов установки осуществляется от дизеля трактора.

Техническая характеристика установки УГБ-150

Тип установки		самоходная, смонтированная на тракторе ДТ-54
Глубина бурения шнеками, *м*		150
Начальный диаметр бурения шнеками, дюймы		14
Конечный диаметр бурения шнеками, дюймы		6
Глубина колонкового бурения, *м*		300
Начальный диаметр скважины при колонковом бурении, *мм*		196
Конечный диаметр скважины при колонковом бурении, *мм*		59
Угол наклона скважины к горизонту, градус		90
Габариты, *мм*:		
	в рабочем положении	в транспортном положении
длина	6050	11882
ширина	2350	2350
высота	11882	3700
Ориентировочный вес в транспортном положении без прицепа, *кг*		13900
Скорость передвижения установки		1 и 2 скорость трактора ДТ-54
Двигатель:		
Тип и марка		дизель ДТ-54
Мощность, *л. с.*		54
Число оборотов, об/мин		1300
Ударный механизм:		
Число ударов бурового снаряда, ударов в минуту		35; 52
Вес бурового снаряда, *кг*		1000
Высота подъема бурового снаряда над забоем, *м*		0,35; 0,6; 1,0
Инструментальный барабан:		
Грузоподъемность, *кг*		3500
Емкость барабана, *м*		152,5
Скорости навивки каната на барабан, *м/сек*		1,3; 2; 2,98
Диаметр каната, *мм*		21,5
Талевый барабан:		
Грузоподъемность, *кг*		3500
Емкость барабана, *м*		47
Скорости навивки каната на барабан, *м/сек*		1,3; 2; 2,98
Диаметр каната, *мм*		21,5
Вращатель:		
Число оборотов, об/мин		66,5; 98; 151; 224
Рабочий ход вращателя, *мм*		3000
Механизм подачи:		
Скорость подачи инструмента при бурении, *м/мин*		0÷1,83
Давление на забой, *кг*		0÷2000
Скорость перемещения каретки вверх и вниз при наращивании инструмента, *м/мин*		0÷15,65
Грузоподъемность каретки, *кг*		3500
Мачта:		
Высота до оси блоков, *м*		11,0
Число талевых блоков		3
Грузоподъемность на кронблоке, *кг*		14000
Вспомогательное оборудование:		
Освещение от низковольтного генератора на 12 *в* типа Г-21 на 6 точек.		

Глава XXVII

НАСОСЫ ДЛЯ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН

При бурении гидрогеологических скважин применяются поршневые насосы, которые подразделяются:

1) по способу действия: а) простого действия, когда всасывание и нагнетание производится одной стороной поршня; б) двойного действия, когда всасывание и нагнетание производится обеими сторонами поршня;

2) по устройству поршня: а) плунжерные, когда вся рабочая часть поршня представляет собой стакан, т. е. цилиндр одного диаметра; б) с дисковым поршнем (поршневые);

3) по расположению цилиндра: а) горизонтальные; б) вертикальные;

4) по числу цилиндров: а) одноцилиндровые; б) двухцилиндровые; в) трехцилиндровые;

5) по устройству клапанов: а) с тарельчатыми клапанами, б) с шаровыми клапанами.

Насосы, наиболее распространенные в настоящее время при бурении гидрогеологических скважин, указаны ниже.

Насосы типа Е и НА-75/25 (рис. XXVII-1,2)

Применяются при бурении скважин глубиной до 100—150 *м*.

Оба насоса типа Е и НА-75/25 двухцилиндровые, вертикальные, плунжерные, в общем совершенно однотипны и несколько отличаются только размерами цилиндров и формой клапанов. Они характерны простотой регулирования производительности, которое осуществляется изменением длины хода поршня от 0 до 108 *мм*. Достигается это перестановкой пальца в пазу кривошипной

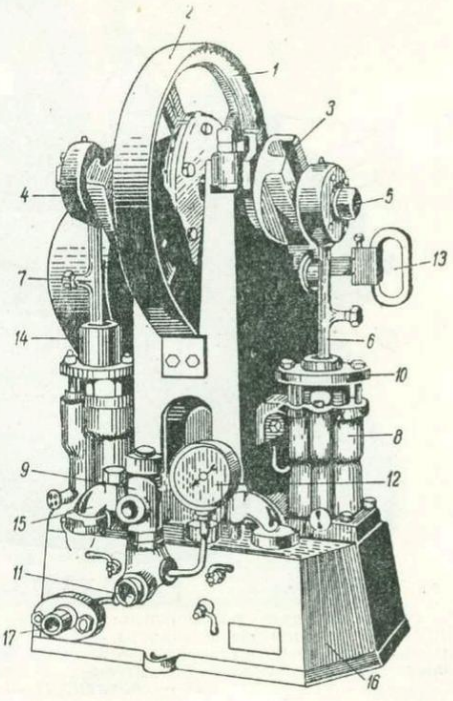


Рис. XXVII-1. Общий вид насоса типа Е.

1 — большая приводная шестерня; *2* — предохранительный щиток; *3* — кривошипная шайба; *4* — головка шатуна; *5* — кривошипный палец; *6* — шатун; *7* — масленка штауффа; *8* — цилиндр; *9* — предохранительный клапан; *10* — сальниковая букса; *11* — нагнетательный патрубок; *12* — манометр; *13* — ручка переводной вилки; *14* — плунжер; *15* — скоба клапанных крышек; *16* — станина; *17* — всасывающий патрубок.

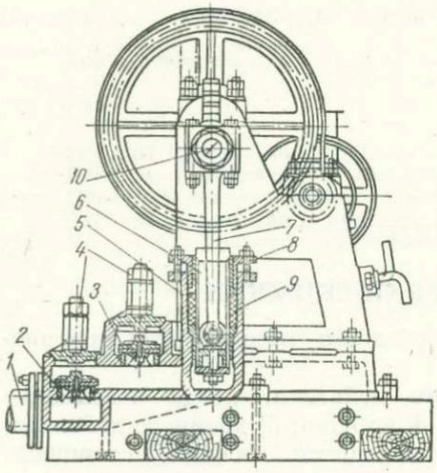


Рис. XXVII-2. Насос НА-75/25.

1 — всасывающий патрубок; *2* — всасывающий клапан; *3* — нагнетательный клапан; *4* — болты крепления клапанных скоб; *5* — цилиндр; *6* — плунжер; *7* — шатун; *8* — сальниковая букса; *9* — сальниковая набивка; *10* — кривошипный палец.

шайбы. Перемена длины хода поршня в обоих цилиндрах осуществляется за несколько минут.

Поршень насосов типа Е и НА-75/25 плунжерного типа представляет полый стакан со шлифованной наружной цилиндрической поверхностью. Уплотнение в цилиндре насоса достигается сальниковой набивкой, зажимаемой крышкой сальника.

Клапаны насосов НА-75/25 тарельчатые с резиновыми прокладками, а у типа Е — шаровые. Они легко доступны для осмотра, так как каждая пара клапанов зажимается одним болтом. Воздушный колпак для выравнивания пульсации крепится к нагнетательной линии насоса.

Насос 100/30 (рис. XXVII-3,4)

Применяется для подачи в буровые скважины чистой воды и глинистого раствора.

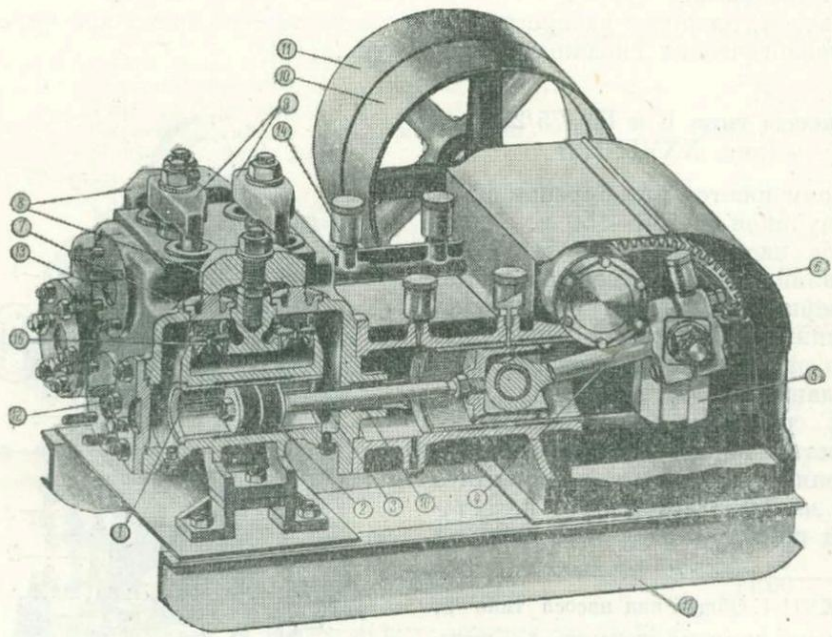


Рис. XXVII-3. Насос 100/30.

1 — втулка цилиндра; *2* — поршень; *3* — шток; *4* — шатун; *5* — кривошипная шайба; *6* — защитный кожух; *7* — крышка клапана; *8* — скоба всасывающих клапанов; *9* — скобы нагнетательных клапанов; *10* — рабочий шкив; *11* — холостой шкив; *12* — фланец для всасывающей трубы; *13* — фланец для нагнетательной трубы; *14* — тауферная масленка; *15* — всасывающий клапан; *16* — сальник; *17* — рама (салазки) насоса.

Производительность насоса переменная и регулируется изменением длины хода поршня от максимальной до нуля. Цилиндровый блок представляет собой чугунную отливку, состоящую из двух цилиндров с отдельными всасывающими и общей нагнетательной камерами.

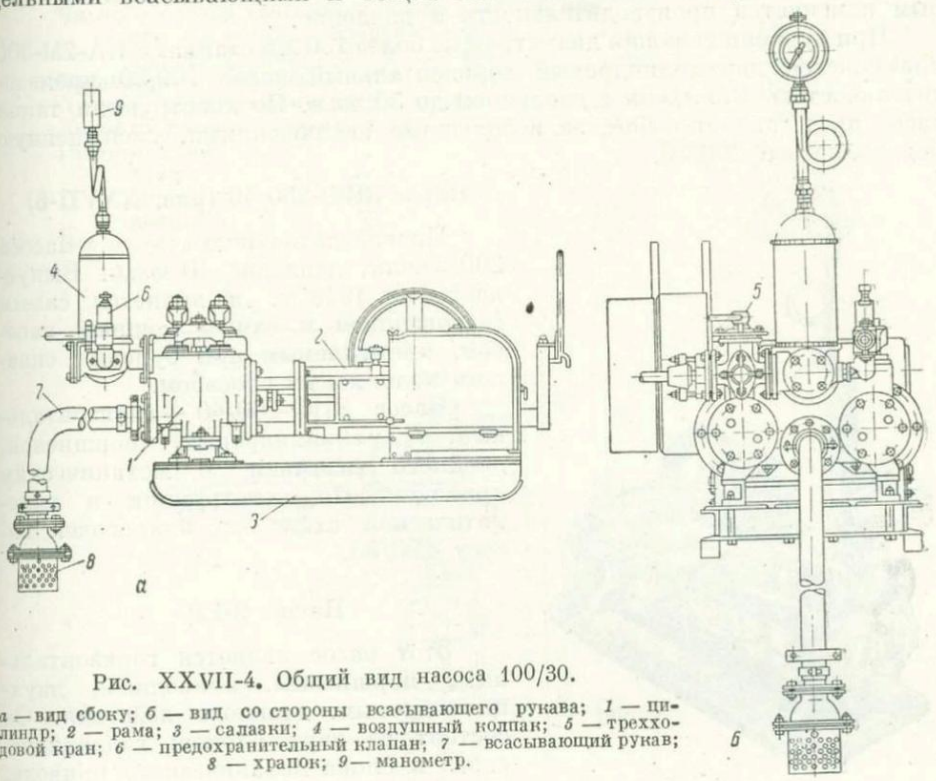


Рис. XXVII-4. Общий вид насоса 100/30.

а — вид сбоку; *б* — вид со стороны всасывающего рукава; *1* — цилиндр; *2* — рама; *3* — салазки; *4* — воздушный колпак; *5* — трехходовой кран; *6* — предохранительный клапан; *7* — всасывающий рукав; *8* — храпок; *9* — манометр.

Насос 200/30 (рис. XXVII-5)

Является горизонтальным двухцилиндровым поршневым приводным насосом двойного действия и предназначен специально для нагнетания

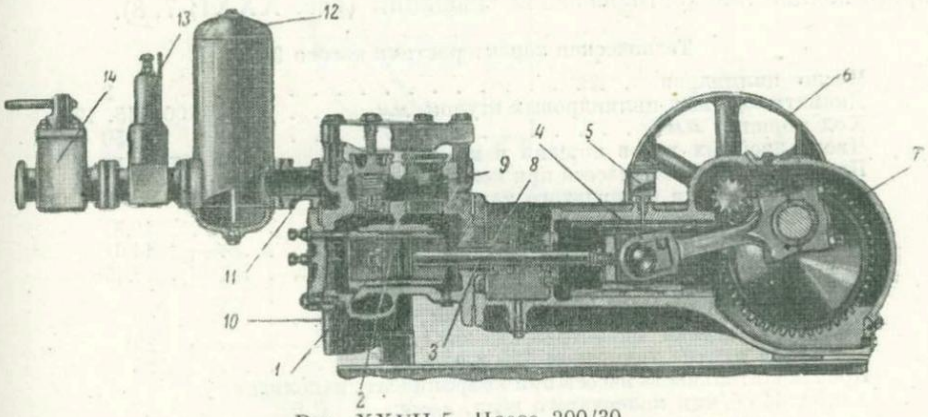


Рис. XXVII-5. Насос 200/30.

1 — цилиндр; *2* — поршень; *3* — шток; *4* — шатун; *5* — штауферная масленка; *6* — шкив; *7* — зубчатое колесо; *8* — сальник; *9* — всасывающий клапан; *10* — всасывающая труба; *11* — нагнетательная труба; *12* — воздушный колпак; *13* — предохранительный клапан; *14* — трехходовой кран.

промывочной жидкости в скважину при бурении. Он установлен на легкой передвижной раме, поэтому достаточно компактен и удобен в перевозке.

Тип поршня — дисковый с резиновым уплотнением. Цилиндр имеет сменные втулки трех диаметров — 85, 70 и 60 *мм*, соответственно которым изменяется производительность и давление.

При бурении скважин диаметром не более 130 *мм* станками КА-2М-300 применяется двухцилиндровый горизонтальный насос 100/30 производительностью 100 *л/мин* с давлением до 30 *атм*. По конструкции такой насос представляет собой, за небольшими исключениями, уменьшенную модель насоса 200/30.

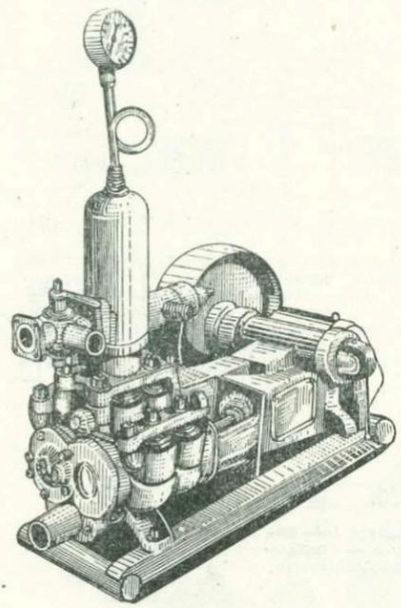


Рис. XXVII-6. Общий вид насоса ЗИФ-200/40.

Насос ЗИФ-200/40 (рис. XXVII-6)

Производительность насоса 200 *л/мин*, давление 40 *атм*. Выпускается с 1948 г. и является самым совершенным и самым мощным насосом, применяемым при бурении скважин колонковым способом.

Насос ЗИФ-200/40 — горизонтальный, двухцилиндровый, поршневой, двойного действия с механическим приводом. По конструкции и кинематической схеме он аналогичен насосу 200/30.

Насос 9-ГР

Этот насос является горизонтальным, поршневым, приводным, двухцилиндровым, двойного действия. Он состоит из двух блоков: гидравлического и блока механического привода, соединенных на станине в один агрегат. Насос соединен с рабочим инструментом при помощи нагнетательного трубопровода, гибкого шланга и вертлюга и при бурении производит подачу промывочной жидкости на забой скважины (рис. XXXII-7, 8).

Техническая характеристика насоса 9-ГР

Число цилиндров	2
Диаметр сменных цилиндровых втулок, *мм*	100, 115, 125
Ход поршня, *мм*	250
Число двойных ходов поршня в минуту	от 44 до 90
Производительность насоса при коэффициенте наполнения 0,9 и 90 об/мин коленчатого вала, *л/сек*:	
при втулке диаметром 100 *мм*	10,8
при втулке диаметром 115 *мм*	14,6
при втулке диаметром 125 *мм*	17,45
Наибольшее допускаемое давление, *кг/см*^{2}:	
при втулке диаметром 100 *мм*	39
при втулке диаметром 115 *мм*	29
при втулке диаметром 125 *мм*	24
Производительность насоса при коэффициенте наполнения 0,9 и 44 об/мин коленчатого вала, *л/сек*:	
при втулке диаметром 100 *мм*	4,77
при втулке диаметром 115 *мм*	6,44
при втулке диаметром 125 *мм*	7,68

Наибольшее допускаемое давление, *кг/см*	
при втулке диаметром 100 *мм*	80
при втулке диаметром 115 *мм*	60
при втулке диаметром 125 *мм*	50
Приводная мощность, *л. с.*	60
Число оборотов трансмиссионного вала, об/мин:	
при 90 об/мин коленчатого вала	460
при 40 об/мин коленчатого вала	225
Передаточное отношение зубчатой пары	5,11
Диаметр всасывающего патрубка, *мм*	100
Диаметр нагнетательного патрубка, *мм*	50
Габариты, *мм*:	
длина	2630
ширина	935
высота	1480
Вес насоса, *кг*	2430

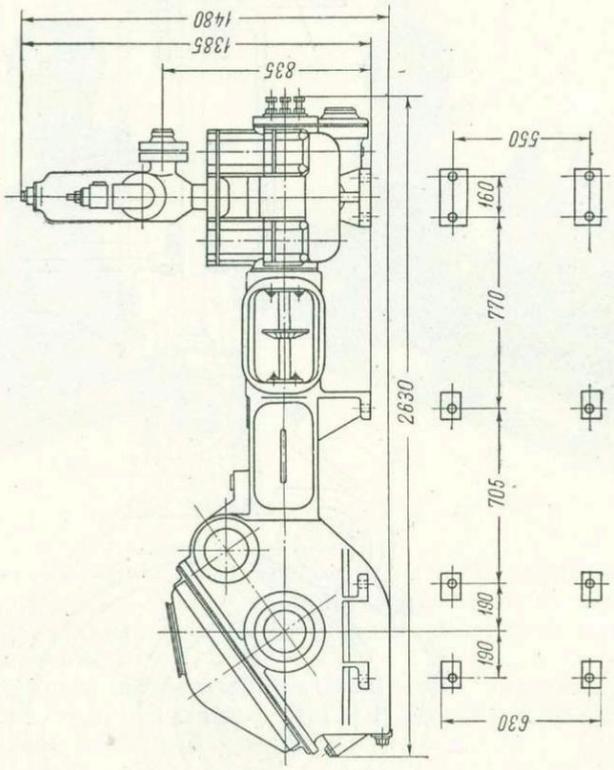
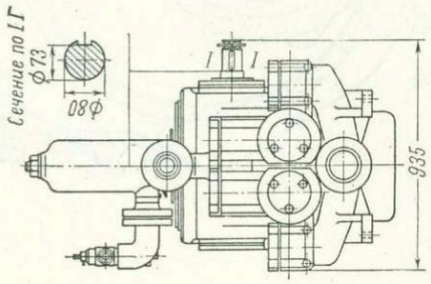


Рис. XXVII-7. Общий вид насоса 9-ГР.



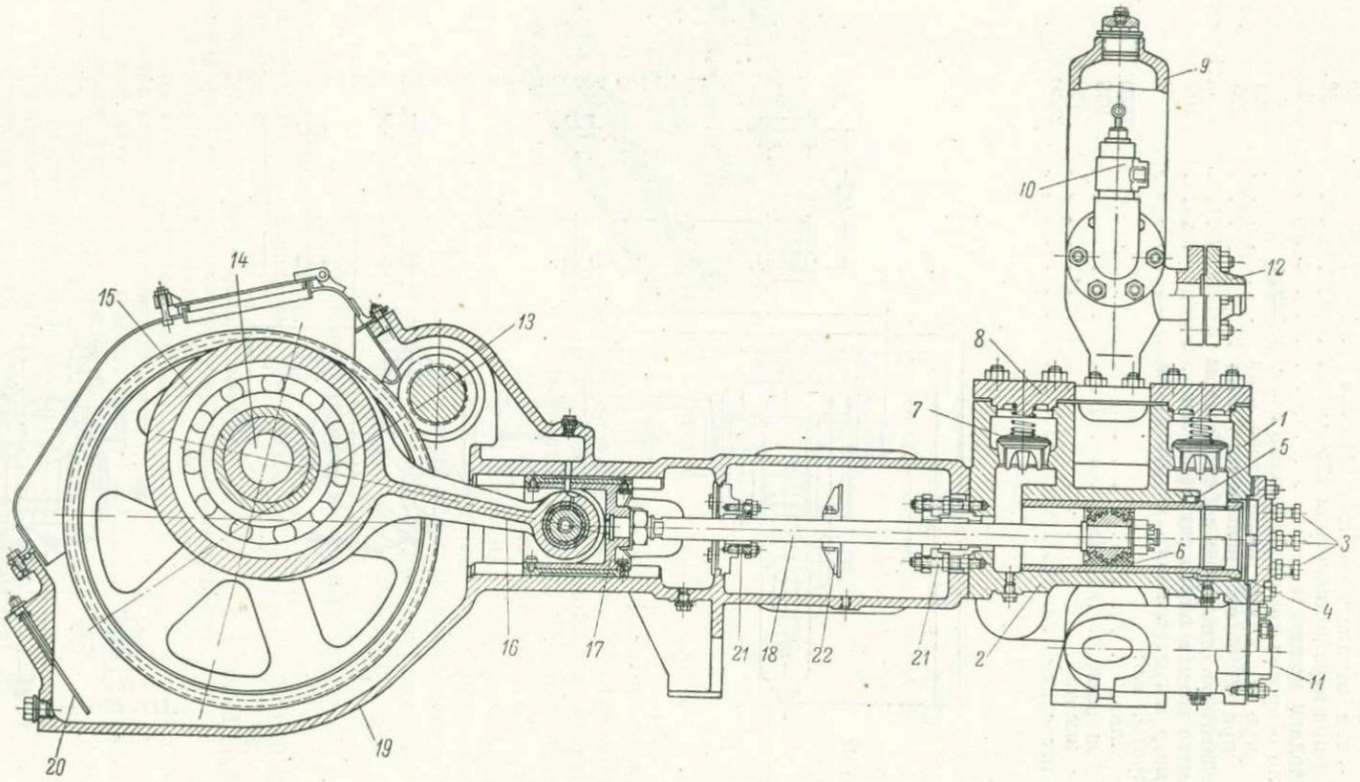


Рис. XXVII-8. Насос 9-ГР (разрез).

1 — гидравлический блок; *2* — цилиндр; *3* — болты; *4* — корончатое кольцо; *5* — уплотняющее кольцо; *6* — поршень; *7* — нагнетательный клапан; *8* — крышки клапанов; *9* — воздушный колпак; *10* — предохранительный клапан; *11* — всасывающий патрубок; *12* — нагнетательный фланец; *13* — трансмиссионный вал; *14* — коренной вал; *15* — эксцентрик, *16* — шатун; *17* — крейцкопф; *18* — шток; *19* — рама насоса; *20* — маслоуказатель; *21* — сальник; *22* — отражательный диск.

Насосы типа А и В (рис. XXVII-9)

Горизонтальные, одноцилиндровые, поршневые, двойного действия насосы. Насос типа А с ручным приводом. Применяется при бурении скважин ручным способом. При механическом бурении используется для вспомогательных работ при перекачке воды. Конструкция и кинематическая схема этого насоса аналогична таковым у насоса типа В. Насос

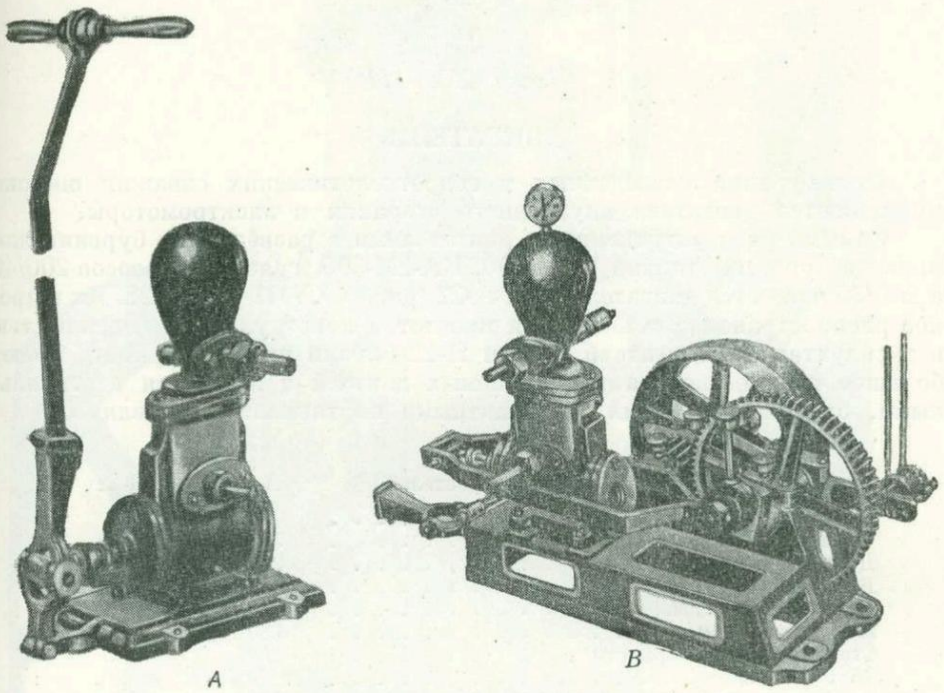


Рис. XXVII-9. Насосы типа А и В.

типа В имеет механический привод и в случае необходимости быстро может быть переключен на ручной. Применяется для промывки при бурении неглубоких скважин диаметром до 85 *мм*. Производительность его 32 *л/мин*, давление 10—15 *атм*.

Существенным недостатком этого насоса является необходимость частой смены кожаных манжет, а также быстрый износ цилиндра в случае применения глинистого раствора.

Глава XXVIII

ДВИГАТЕЛИ

При бурении разведочных и гидрогеологических скважин широко применяются двигатели внутреннего сгорания и электромоторы.

Самыми распространенными двигателями в разведочном бурении для привода буровых станков КАМ-500, КА-2М-300, грязевых насосов 200/40 и 200/30 являются двигатели типа А-22 (рис. XXVIII-1) и Н-22. Их широкое распространение объясняется простотой конструкции и надежностью в эксплуатации. Двигатели А-22 и Н-22 близки по конструкции, имеют большое количество взаимозаменяемых деталей и являются вертикальными, одноцилиндровыми, двухтактными нефтяными двигателями.

Техническая характеристика двигателей	А-22	Н-22
Мощность, *л. с.*	22	22
Число оборотов, об/мин	500	500
Диаметр цилиндра, *мм*	200	200
Вес маховика, *кг*	234	250
Диаметр шкива, *мм*	510	700
Ход поршня, *мм*	240	240
Степень неравномерности	1/60	1/55
Сорт топлива	нефть	нефть
Расход топлива на 1 э. *л. с./час*, *г*	280	280
Расход масла на 1 э. *л. с./час*, *г*	20	20
Наибольшая температура выходящей воды, градус С°	80	80
Давление сжатия, *атм*	8,5	8,5
Максимальное давление вспышки, *атм*	22	22
Вес двигателя, без маховика и градирни, *кг*	820	760

Так как нефтяные калоризаторные двухтактные двигатели потребляют много топлива и имеют большой вес, то они постепенно вытесняются более экономичными и легкими четырехтактными дизелями.

В настоящее время заводом им. А. И. Микояна выпускаются быстроходные дизеля марки МЧ-10,5/13. Мощность их зависит от числа цилиндров, сблокированных в одном агрегате. Поэтому у всех двигателей МЧ, независимо от мощности, основные детали — цилиндры, поршни, клапаны, форсунки, шатуны и др. — совершенно одинаковы, что облегчает обеспечение их запасными деталями.

Двигатели марки 1МЧ-10,5/13 и 2МЧ-10,5/13 бескомпрессорные дизели с камерой сгорания вихревого типа. Двигатели — вертикальные, четырехтактные, в одно- и двухцилиндровом исполнении, мощностью соответственно 10 и 20 *л. с.* Направление вращения коленчатого вала (со стороны маховика) левое.

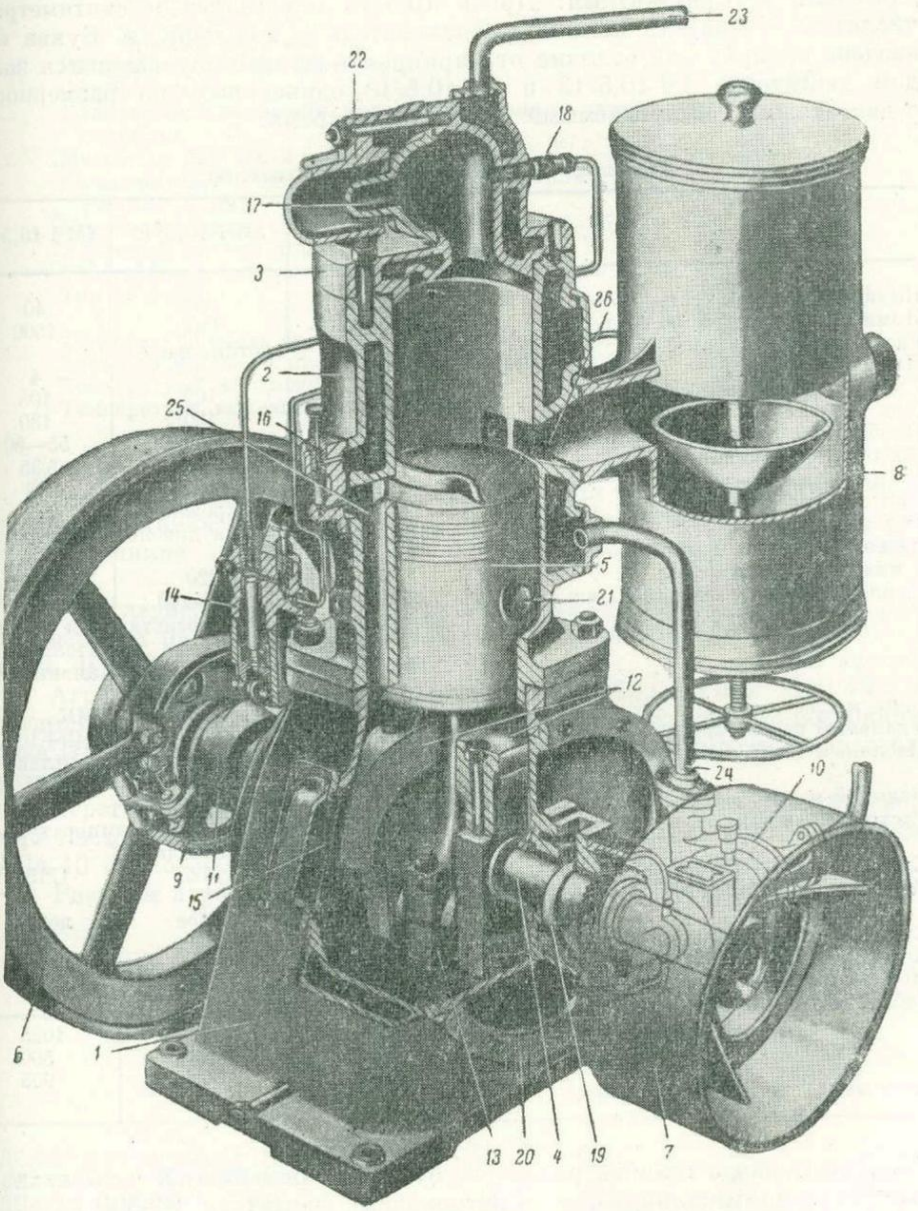


Рис. XXVIII-1. Двигатель А-22.

1 — станина с картером; *2* — цилиндр; *3* — крышка цилиндра; *4* — коленчатый вал; *5* — поршень; *6* — маховик; *7* — шкив; *8* — глушитель; *9* — центробежный регулятор; *10* — водяной насос; *11* — кулачковая муфта; *12* — противовесы; *13* — шатунно-кривошипный подшипник; *14* — нефтяной насос; *15* — всасывающее окно картера; *16* — водокапельник; *17* — каллоризатор (запальный шар); *18* — форсунка; *19* — смазочное кольцо; *20* — боковина картера; *21* — грибок для смазки поршневого пальца; *22* — каллоризаторный колпак; *23* — отводящая трубка охлаждающей воды; *24* — подводящая трубка охлаждающей воды; *25* — всасывающее окно цилиндра; *26* — выхлопное окно цилиндра.

Маркировка двигателя: первая цифра — число цилиндров; буква «Ч» двигатель четырехтактный. Дробь 10,5/13 определяет в сантиметрах: числитель — диаметр цилиндра, знаменатель — ход поршня. Буква «М» введена в марку для отличия от маркировки ранее выпускавшихся заводом двигателей 1Ч-10,5/13 и 2Ч-10,5/13, одинаковых по размерности с двигателями, выпускаемыми в настоящее время.

Техническая характеристика двигателей

	1МЧ-10,5/13	2МЧ-10,5/13	4МЧ-10,5/13
Номинальная мощность, *л. с*	10	20	40
Номинальное число, об/мин	1500	1500	1500
Расположение цилиндров	вертикальное		
Число цилиндров	1	2	4
Диаметр цилиндров, *мм*	105	105	105
Ход поршня, *мм*	130	130	130
Наибольшее давление горения, *кг/см²*	55—60	55—60	55—60
Среднее эффективное давление, *кг/см²*	5,35	5,35	5,35
Степень сжатия	18	18	18
Тип камеры сгорания	вихревая		
Род топлива	соляровое масло или дизельное топливо		
Расход топлива, *г, э. л. с/час* при номинальной мощности	220	220	220
Давление впрыска топлива, *атм*	100—140	100—140	100—140
Регулятор топлива	центробежный без устройства для изменения числа оборотов двигателя		
Система смазки	Комбинированная — циркуляционная и разбрызгиванием		
Сорт масла	автол 18, масло МС или МК		
Удельный расход масла в *г, э. л. с/час*	10+10%		10+10%
Масляный насос	шестеренчатый, с редукционным клапаном		
Водяной насос	коловратный		
Расход охлаждающей воды, *л, э. л. с/час*	около 40 — при разности температур входа и выхода 20°		
Степень неравномерности	1/75	1/125	1/150
Направление вращения (со стороны маховика)	левое	левое	левое
Сухой вес двигателя без маховика, *кг*	210	280	450
Вес маховика, *кг*	81	81	120
Моторесурс двигателя, час	1500 до капитального ремонта		
Габариты двигателя, *мм*:			
длина	536	581	1025
ширина	489	489	560
высота	850,5	860	905

Для привода станков роторного бурения применяются четырехтактные, двенадцатицилиндровые, быстроходные двигатели В2-300.

Этот двигатель экономичен в работе, не требует сложного ухода при эксплуатации, удобен для монтажа и демонтажа.

Техническая характеристика двигателя В2-300

Число цилиндров	12
Расположение цилиндров	*v*-образное под углом 60°
Порядок нумерации цилиндров	со стороны привода

Диаметр цилиндров, *мм*	150
Ход поршня:	
левый ряд, *мм*	180
правый ряд, *мм*	186,7
Рабочий объем всех цилиндров, *л*	38,8
Степень сжатия	$15 \pm 0{,}8$
Направление вращения коленчатого вала со стороны передачи	правое
Мощность двигателя при 1500 об/мин, *л. с.*	300
Рекомендуемое число оборотов для длительной работы, об/мин	1250—1350
Устойчивое число оборотов на холостом ходу, об/мин	не менее 600
Удельный расход топлива *г, л. с. час*	не более 180
Удельный расход масла, *г, л. с. час*	13
Тип смазки	циркуляционная под давлением
Температура масла при входе в двигатель, градус	не ниже 40
Температура масла при выходе из двигателя, градус	не выше 90
Температура входящей воды, градус	не ниже 45
Температура выходящей воды, градус	не выше 90

Электрические двигатели применяются для бурения скважин при наличии источника электроэнергии. В малоосвоенных местах в качестве источника электроэнергии применяются передвижные электростанции.

В последнее время в геологоразведочных партиях для питания электроэнергией нашли себе применение стационарные дизель-силовые агрегаты ДСА-10 и ДСА-20.

Агрегат ДСА-10 состоит из двигателя 1МЧ-10,5/13 или 2МЧ-10,5/13, соединенного полужесткой муфтой с электрогенератором постоянного тока ПН-85 или переменного тока АПНТ-85, который вместе с двигателем устанавливается на сварной фундаментной раме.

Агрегат ДСА-20 состоит из двигателя 2МЧ-10,5/13 и электрогенератора постоянного тока ПН-100 или переменного тока С-81-4. Вес агрегата ДСА-10 около 560 *кг*, ДСА-20 — около 775 *кг*.

Размеры агрегатов ДСА-10 и ДСА-20 даны в табл. XXVIII-1.

Таблица XXVIII-1

Марки агрегата	Основные размеры, *мм*		
	длина	ширина	высота
ДСА-10 с генератором ПН-85	1200	580	965
ДСА-10 » » АПНТ-85	1270	580	965
ДСА-20 » » ПН-100	1445	580	1060
ДСА-20 » » С-81-4	1646	580	1060

Электрогенераторы ПН-85 и ПН-100 — машины постоянного тока напряжением 115 или 230 *в*; АПНТ-85 и С-81-4 — машины переменного тока (трехфазного) напряжением 230 *в*. Характеристика электрогенераторов приведена в табл. XXVIII-2. Общие сведения об электродвигателях даны в табл. XXVIII-3.

Таблица XXVIII-2

Характеристика электрогенераторов

Тип электрогенератора	Завод-изготовитель	Род тока	Мощность, *квт*	Соединение обмоток	Напряжение, *в*	Сила тока, *а*	Тип реостато-возбудителя
ПН-85	«Электросила» им. С. М. Кирова	Постоянный	6,8	—	115	59	РЗВ-015
ПН-85	Тот же	То же	6,8	—	230	29	—
ПН-100	» »	» »	13,3	—	115	116	РЗВ-11
ПН-100	» »	» »	13,3	—	230	58	РВ-6,5
АПНТ-85:							
а) генератор	» »	Переменный	7,2	Треугольник	230	22,6	—
б) возбудитель	» »	Постоянный	0,5	—	50	10	РЗВ-2
С-81-4:							
а) генератор	Завод им. М. И. Калинина	Переменный	12	Звезда с нулем	230	37,6	—
б) возбудитель	Тот же	Постоянный	0,44	—	20	22	—

Таблица XXVIII-3

Общие данные электродвигателей мощностью до 100 *квт*

Марка электродвигателя	Напряжение, *в*	Характеристика	Номинальная мощность, *квт*	Число об/мин
АД и АДО	220/380, 500	I. Электродвигатели асинхронные трехфазного тока с короткозамкнутым ротором. а) защищенные (АД) или с обмазкой лобовых частей специальной пастой (АДО)	0,55—6,0 1,0—10,0	1000 1500
Р	127/220; 220/380; 500	б) в защитном исполнении	4,0—5,2 2,7—8,0 4,5—12,0	750 1000 1500
МА-8 и МА-9	220/380; 500	То же	15—35 2,7—8,0 4,5—12,0	750 1000 1500
МА-200	220/380; 500	То же	6,0—53,0 9,1—72,0 13,0—105,0	750 1000 1500
А	220/380; 500	в) то же, но в защищенном исполнении	4,5—55 1,0—75 0,6—100	750 1000 1500
АЛ-31 до АЛ-52	220/380; 500	То же	1,0—4,5 0,6—7,0	1000 1500
АО	220/380; 500	г) то же, но в закрытом обдуваемом исполнении	4,5—55,0 1,0—75,0 0,6—100	750 1000 1500
МКМА	127/220; 220/380; 500	II. Электродвигатели асинхронные трехфазного тока с фазовым ротором в защищенном исполнении	15,0—33,0 21,0—44,0 29,0—36,0	750 1000 1500
МАК-92	220/380; 500	То же	35,0 45,0 70,0	750 1000 1500

Глава XXIX

НАСОСЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТАХ

При опробовании и эксплуатации гидрогеологических скважин и колодцев применяются диафрагмовые, штанговые и центробежные насосы; эрлифты и гидроэлеваторы.

В зависимости от конструкции водоподъемных устройств последние приводятся в действие вручную, при помощи коннопривода, локомобиля, двигателя внутреннего сгорания, электромотора, компрессора и ветродвигателя (табл. XXIX-1,2)

§ 1. РУЧНЫЕ НАСОСЫ

Таблица XXIX-1

Наименование и марка насоса	Производительность, $м^3$/час	Диаметр, мм				Длина хода поршня, мм	Диаметр поршня, мм	Потребная рабочая сила, чел.
		колодезной трубы	насосной колонки	входного (всасывающего) патрубка	напорного (нагнетательного) патрубка			
Насосная колонка (при 50 качках в минуту)	1,2	32	64	—	—	200	—	1
	1,9	38	75	—	—	200	—	1
	3,0	44	89	—	—	200	—	1
	3,9	50	100	—	—	200	—	1—2
Диафрагмовый (рис. XXIX-1)								
«лягушка» № 1	18	—	—	75	75	—	—	1—2
» № 2	18	—	—	75	—	—	—	1—2
» № 3	24	—	—	100	100	—	—	1—2
» № 4	24	—	—	100	—	—	—	1—2
Ручной поршневой								
БКФ-2	0,9—1,4	—	—	25	25	70	75	1—2
БКФ-4	2,3—3,5	—	—	38	38	90	100	1—2
РН-1	0,7	—	—	19	19	50	65	1
Ручной штанговый (при 60 об/мин)	3,5	—	—	38	38	150	75	1—2
Поршень «Летестю»	1,8—3,6	—	—	—	—	—	—	1—2

§ 2. ШТАНГОВЫЕ НАСОСЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

1. Штанговые насосы с жесткой тягой (рис. XXIX-2).

Таблица XXIX-2

Тип насоса или агрегата	Производительность, $м^3/час$	Высота подъема, *м*	Ход поршня, *мм*	Диаметр поршня, *мм*	Число ходов в минуту	Мощность двигателя, *л. с.*
Буровая техника Новосибирского завода	2,5—12,5	до 100	450	75—150	30—50	8,2
Бурвод III	1,5—4,3	70	170—300	92	20—40	6,75
»	3,8—10,7	60	170—300	145	20—40	10,0
Водомонтаж	4,5—12,5	70	350—600	92—140	25—35	3,4—9,3
НПП-3,5	3,5	до 50	—	75	50	1,5—2,6
НЛ-3 Министерства сельского хозяйства БССР	8—14	до 100	420	92—140	25—40	—
Насосная качалка НК-1	6,72—8,8*		600			
с насосом простого действия	4,48—5,87*	30	400	102	26—34	Л6/3
	2,24—2,93*		200			6
Агрегат для откачки подземных вод	11,1—17,1*	100 при ⌀ труб 6″	600			
НК-2 с насосом двойного действия	7,4—13,3*	150 при ⌀ труб $4^1/_2$″	400	92—140	26—40	Д-38
	3,7—5,7*		200			38

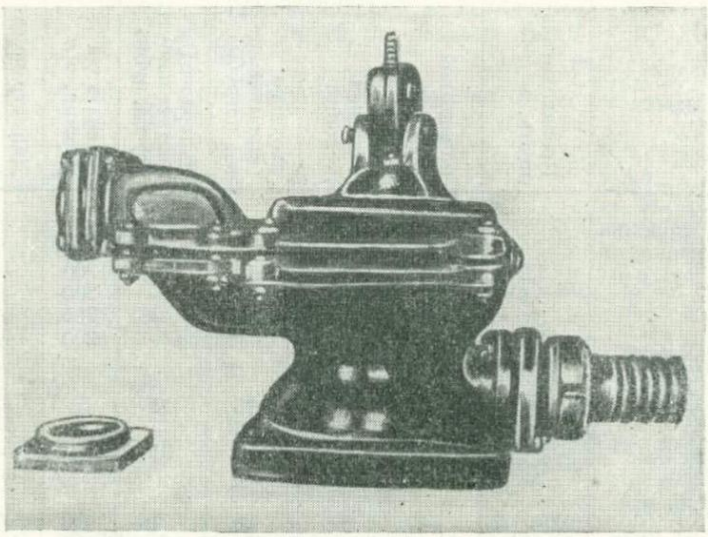


Рис. XXIX-1. Диафрагмовый насос «лягушка».

* Примечание Производительность дана расчетная, согласно параметрам насосной установки.

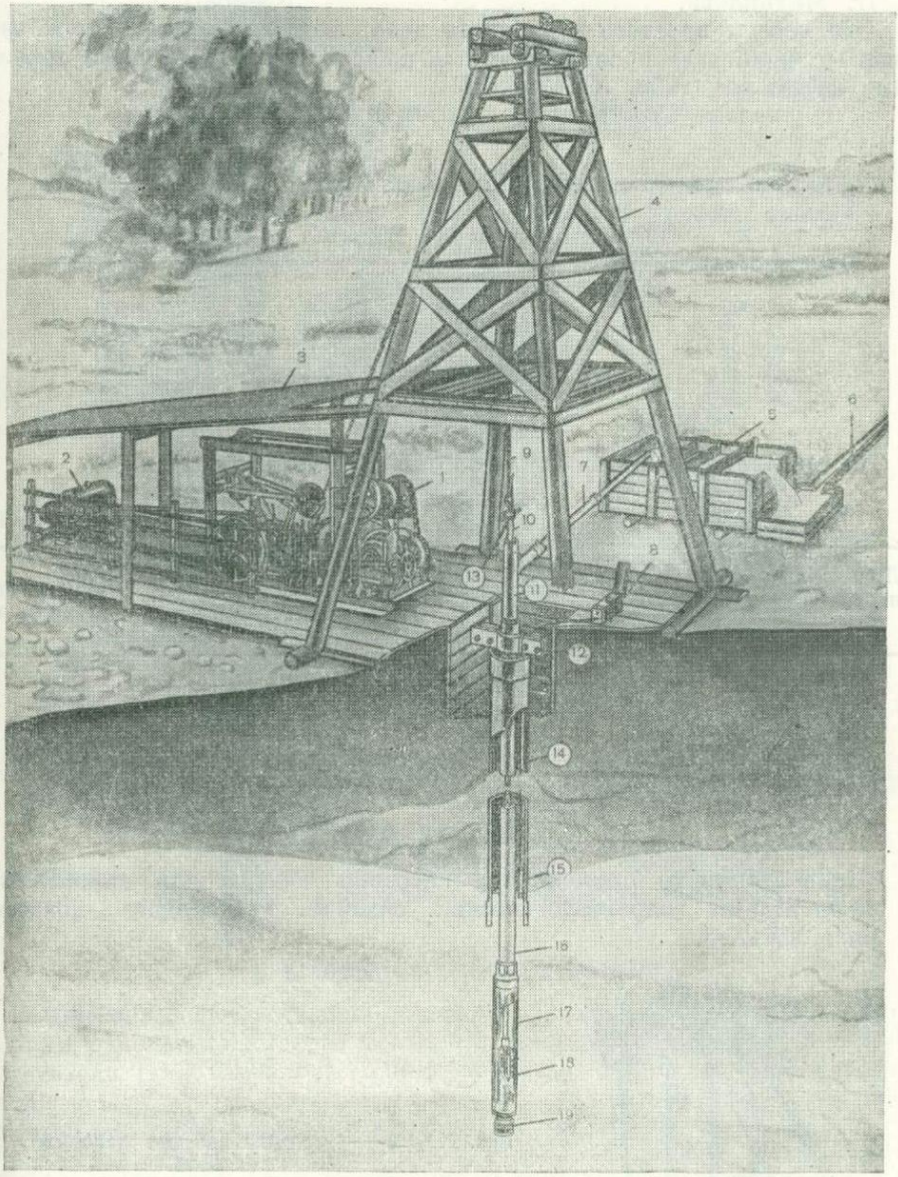


Рис. XXIX-2. Штанговый насос с жесткой тягой (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).

Опытная откачка из одиночной скважины штанговым насосом.

1 — ударно-канатный станок; *2* — электродвигатель; *3* — откос; *4* — вышка буровая (копер); *5* — водослив переносный; *6* — лоток водоотводный; *7* — труба водосливная; *8* — электроуровнемер; *9* — канат рабочий; *10* — тяги насоса; *11* — тройник водосливный; *12* — хомут; *13* — хомут шарнирный; *14* — трубы обсадные; *15* — датчик уровнемера; *16* — колонна труб водоподъемных; *17* — цилиндр штангового насоса; *18* — поршень насоса; *19* — сетка всасывания.

2. Поршневые безманжетные насосы с гибкой тягой системы М. И. Михайлова.

Эти насосы простого и двойного действия с гибкой тягой рекомендованы к серийному производству для работы с существующими приводными лебедками (табл. XXIX-3,4).

а) поршневые безманжетные насосы простого действия

Таблица XXIX-3

Диаметр поршня, *мм*	Производительность, *м³/час*	Высота подъема, *м*	Длина хода поршня, *мм*
50—60	1,1—1,8	30—50	250—400
65—70	1,9—3,0	30—50	250—400
75—89	2,5—4,0	30—50	250—400
100—114	4,5—7,2	30—50	250—400
125—140	7,0—11,2	30—50	250—400

б) поршневые безманжетные насосы двойного действия

Таблица XXIX-4

Диаметр поршня, *мм*	Производительность, *м³/час*	Высота подъема (напора), *м*	Длина хода поршня, *мм*	Число ходов поршня в мин.
65	3,0	20—30 (до 50)	400	40
75	4,0	20—30 (до 50)	400	40
100	7,0	20—30 (до 50)	400	40
125	18,0	20—30 (до 50)	400	40

§ 3. НАСОСНЫЕ ЛЕБЕДКИ

Наиболее часто применяемая насосная лебедка для опробования и эксплуатации гидрогеологических скважин и колодцев показана на рис. XXIX-3.

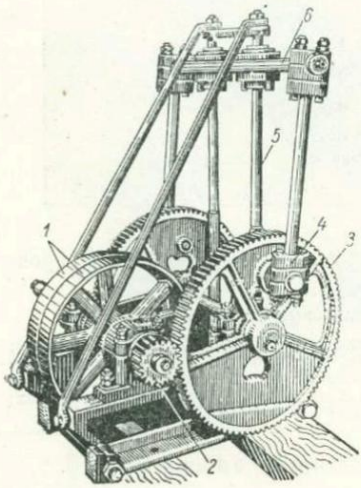


Рис. XXIX-3. Насосная лебедка завода «Буровая техника».

1 — шкивы; *2* — малая шестерня; *3* — большая шестерня; *4* — шатунно-кривошипный механизм; *5* — направляющая стойка; *6* — ползун.

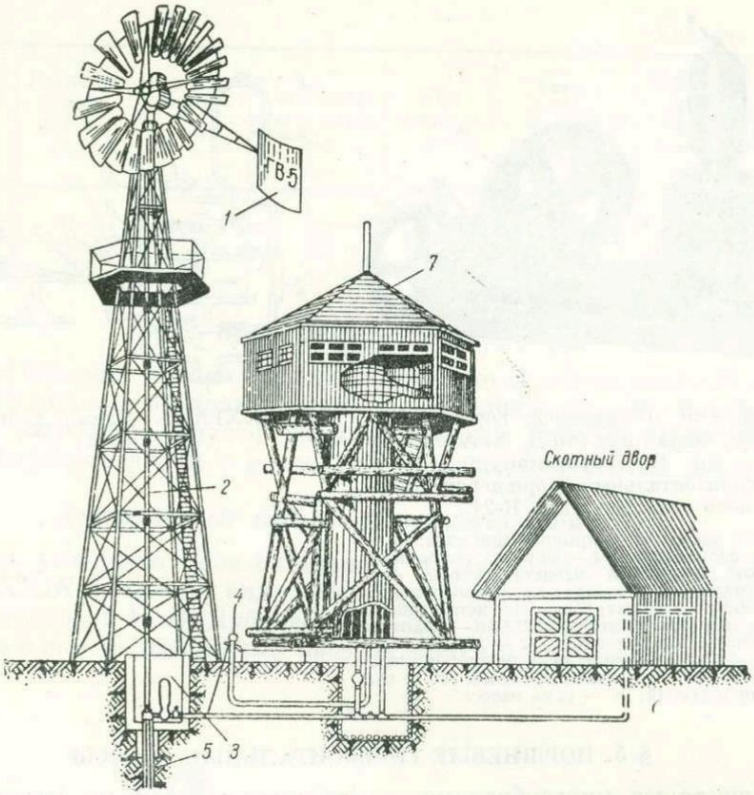


Рис. XXIX-4. Схема ветронасосной установки сельскохозяйственного типа.

1 — хвост для установки ветроколеса на ветер; *2* — штанга ветродвигателя; *3* — насосная шахта; *4* — подающая труба; *5* — нагнетательная труба; *6* — поршневой насос; *7* — водонапорная башня с баком на 25—50 $м^3$ воды.

§ 4. ВЕТРОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Ветронасосные установки успешно применяются в степных и засушливых районах Советского Союза. На заводах изготовляются ветряные двигатели ТВ-5, ТВ-8 и Д-12 на башнях высотой 15—16 *м*. Более эффективные результаты дают ветронасосные установки на башнях 20—30 *м*. Общий вид такой установки приведен на рис. XXIX-4.

Характеристика ветронасосных установок дана в табл. XXIX-5.

Таблица XXIX-5

Марка		Производительность, $м^3/час$	Высота подъема (напор), *м*	Диаметр поршня насоса, *мм*	Длина хода поршня, *мм*	Число ходов поршня в минуту
ветродвигателя	штангового насоса					
ТВ-5	НП-95	0,6 ÷ 4,0	10 ÷ 70	95	300—400	25
ТВ-8	НП-145	1 ÷ 13	20 ÷ 80	145	250—450	25

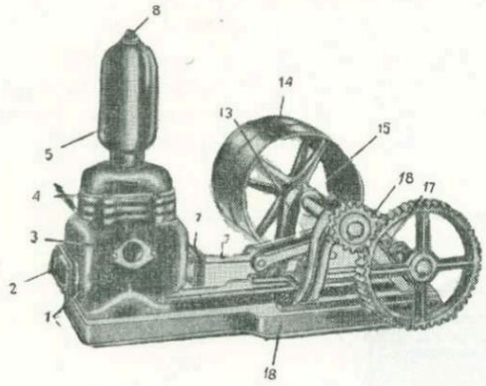


Рис. XXIX-5. Поршневой горизонтальный насос, общий вид (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).

Насос горизонтальный поршневой двойного действия типа К-21.

1 — корпус насоса; *2* — крышка цилиндра; *3* — патрубок всасывающий; *4* — коробка клапанная; *5* — колпак воздушный нагнетательный; *6* — пробка воздушного колпака; *7* — шток поршня; *8* — поршень; *9* — патрубок нагнетательный; *10* — клапаны нагнетательные; *11* — клапаны всасывающие; *12* — сальники; *13* — шатун; *14* — шкивы холостой и рабочий; *15* — подшипник приводного вала; *16* — передача зубчатая; *17* — вал коленчатый; *18* — рама насоса.

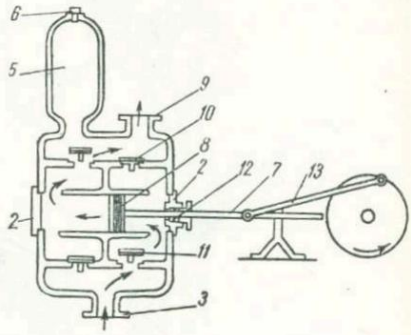


Рис. XXIX-5а. Схема действия насоса.

§ 5. ПОРШНЕВЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАСОСЫ

Существуют многообразные конструкции поршневых насосов, приводимых в действие механическим двигателем. Поршневые горизонтальные насосы широко применяются при колонковом бурении. Кроме того, эти насосы могут служить для перекачки чистой и немного загрязненной воды, нефти и других жидкостей. В сельском водоснабжении, при эксплуатации в основном поверхностных водоемов часто применяются горизонтальные насосы (рис. XXIX-5,5а) [Д. А. Алексеев и В. В. Дубровский, 1954].

Характеристика горизонтальных насосов приведена в табл. XXIX-6.

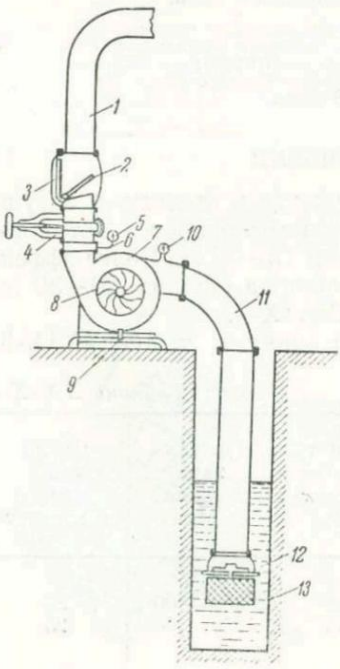


Рис. XXIX-6. Схема установки горизонтального центробежного насоса.

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.

Таблица XXIX-6

Марка насоса	Производительность, $м^3/час$	Напор, *м*	Диаметр цилиндра, *мм*	Ход поршня, *мм*	Число двойн. ходов в минуту	Потребная мощность, *квт*	Вес насоса, *кг*
К-18	4—6	30	100	150	34—50	2,2	175
К-21	10—18	30	150	200	29—45	3,8	410
НБ-100/30	360	300	—	—	—	—	—

§ 6. ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ НАСОСЫ

Центробежные насосы широко применяются в практике. В последнее время широко внедряются погружные электронасосы, которые постепенно вытесняют другие виды глубинных насосов. Центробежные насосы изготавливаются с различной производительностью и напором.

Центробежные насосы с горизонтальной осью

Схема установки горизонтального центробежного насоса показана на рис. XXIX-6. Общий вид насоса приводится на рис. XXIX-7,7а. [Д. А. Алексеев и В. В. Дубровский, 1954]. Техническая характеристика горизонтальных центробежных насосов дается в табл. XXIX-7.

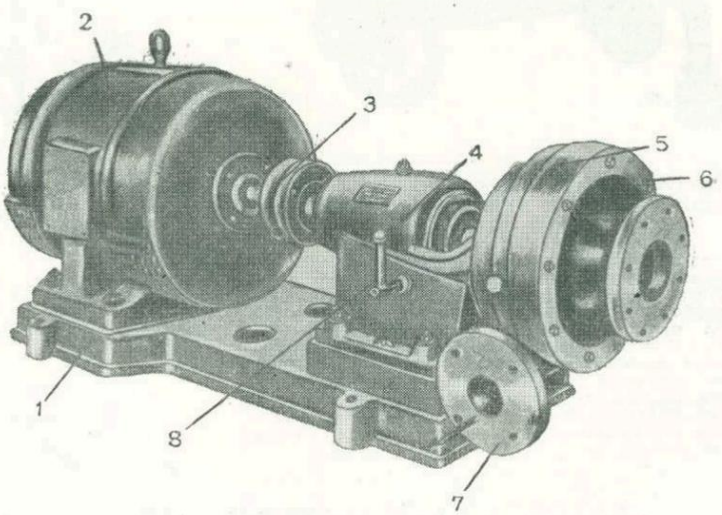


Рис. XXIX-7. Общий вид центробежного горизонтального насоса (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).
Насос центробежный одноступенчатый консольного типа (типа К).

1 — рама насоса; *2* — электродвигатель; *3* — муфта упругая; *4* — стойка станины; *5* — корпус насоса; *6* — крышка с входным патрубком; *7* — патрубок нагнетательный; *8* — маслоуказатель; *9* — колесо рабочее; *10* — сальник с водяным уплотнением; *11* — вал насоса; *12* — подшипники шариковые.

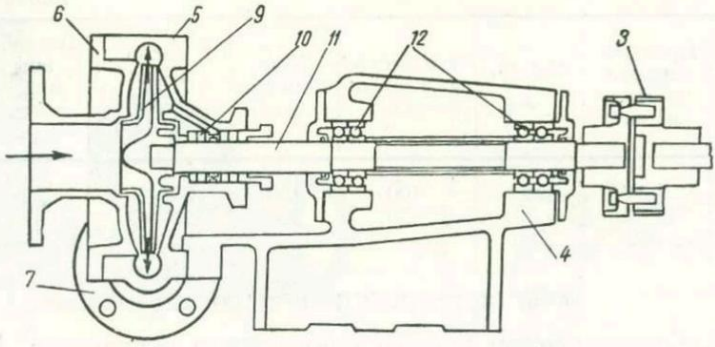


Рис. XXIX-7б. Схема действия насоса.

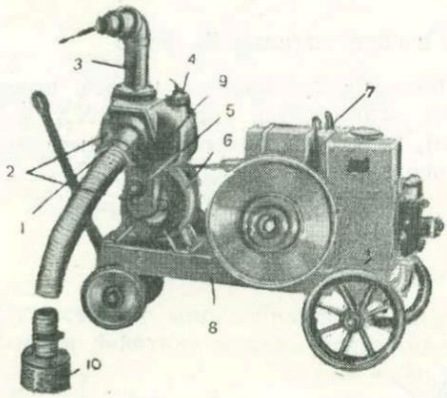


Рис. XXIX-8. Насос центробежный самовсасывающий (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).

Насос самовсасывающий центробежный (типа С—245). Производительность до 120 *м*³/*час*. Напор до 20 *м*. Потребляемая мощность 11 *л. с.* (8 *квт*).
1 — патрубок всасывающий; *2* — корпус насоса; *3* — патрубок нагнетательный; *4* — крышка заливочного отверстия; *5* — люк для чистки всасывающей камеры; *6* — камера насоса спиральная; *7* — двигатель дизель 7-62; *8* — тележка; *9* — камера нагнетательная; *10* — сетка всасывания; *11* — клапан всасывающей камеры; *12* — колесо рабочее насоса; *13* — затвор масляный; *14* — роликовые подшипники; *15* — вал насоса; *16* — шкив.

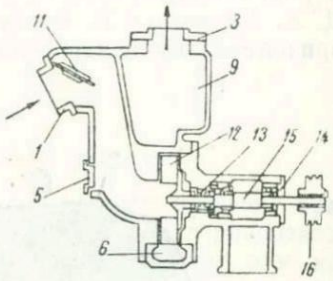


Рис. XXIX-8а. Схема действия насоса.

На рис. XXIX-8,8а, 9,9а, 10 показаны самовсасывающие центробежные насосы [Д. А. Алексеев и В. В. Дубровский, 1954].

Центробежные насосы с вертикальной осью

Центробежные насосы с вертикальной осью служат для подъема воды из скважин при глубоком расположении статического уровня подземных вод. Общий вид насосов показан на рис. XXIX-11. В табл. XXIX-8 дается техническая характеристика насосов.

Таблица XXIX-7

Марка насоса	Производительность, *м³/час*	Напор, *м*	Диаметр, *мм*			Число оборотов в минуту	Мощность двигателя, *квт*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель
			входного патрубка	напорного патрубка	приемного клапана				
ЦНШ-40	8	6				1425	1,0		«Красный факел»
	15	24	50	40	100	2925	3,2	28	
	24	18				2925	3,2		» »
ЦНШ-65	30	22				2520	5,8		» »
	41	20				2520	7,8		» »
	50	18	76	65	125	2520	7,8	42	» »
	60	24				2925	7,4		» »
	70	20				2925	7,4		» »
ЦНШ-80	28	10				1425	2,2		» »
	50	38				2925	12		» »
	65	12	80	80	150	1980	4,2	50	» »
	75	22				2520	7,8		» »
	86	30				2925	12		» »
1В-0,9	1	37				1490			
	1,8	21	25	32		1490	1,7	42	
	2,5	9,5				1490			
КСМ-30 × 50	30	50	125	100	200	1450	9	557	им. Кирова
КСМ-50 × 50	50	50	125	100	200	1450	14	557	»
КСМ-50 × 75	50	75	125	100	200	1450	21	633	»
КСМ-50 × 100	50	100	125	100	200	1450	28	709	»
КСМ-70 × 75	70	75	125	100	200	1450	29	633	»
КСМ-75 × 100	70	100	125	100	200	1450	37	709	»
КСМ-100 × 60	100	60	200	150	250	1450	30	971	»
КСМ-100 × 90	100	90	200	150	250	1450	45	1102	»
КСМ-150 × 60	150	60	200	150	250	1450	45	971	»
КСМ-150 × 90	150	90	200	150	250	1450	66	1102	»
АЯП-75 × 2	75	40				1450	16	325	«Красный факел»
АЯП-75 × 3	75	60	125	100	200	1450	24	370	» »
АЯП-75 × 4	75	80				1450	30	415	» »
ЭСН-2Ш	3	35				2890	2,4	—	—
1½К-6	11	17,4	40	32		2900	1,7	30	Мелитопольский
	14	14							»

Продолжение табл. XXIX-7

Марка насоса	Производительность, $м^3/час$	Напор, $м$	Диаметр, $мм$			Число оборотов в минуту	Мощность двигателя, $квт$	Вес, $кг$	Завод-изготовитель
			входного патрубка	напорного патрубка	приемного клапана				
1¹/₂К-6а	5 9,5 13,5	16 14,2 11,3	40	32		2900	1,7	30	Мелитопольский » »
1¹/₂К-6б	4,5 9 13	12,8 11,4 6,8	40	32		2900	1	30	»
2К-6	10 20 20	34,5 18,8 30,8	50	40	100	2900	4,2	35	» » »
2К-6а	10 20 30	28,5 25,2 20	50	40	100	2900	3,2	35	» » »
2К-6б	10 25	22 16,3	50 50	40 40	100 100	2900 2900	2,2 2,2	35 35	» »
3К-6	30 45 60 70	62 57 50 44,5	75	50	125	2900	16	115	» » » »
3К-6а	30 40 50 65	45 41,5 37,5 30	75	50	125	2900	10	115	» » » »
3К-9	30 45 55	34,8 31 27,5	80	50	125	2900	7,2	46	» » »
3К-9а	25 35 45	24,2 22,5 19,5	80	50	125	2900	4,2	46	» » »

Продолжение табл. XXIX-7

Марка насоса	Производительность, $м^3/час$	Напор, *м*	Диаметр, *мм*			Число оборотов в минуту	Мощность двигателя, *квт*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель
			входного патрубка	напорного патрубка	приемного клапана				
4К-6	65	98	100	65	150	2900	48	126	Мелитопольский
	90	91							»
	115	81							»
	135	72,5							»
4К-6а	65	82	100	65	150	2900	35	126	»
	85	76							»
	105	69,5							»
	125	61,6							»
4К-8	70	59	150	100	200	2900	28	162	»
	90	54							»
	109	47,8							»
	120	43							»
4К-12	65	37,7	100	80	150	2900	16	109	»
	90	34,6							»
	120	28							»
4К-12а	85	28,6	100	80	150	2900	12	109	»
6К-8	110	36,5	150	100	200	1450	29	162	»
	140	35,9							»
	170	32,5							»
	200	29,2							»
8К-12	220	32	200	125	250	1450	37	183	»
	280	29							»
	340	25							»
АЯПЗ-75×2	75	50	100	100	200	1450	19	390	«Красный факел»
АЯПЗ-75×3	75	75					28	458	» »
АЯПЗ-75×4	75	100					37	526	» »

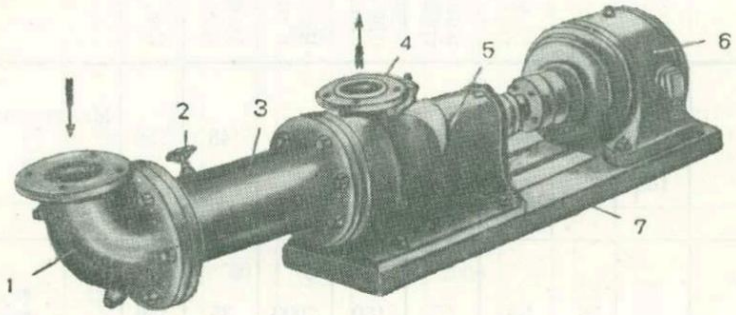


Рис. XXIX-9. Насос центробежный самовсасывающий. Насос винтовой самовсасывающий горизонтальный типа ВН-15.

Производительность 15 $м^3$/*час*. Напор до 50 *м*. Потребляемая мощность 5,5 *квт*. *1* — патрубок всасывающий; *2* — вентиль пропускной трубы; *3* — обойма рабочей камеры насоса; *4* — патрубок напорный; *5* — стойка опорная; *6* — электродвигатель; *7* — рама; *8* — статор резиновый; *9* — ротор (винт) стальной; *10* — затвор масляный; *11* — вал гибкий; *12* — вал насоса полый; *13* — подшипники шариковые; *14* — соединение валов полого и гибкого.

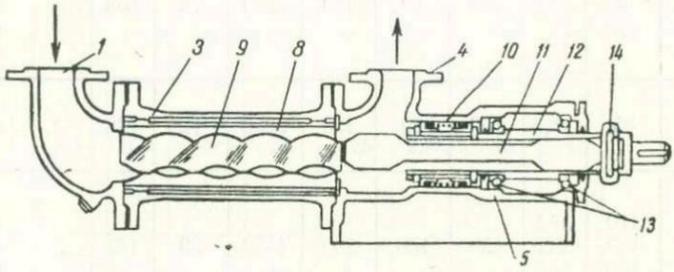


Рис. XXIX-9а. Схема действия насоса.

7. ЭРЛИФТЫ

Эрлифтная установка состоит из воздухопроводной трубы, водоподъемной трубы, смесителя, приемного бачка и воздушного компрессора. Компрессор по воздухопроводной трубе подает сжатый воздух в скважину, вследствие чего образуется смесь воды и воздуха (эмульсия), которая в силу своего удельного веса подымается по водоподъемной трубе, ударяется об отражатель приемного бачка. При этом воздух выделяется, а вода, попадая в приемный бачок, по водоотводным трубам направляется по назначению. Схема эрлифта приводится на рис. XXIX-12. [Д. А. Алексеев и В. В. Дубровский, 1954].

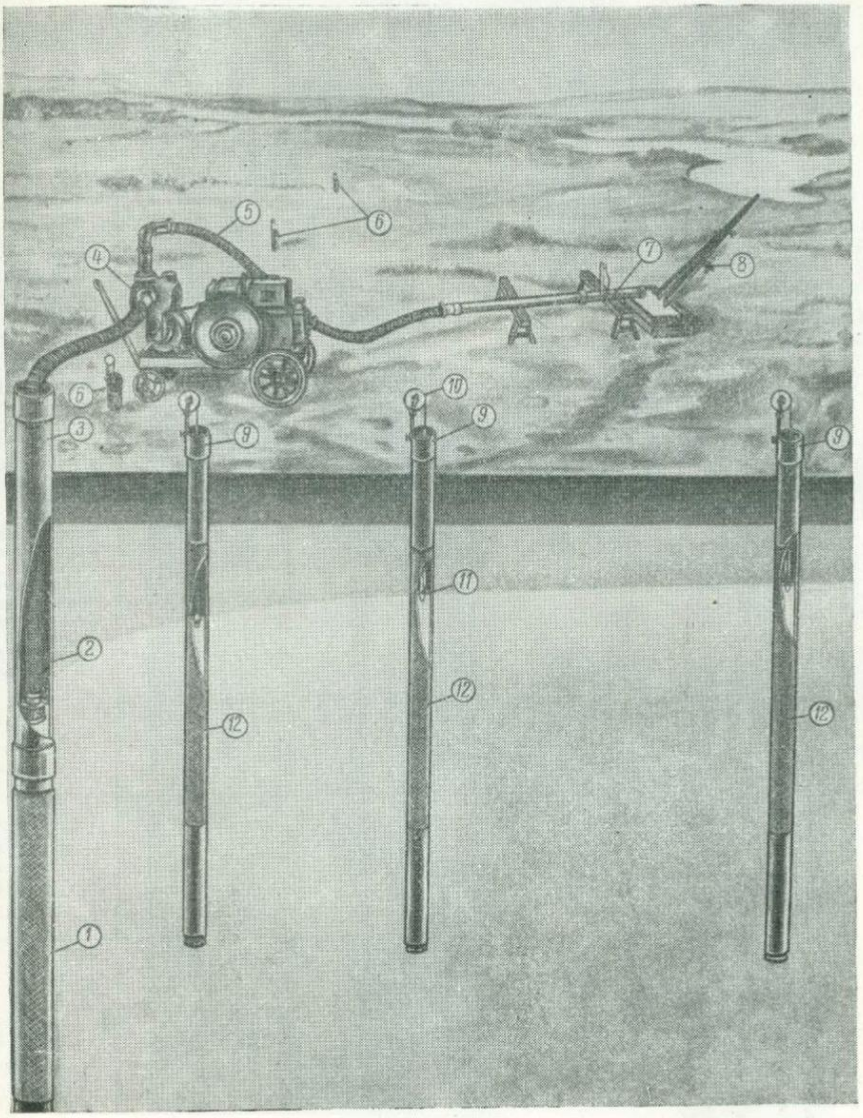


Рис. XXIX-10. Насос центробежный самовсасывающий (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).

Кустовая откачка самовсасывающим насосом (наблюдательные скважины расположены по двум лучам). *1* — фильтр центральной скважины; *2* — рукав насоса всасывающий; *3* — скважина центральная; *4* — насос самовсасывающий (СВН-245); *5* — рукав насоса водоотводящий; *6* — скважины наблюдательные первого луча куста; *7* — расходомер пьезометрический; *8* — лоток водоотводящий; *9* — скважины наблюдательные второго луча куста; *10* — уровнемер дисковый; *11* — поплавок уровнемера; *12* — фильтр наблюдательной скважины.

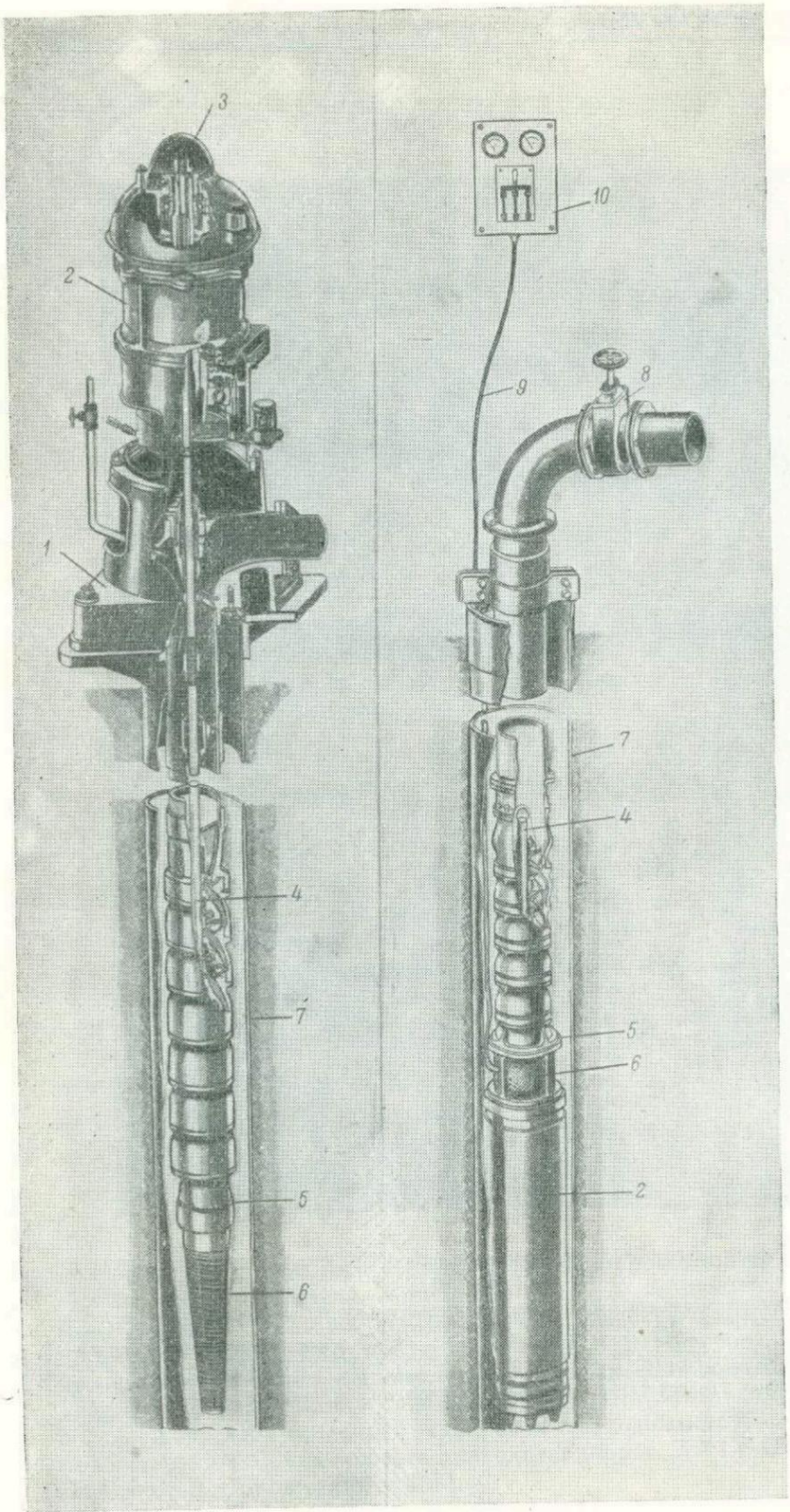


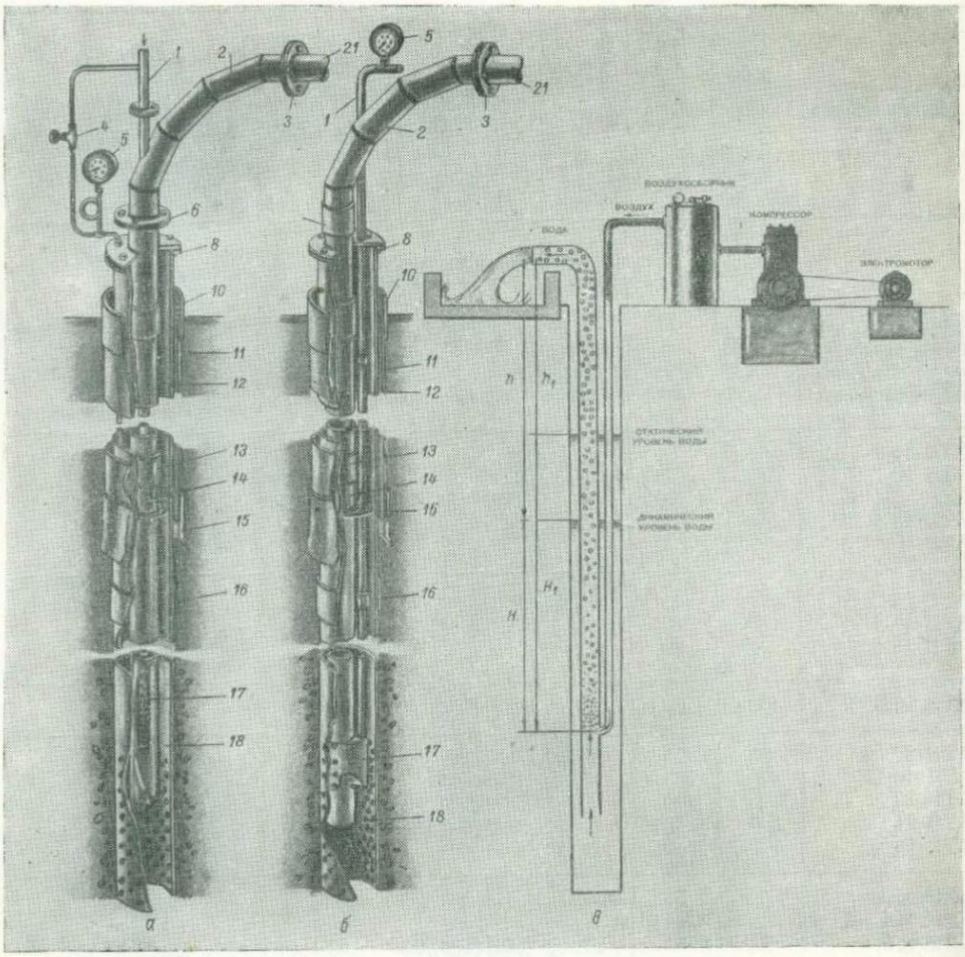
Рис. XXIX-11. Артезианский турбинный насос и центробежный насос с погружным электродвигателем, по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому.

1 — станина; *2* — электродвигатель; *3* — колпак алюминиевый; *4* — вал трансмиссионный; *5* — корпус нижний рабочего узла; *6* — сетка всасывания; *7* — колонна обсадных или фильтровых труб; *8* — задвижка; *9* — кабель; *10* — щит распределительный.

Таблица XXIX-8

Марка насоса	Производительность, $м^3/час$	Высота подъема, $м$	Мощность электродвигателя, $квт$	Наименьший диаметр обсадных труб, $мм$	Общий вес (одной секции), $кг$	Завод-изготовитель
Артезианские турбинные насосы						
АТН-8-1-7	18—30	30	7	200 (8″)	1414 (65)	Завод Главстроймеханизации Министерства угольной промышленности
АТН-8-1-11		45	10		1954 (65)	
АТН-8-1-16		65	14		2703 (65)	
АТН-8-1-22		90	20		3378 (65)	
АТН-10-1-4	70	30	14	250 (10″)	3584 (117)	То же
АТН-10-1-6		45	20			» »
АТН-10-1-8		60	28			» »
АТН-10-1-11		80	40			» »
АТН-10-1-13		100	45			» »
АТН-14-3	180	45	45	350 (14″)	7000 (233)	То же
АТН-14-4		60	45			» »
АТН-14-6		90	75			» »
АТН-16-6	400	100	180	400 (16″)	15 000 (320)	То же
АТН-8	30	90	20	200 (8″)	3375	То же
АТН-10	70	100	40	250 (10″)	5525	» »
АТН-12	120	100	60	300 (12″)	7550	» »
АТН-14	200	100	105	350 (14″)	10100	» »
АТН-16	400	100	175	400 (16″)	12800	» »
12НА × 3	150	33	28,5	300 (12″)	2550	То же
12НА × 4		44	37		3270	» »
12НА × 5		55	48		3970	» »
12А-18 × 6		66	56		5050	» »
12А-18 × 8		88	75		6470	» »
Артезианские винтовые насосы						
ВАН-4/35	5	35	1,7	100 (4″)	828	То же
ВАН-4/60	6	60	2,8	100 (4″)	1284	» »
Артезианские насосы с погружным электродвигателем						
6-АП-9 × 6	7,2	50	2,5	150 (6″)	90 *	Завод им. Калинина
8-АП-9 × 6	18	100	12	200 (8″)	210	» » »
10-АП-18 × 6	72	85	35	250 (10″)	326,2	» » »
12-АП-18 × 2	198	65	60	300 (12″)	610	» » »
14-АП-18 × 12	100	280	147	350 (14″)		» » »
ЭПЛ-6	7—20	15—97		150 (6″)	до 103	—

* Вес насосов АП и ЭПЛ приводится без учета труб и опорной части.



Расчет эрлифтной установки

Определение глубины погружения воздухопроводной трубы производится по формуле

$$l = kh, \qquad \text{(XXIX-1)}$$

где l — глубина погружения воздухопроводной трубы, *м*;

k — коэффициент, равный отношению глубины погружения смесителя (форсунки) к высоте подъема воды, обычно изменяется 1,9—3,0;

h — расстояние от динамического уровня до точки излива эмульсии, *м*.

Водоподъемная труба опускается на 3—5 *м* ниже эрлифтного смесителя. На нижний конец смесителя, расположенного внутри водоподъемных труб, привертывается открытая труба того же диаметра, длиной 1,5—2 *м*.

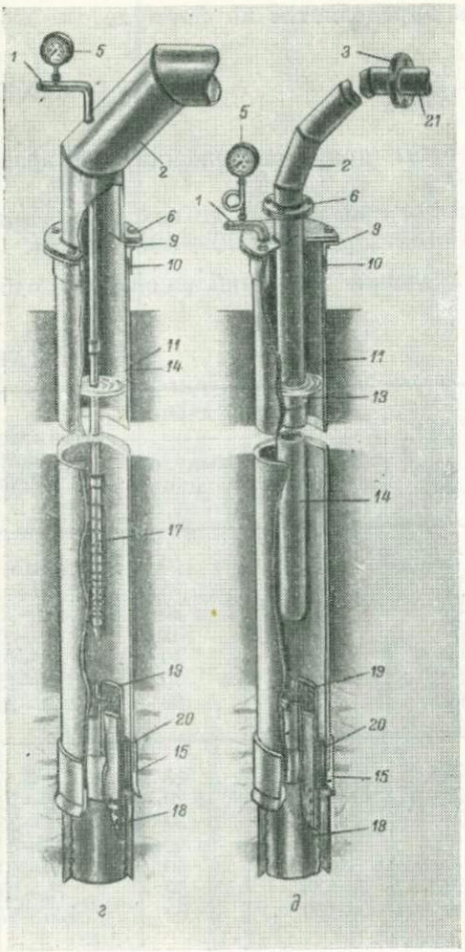


Рис. XXIX-12. Эрлифты. (по Д. А. Алексееву и В. В. Дубровскому).

а) система с концентрическим расположением водоподъемной и воздухопроводной труб;
б) система с параллельным расположением водоподъемной и воздухопроводной труб;
в) схема работы эрлифта: h_1 — высота подъема при изливе; h — высота подъема при установившемся режиме; H — глубина погружения смесителя ниже динамического уровня; H_1 — глубина погружения смесителя ниже статического уровня;
г) система с одной воздухопроводной трубой;
д) система с одной водоподъемной трубой; *1* — воздухопроводная труба; *2* — отвод водоподъемной трубы; *3* — фланец трубопровода (*21*); *4* — вентиль манометрической трубы; *5* — манометр; *6* — фланец отвода; *7* — муфта отвода; *8* — фланец фильтровой колонны; *9* — фланец на обсадной трубе; *10* — муфта обсадной трубы; *11* — обсадная труба; *12* — фильтровая колонна; *13* — муфта водоподъемной трубы; *14* — водоподъемная труба; *15* — башмак обсадной трубы; *16* — муфта фильтровой колонны; *17* — смеситель; *18* — фильтр; *19* — замок фильтра; *20* — сальник; *21* — трубопровод.

Удельный расход воздуха определяется по формуле

$$q_в = \frac{h}{23\,\eta \lg \frac{h\,(k-1)+10}{10}}, \qquad \text{(XXIX-2)}$$

где $q_в$ — удельный расход воздуха, $м^3$ на 1 $м^3$ воды;
η — коэффициент полезного действия эрлифта (0,25 — 0,30).

Необходимое количество воздуха определяется по формуле

$$Q_в = Q q_в n, \qquad \text{(XXIX-3)}$$

где $Q_в$ — расход потребного воздуха, $м^3/мин$;
Q — количество воды (дебит скважины), $м^3/мин$;
n — коэффициент, равный 1,2, учитывающий потери воздуха в трубах.

Диаметр водоподъемной трубы определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{Q(1+q_в)}{0{,}785 v_{изл}}}, \qquad \text{(XXIX-4)}$$

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 принимать равной $600 \div 800$ *мм/сек*.

В табл. XXIX-9 приводятся сведения для приближенного подбора диаметров труб эрлифта.

Таблица XXIX-9

Расположение труб эрлифта	Диаметр скважины (фильтра), *мм*	Внутренний диаметр		Производительность, $м^3/час$
		водоподъемной трубы, *мм*	воздухопроводной трубы, *мм*	
1. 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
2. Воздухопроводная труба расположена рядом с водоподъемной	75	32	15	3
	112	50	20	8—10
	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

Для эрлифтных установок применяются переносные, передвижные и стационарные воздушные компрессоры, техническая характеристика которых приводится в табл. XXIX-10.

8. ГИДРОЭЛЕВАТОРЫ (ВОДОСТРУЙНЫЕ НАСОСЫ)

Гидроэлеваторы, или водоструйные насосы широко используются при проходке шахт, а также при водопонижении. В последнее время разработаны конструкции гидроэлеваторов для подъема воды из скважин диаметром 100, 150 и 200 *мм*.

Гидроэлеваторы просты в изготовлении и более надежны в эксплуатации, чем эрлифты. Работа гидроэлеватора основана на том, что по напорным трубам от насоса к его насадке подводится под давлением рабочая вода (рис. XXIX-13). Вода через насадку со скоростью до 5 *м/сек* попадает в смесительную камеру. За счет быстродвижущейся струи воды в смесительной камере создается разрежение, в силу которого происходит всасывание воды из водоприемника, которая через диффузор попадает в нагнетательный трубопровод.

Таблица XXIX-10

Производительность, $м^3/мин$	Максимальное давление, *ат.м*	Марка компрессора	Габаритные размеры, *м*			Двигатель	Вес, *кг*	Завод-изготовитель
			длина	ширина	высота			
		Компрессоры переносные						
1,25	7	ПКУ-1,2	—	—	—	Электромотор 15,2 *квт*	570	Министерство электростанций
3	7	ПКС-3М	3,53	1,49	1,23	ЗИС-120	1685	Министерство машиностроения и приборостроения
		Компрессоры передвижные						
4,65	7	ЗИФ-ШВКС-5	2,80	1,18	1,48	Электромотор 34 *квт*	2200	
5	7	ЗИФ-55	3,46	1,88	1,78	ЗИС-120	2750	
5	7	ВКС-1	3,75	1,85	1,93	Электромотор 50 *квт*	3400	Министерство электростанций
5	7	ПКС-5	4,93	1,87	2,13	ЗИС-120	2796	Министерство машиностроения и приборостроения
6	6,5	ПКС-6	3,8	1,90	1,90	ЗИС-120	2700	То же
9	6	ДК-9	5,04	1,85	2,55	КДМ-46	6000	Министерство электростанций
		Компрессоры стационарные						
3	6	ВК-3-6	0,70	0,90	1,29	Электромотор 23 *квт*	650	Министерство машиностроения и приборостроения
3	7	КСЭ-3М	1,90	0,94	1,31	Электромотор 20 *квт*	1150	То же
3	7	ПКС-3М	3,55	1,48	1,80	ЗИС-5	1650	» »
6	7	КСЭ-6М	2,13	1,03	1,27	Электромотор 40 *квт*	1520	» »
6	7	ПКС-6М	4,27	1,875	2,00	ЗИС-5	2800	» »
10	8	200В-10/8	1,38	0,96	1,43	Электромотор 80 *квт*	1440	» »
20	8	160В-20/8	1,71	1,91	1,68	То же 155—160 *квт*	2900	» »
25	8	2СГ-8	2,68	2,775	4,2	То же 190 *квт*	5120	Министерство нефтяной промышленности
40	8	В-300-2К	3,45	2,60	2,57	То же 250 *квт*	9200	Министерство машиностроения и приборостроения
100	8	2ВГ	6,15	4,425	2,45	То же 625 *квт*	24350	То же

Наиболее распространены следующие две схемы гидроэлеваторного водоотлива (рис. XXIX-14а, б): 1) когда вся вода, нагнетаемая насосами, используется для работы гидроэлеватора, 2) когда часть воды идет на работу гидроэлеватора, а другая часть подымается на нужную высоту.

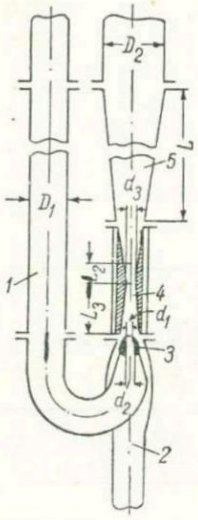


Рис. XXIX-13. Схема гидроэлеватора.

1 — напорная труба; *2* — всасывающий шланг; *3* — насадка; *4* — смесительная камера; *5* — диффузор.

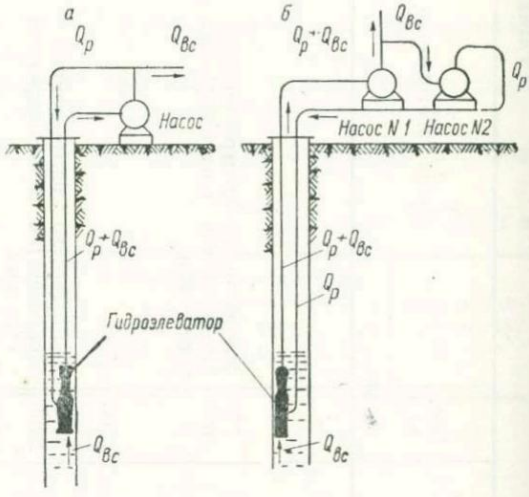


Рис. XXIX-14. Схема гидроэлеваторного водоотлива.

В табл. XXIX-11 приводится техническая характеристика гидроэлеваторов Главшахтстроя.

Таблица XXIX-11

Производительность установки, $м^3/час$	Номинальный напор, $м$	Центробежный горизонтальный насос		Высота всасывания гидроэлеватора, $м$	К. п. д.	Вес гидроэлеватора, $кг$	Примечание
		производительность, $м^3/час$	напор, $м$				
20	60	50	95	5	0,20	—	Применяется для откачки воды из затопленных шахт
25	60	100	180	5	0,22	88	
40	60	150	180	5	0,22	138	
300	100	300	480	5	0,24	—	

Глава XXX

ФИЛЬТРЫ

Фильтры предназначены для предотвращения обвала водоносной породы или выноса ее водой. Одновременно они должны свободно пропускать подземную воду.

Водоносные породы подразделяются на рыхлообломочные (пески, галечники), трещиноватые (песчаники, граниты, сланцы) и закарстованные (известняки, доломиты и др.). В устойчивых трещиноватых или закарстованных породах фильтры обычно не ставятся.

К фильтрам предъявляются следующие требования:

1) условия прохода воды через фильтр должны по возможности приближаться к условиям фильтрации в естественной структуре водоносной породы;

2) фильтр должен обладать максимальной возможной скважностью, т. е. оказывать минимальное сопротивление движению воды из породы в скважину;

3) материал, из которого изготовляется фильтр, должен быть прочным и достаточно устойчивым против химического и электролитического воздействия подземных вод;

4) изготовление фильтра должно быть просто и дешево.

Фильтры подразделяются на металлические и неметаллические.

§ 1. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

По конструктивным особенностям и характеру своей работы различаются следующие металлические фильтры:

1. Дырчатые
2. Щелистые
3. Сетчатые
4. Проволочные
5. Каркасно-стержневые
6. Гравийно-проволочные
7. Мостовые
8. Корзинчатые
9. Коробчатые
10. Гравитационные

1. Дырчатый фильтр представляет собой перфорированную трубу, которая не требует обмотки специальной фильтровой сеткой (рис. XXX-1). Устанавливается в трещиноватых обваливающихся породах или гравийно-галечниковых песках. Кроме того, он может служить каркасом для других фильтров.

Дырчатый фильтр 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 филь-

трующей части трубы (скважность) должно составлять не менее 15%. Оптимальная скважность обычно принимается в пределах 20—25%.

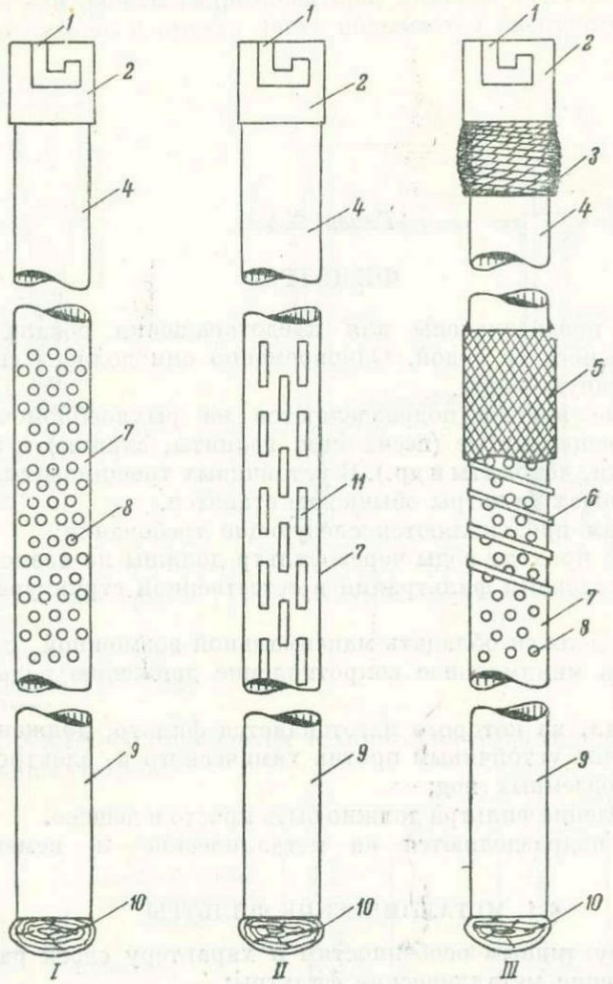


Рис. XXX-1. Схема устройства фильтров:

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.

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
Диаметр 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
Число отверстий на 1 *пог. 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

Отверстия сверлятся либо снаружи, либо изнутри трубы. В последнем случае трубу предварительно разрезают на две части по длине и внутри делают разметку для сверления. После этого с внутренней поверхности трубы высверливают раззенкованные отверстия, что должно способствовать выпадению зерен песка внутрь фильтра, и трубу сваривают.

В большинстве случаев каркасные трубы перфорируют без раззенковки отверстий. Рекомендуемые размеры отверстий дырчатого фильтра для водоносных горизонтов, сложенных песками [Фильтры водозаборных скважин, 1952]:

в однородных песках 2,5—3,0 $d_{ср}$[1]
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*.

2. Щелистый фильтр так же прост по устройству, как и дырчатый (рис. XXX-1). Он может применяться в среднезернистых, гравелистых, крупнозернистых песках и галечниках. Этот тип фильтра наиболее перспективен и в известной мере универсален, так как при заводском изготовлении щели можно довести до размеров, соответствующих просветам фильтровых сеток. Щелистый фильтр состоит из отстойника, рабочей части, где располагаются щели, и надфильтровой трубы.

Ширина щелей устанавливается в соответствии с механическим составом водоносной породы. Общая площадь щелей обычно составляет около 20% от всей поверхности рабочей части каркаса. Оптимальная скважность может быть принята в пределах 20—25%.

Рекомендуемые размеры щелей для водоносных горизонтов, сложенных песками:

в однородных песках 1,25—1,5 $d_{ср}$
в разнородных песках 1,5—2,0 d_{50}

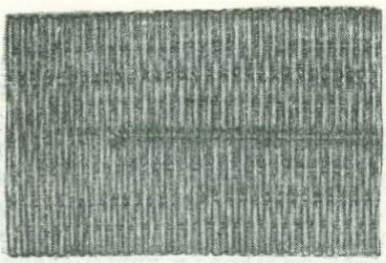
Во избежание механического засорения частицами водовмещающей породы щели делаются с некоторым уширением внутрь фильтра (нарезка на фрезерном станке). Фильтры большого диаметра (более 500 *мм*) могут быть изготовлены из листовой стали. После фрезеровки или штамповки щелей листы загибаются на вальцах и свариваются.

3. Сетчатый фильтр эффективно может быть использован главным образом в среднезернистых чистых песках (рис. XXX-1).

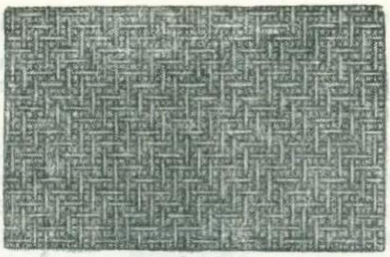
Во избежание коррозии сетчатый фильтр рекомендуется для водоносных горизонтов со слабоминерализованными водами. Для фильтра применяют латунные сетки галунного, киперного и квадратного плетения (рис. XXX-2). На рис. XXX-3 показана сетка из нержавеющей проволоки.

Размер ячеек сетки для фильтра определяется опытным просеиванием проб водоносной породы через фильтровую сетку различных номе-

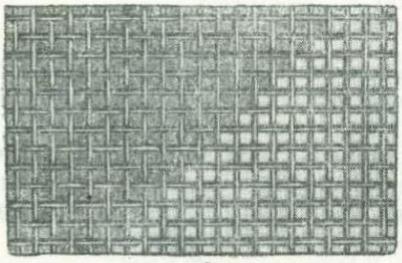
[1] Здесь и ниже $d_{ср}$ — средний диаметр и d_{50} — средневзвешенный диаметр частиц песка. Меньшие значения рекомендуемых размеров отверстий фильтра относятся к мелкозернистым пескам, бо́льшие — к крупнозернистым.



а

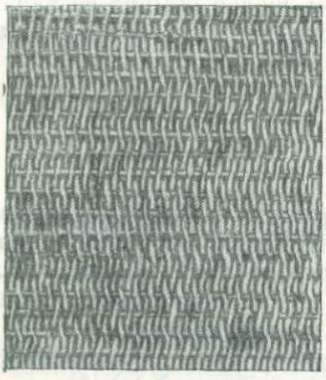


б

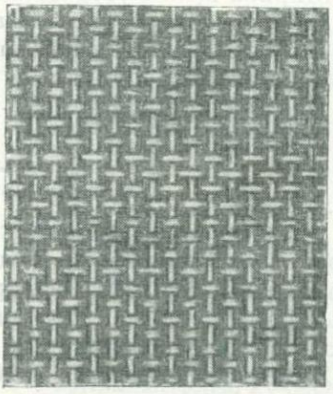


в

Рис. XXX-2. Сетки плетения:
а) галунного; б) киперного; в) квадратного.



а



б

Рис. XXX-3. Сетки из нержавеющей стали плетения:
а) галунного; б) квадратного.

гров. Принимается сетка, пропускающая через отверстия 70—80% от веса пробы породы, если водоносный горизонт сложен песком; 30—40% — если он сложен мелким гравием и 20—25% — если он сложен весьма крупным гравием.

Рекомендуемые размеры отверстий сетчатого фильтра:

в однородных песках	1,5—2,0 $d_{ср}$
в разнородных песках	2,0—2,5 d_{50}

В табл. XXX-1 приводятся характеристики латунных сеток галунного плетения [В. В. Дубровский и В. Ф. Карпов, 1952].

Таблица XXX-1

Номер сетки (число проволок основы и утка в 1 квадратном дюйме)	Диаметр проволоки, *мм*		Величина отверстий сетки между нитками утка, *мм*	Средний вес 1 $м^2$ сетки, *кг*
	основы	утка		
6/40*	0,60	0,65	0,65	6.7
6/70	0,70	0,40	0,34	3,8
7/70	0,60	0,40	0,34	3,7
10/75	0,55	0,37	0,32	3,5
10/90	0,45	0,30	0,27	2,69
12/90	0,45	0,30	0,27	3,0
14/100	0,45	0,28	0,23	2,9
16/100	0,40	0,28	0,23	2,9
16/130	0,38	0,22	0,17	2,3
18/130	0,33	0,22	0,17	2,3
18/140	0,30	0,20	0,16	2,0
20/160	0,28	0,18	0,14	2,0

Колонна сетчатого фильтра состоит из надфильтровой трубы с сальником и муфтой, дырчатого каркаса, проволочной обмотки, сетки и отстойника с пробкой (рис. XXX-1). 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*.[1] 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.

Согласно ГОСТ В—1872—42, длина отстойника принимается:

для скважин глубиной до 15 *м* . . . . . 1,5— 2 *м*
» » » 16—30 » не менее . . . . . 3 »
» » » 31—90 » не менее . . . . . 5 »
» » » более 90 » не менее . . . . . 10 »

Нижнее отверстие отстойника плотно забивается сухой деревянной пробкой из дерева твердой породы. В процессе откачки отстойник постепенно заполняется песком, поэтому 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 навивается проволока диаметром 2—3 *мм* в виде спирали с расстоянием между витками 15—25 *мм*. Проволоку припаивают к каркасу через 300—500 *мм* по вертикали. Обмотку можно навивать также по прикрепленным к трубе

* Числитель указывает число вертикальных проволок основы, а знаменатель — горизонтальных проволок утка 25×25 *мм* на 1 квадратный дюйм.

** Сальник-тампон служит для уплотнения кольцевого зазора между фильтровой и обсадной колоннами. Сальник изготовляется из пенькового каната, резины, кровельного железа и асбеста, дерева и реже из свинца. Фильтр в скважину опускается на штангах при помощи спускового ключа (рис. XXX-4) и устанавливается в центральной части скважины при помощи направляющего фонаря (рис. XXX-5).

продольным проволокам диаметром 3—4 *мм* (по окружности трубы ставят 8—15 таких продольных проволок).

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 луженой пластинкой. Верхние и нижние кромки сетки также припаивают к каркасу.

Пропускная способность 1 *пог. м* полезной длины сетчатого фильтра (в *л/сек*) приближенно дана в табл. XXX-2 [Я. С. Суреньянц, 1949].

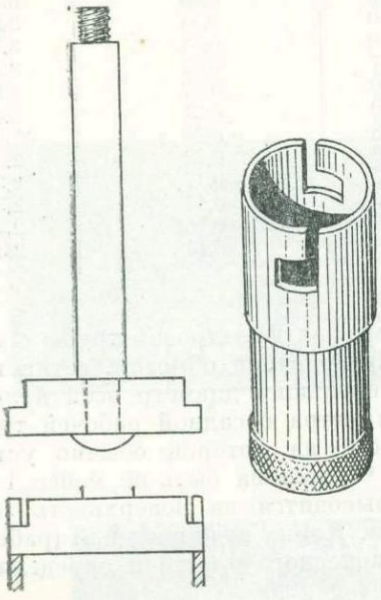


Рис. XXX-4. Ключ для спуска фильтра в скважину.

Рис. XXX-5. Направляющий фонарь.

Таблица XXX-2

Диаметр зерен водоносной породы, *мм*	Пропускная способность *(л/сек)* при диаметре трубы фильтра, *мм*				Скорость входа воды в фильтр, *мм/сек*
	100	150	200	250	
0,25—0,50	0,4	0,5	0,7	0,9	1
0,50—1,00	0,8	1,0	1,4	1,8	2
1,00—2,00	1,6	2,0	2,9	3,5	4

Основным недостатком всех металлических фильтровых сеток является небольшой срок их службы — при откачке агрессивных или химически нестабильных вод под действием коррозии они разрушаются или закупориваются, поэтому фильтр через 2—4 года, а иногда и быстрее выходит из строя.

По предложению В. М. Гаврилко [1953] в настоящее время применяются сетки из пластмассы и ткани из стекловолокна.

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».

В табл. XXX-3 приведена характеристика тканей из стекловолокна [В. М. Гаврилко, 1953].

Таблица XXX-3

Характеристика ткани	Типы ткани из стекловолокна		
	«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. XXX-6).

4. 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%. Дырчатый каркас покрывается спиральной обмоткой из проволоки нержавеющей стали диаметром 0,8—3 *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 приближенных рас-

четов определения расстояния между витками можно пользоваться рекомендуемыми размерами отверстий для дырчатого, щелистого и сетчатого фильтров.

5. Каркасно-стержневой фильтр используется в разнообразных водоносных породах. Конструкция его, разработанная В. М. Гаврилко [1953], приведена на рис. XXX-7.

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*.

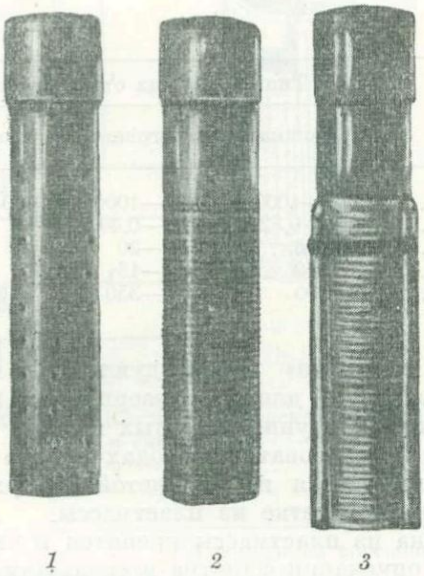


Рис. XXX-6. Обмотка тканей из стекловолокна на каркас фильтра:

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.

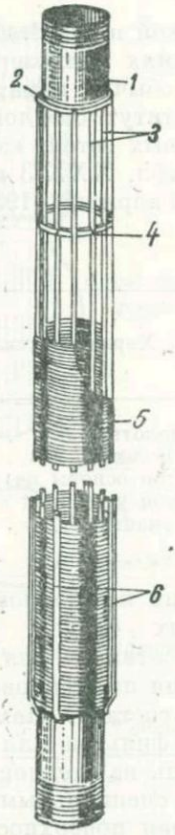


Рис. XXX-7. Каркасно-стержневой фильтр.

1 — соединительные патрубки; *2* — кольцо насадки; *3* — металлические стержни; *4* — опорное кольцо; *5* — проволочная обмотка; *6* — предохранительные планки.

Опорные пояса жесткости изготовляются из фланцев или представляют собой металлические закладки между стержнями. В табл. XXX-4 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.

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, изготавливаются из труб соответствующего диаметра длиной 250 — 350 *мм*.

Таблица XXX-4

Диаметр стержней, *мм*	Расстояние между поясами, *мм*
10—12	200
14	300
16	350
18	400

При сборке каркасов стержни пропускаются через отверстия фланцевых колец и после центровки схватываются точечной электросваркой. Отдельные звенья каркаса соединяются патрубками, причем концы стержней напускаются на поверхность патрубка на длину 100 *мм* и привариваются.

В условиях среднезернистых и мелкозернистых песков каркас обматывается проволокой или обшивается фильтровальной сеткой.

В табл. XXX-5 приводится некоторая характеристика проволочной обмотки [В. Н. Щелкачев и Б. Б. Лапук, 1949].

Таблица XXX-5

Ширина просвета между витками проволочной обмотки, *мм*	Скважность (%) при толщине проволоки, *мм*	
	1,5	2
0,5	25	20
0,7	33	27,3
1,0	40	33
1,5	50	43
2,0	57	50
2,5	62,5	55,5
3,0	66	60
3,5	70	63,7
4,0	73	66,7
4,5	75	69,3
5,0	76,9	71,5
5,5	78,5	73,5
6,0	80	75

Предохранительные ребра (металлические или деревянные) в количестве 4 штук устанавливаются вдоль фильтра и схватываются между собой поясами из полосового железа при помощи электросварки. Ребра предохраняют от механического повреждения фильтрующую поверхность. Для удержания фильтра в центре скважины направляющие скобы завариваются на соединительные патрубки.

6. Гравийно-проволочный фильтр состоит из проволочно-опорного каркаса и гравийной обсыпки. Он ставится в основном в средне- и мелкозернистых песках и плывунах. Основой фильтра могут служить как металлические (перфорированные трубы, металлические стержни), так и неметаллические (из керамического материала, стекла, бетона, дерева, пластмасс) каркасы.

В табл. XXX-6 приведены рекомендуемые Ф. С. Бояринцевым соотношения номенклатурных диаметров буровых (обсадных) труб и каркасов фильтра [Фильтры водозаборных скважин, 1952].

Таблица XXX-6

Диаметр обсадной колонны, дюймы	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20
Диаметр каркаса фильтра, дюймы	1,5	1,5	1,5; 2,5	2,0; 2,5; 3,0	2,5; 3,0; 4,0	3; 4; 5	4; 5; 6	6; 7	6; 7; 8	7; 9	8; 9; 10	9; 10; 11	10; 11 12; 14

Толщина гравийной обсыпки изменяется от 40 до 140 *мм*. Зависимость крупности частиц обсыпки от состава пород эксплуатируемого водоносного горизонта приведена в табл. XXX-7 [В. В. Дубровский и В. Ф. Карпов, 1952].

Таблица XXX-7

Водоносная порода	Содержание частиц в породе		Диаметр частиц искусственной засыпки, *мм*
	диаметр, *мм*	количество, %	
Крупнозернистые пески	2—1	80	10—8
Среднезернистые пески	1,0—0,5	60	5—4
Мелкозернистые пески	0,5—0,25	50	2,5—2,0
Тонкозернистые пески и супеси	0,25—0,05	30—40	1,0—5,0

Характеристика конструкции гравийно-проволочного фильтра приведена в табл. XXX-8 [Д. М. Хохловкин, 1954].

Таблица XXX-8

Основные показатели	Фильтр гравийно-проволочный на каркасе из обсадной трубы	Фильтр каркасно-стержневой из прутковой стали
Внутренний диаметр фильтра, *мм*	150	150
Наружный диаметр фильтра, *мм*	178	194
Скважность опорного каркаса, %	20	65
Число отверстий на 1 *пог. м* каркаса	1342	—
Число щелей на 1 *пог. м* каркаса	—	42
Площадь отверстия ($мм^2$) при диаметре сверла 10 *мм*	78	—
Площадь щели (между двумя стержнями и опорными фланцами), $мм^2$	—	8400
Вес 1 *м* перфорированной трубы с опорными и предохранительными ребрами, *кг*	30	—
Вес 1 *м* стержневого каркаса при диаметре стержней $^1/_2''$, трех опорных фланцах и четырех предохранительных ребрах из 8-миллиметровой стали, *кг*	—	16

7. Мостовой фильтр изготовляется из листового оцинкованного железа (рис. XXX-8). Он применяется в разнозернистых песках; в мелко- и тонкозернистых песках дополнительно делается гравийная обсыпка. Отверстия в мостовом фильтре штампуются с таким расчетом, чтобы щели были перекрыты «мостиками», предохраняющими поступление гравия или песка внутрь фильтра.

8. Корзинчатый фильтр состоит из каркаса с круглыми или щелевидными отверстиями и фильтровальных колец с воронками («корзинками») из кровельного железа толщиной 2—3 *мм* (рис. XXX-9). Фильтровальные кольца вместе с корзинками закрепляются гайками и опорными кольцами. Эти фильтры используются в основном в мелкозернистых песках.

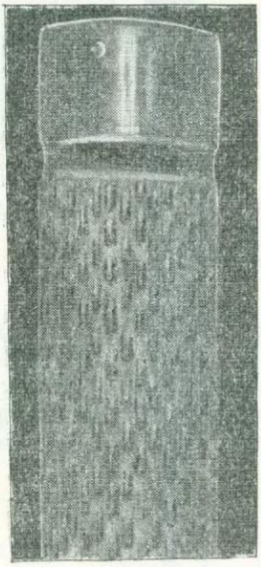


Рис. XXX-8. Мостовой фильтр.

Рис. XXX-9. Корзинчатый фильтр.

1 — фильтровая труба; *2* — гравийная засыпка; *3* — отверстия фильтра; *4* — проволочная обмотка; *5* — корзинки из кровельного железа; *6* — опорный фланец; *7* — отстойник.

Перед спуском фильтра в скважину каждая корзинка засыпается послойно песком разной крупности. В табл. XXX-9 приведено примерное соотношение между высотой засыпки и диаметром зерна при высоте корзинки 90 *мм* [В. В. Дубровский и В. Ф. Карпов, 1952].

Таблица XXX-9

Интервал засыпки, *мм*	Диаметр частиц, *мм*
30	5—8
30—45	3—5 и 1—2
45—90	0,5—1,0

Отношение размера зерен смежных слоев 1 : 2 или 1 : 3. На 1 *пог. м* каркаса принято устанавливать 8—12 корзинок. Ширина отверстий каркаса не должна превышать размера частиц первого слоя.

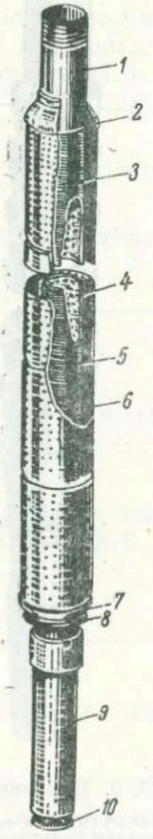


Рис. XXX-10. Коробчатый фильтр.

1 — надфильтровая труба; *2* — крышка фильтрового чехла; *3* — чехол из кровельного железа с отверстиями; *4* — перфорированная труба; *5* — проволочная обмотка; *6* — гравийная засыпка; *7* — опорная воронка; *8* — опорный фланец; *9* — отстойник; *10* — пробка.

Рис. XXX-11. Гравитационный фильтр Перевозникова.

1 — труба фильтра; *2* — чугунные зонты; *3* — водоприемные отверстия; *4* — опорные ребра зонта; *5* — отстойник; *6* — пробка.

9. Коробчатый фильтр состоит из каркаса с круглыми или щелевидными отверстиями (рис. XXX-10). Засыпка у каркаса поддерживается чехлом из листового железа с мелкими отверстиями или щелями. В зави-

симости от диаметра скважины диаметр чехла может превышать диаметр каркаса на 50—200 *мм* и более. Коробчатые фильтры используются главным образом в мелкозернистых песках.

10. Гравитационный фильтр используется в основном в шахтных колодцах и широко распространен в сельском хозяйстве. Конструкция его для трубчатых колодцев разработана недостаточно. В настоящее время для скважин применяется гравитационный фильтр Перевозникова (рис. XXX-11). На рис. XXX-12 приведены схемы водоприемных отверстий гравитационных фильтров для шахтных колодцев. Эти фильтры применены в различных песках — от тонко- до крупнозернистых.

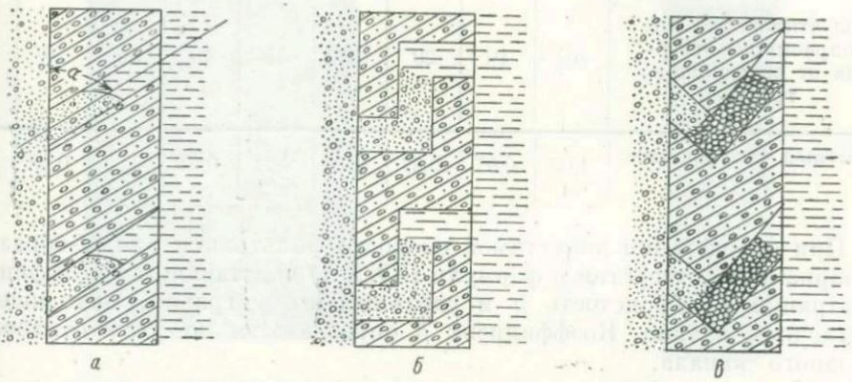


Рис. XXX-12. Схема водоприемных отверстий гравитационных фильтров для шахтных колодцев. Отверстия:

а — наклонные; *б* — вертикальные; *в*—*V*-образные.

Водоприемной частью в гравитационных фильтрах являются разнообразной формы отверстия в стенках или дне шахтного колодца. Отверстия заполнены песчано-гравийной засыпкой.

Характеристика водопропускной способности различных форм отверстий приведена в табл. XXX-10.

Таблица XXX-10

Форма отверстий	Водопропускная способность
Горизонтальная	Низкая
Наклонная	Средняя
Вертикальная	Наибольшая
v-образная [1]	Значительная

Допустимая входная скорость фильтрации в водоприемных отверстиях гравитационных фильтров определяется по формуле [Я. М. Пашенков, Н. А. Карамбиров и И. П. Грибанов, 1951, 1957]

$$v_{доп} = \alpha\beta K (1 - p)(\gamma - 1), \qquad \text{(XXX-1)}$$

[1] Предложено Н. А. Карамбировым (ВНИИГиМ).

где K — коэффициент фильтрации грунта, находящегося в отверстии, *м/сутки*;
p — пористость грунта;
γ — удельный вес материала зерен грунта;
α — коэффициент запаса ($\alpha \leqslant 0{,}7$);
β — опытный коэффициент, зависящий от величины угла отклонения оси водоприемного отверстия от вертикали (угла φ; рис. XXX-12), определяется по табл. XXX-11.

Таблица XXX-11

Угол отклонения оси водоприемного отверстия от вертикали φ, градус	0	10	20	30	35	40	45	50	60
Опытный коэффициент β	1,00	0,97	0,87	0,79	0,71	0,63	0,53	0,48	0,38

При определении допустимой скорости фильтрации для V-образного водоприемного отверстия в формулу (XXX-1) подставляется коэффициент фильтрации K, пористость p и удельный вес γ гравия, находящегося в выходном канале. Коэффициент β определяется по углу отклонения выходного канала.

§ 2. ФИЛЬТРЫ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ

Из неметаллических фильтров применяются: 1. Фарфоровые и стеклянные (рис. XXX-13). 2. Пластмассовые (рис. XXX-14). 3. Деревянные (рис. XXX-15). 4. Асбестоцементные (рис. XXX-16). 5. Керамические (рис. XXX-17, 18, 19). 6. Бетонные (рис. XXX-20). В последнее время применяются также клееные гравийные и песчаные фильтры.

Неметаллические фильтры не поддаются коррозии и электролитическому воздействию воды. Большинство их обладает кислотоупорностью, достаточно противостоит инкрустации. При закупорке отверстия в фильтрах их периодически обрабатывают кислотами. Неметаллические фильтры рекомендуются для отбора сильно агрессивных вод.

§ 3. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВ

При выборе конструкций фильтра необходимо соблюдать условие

$$f \geqslant Q,$$

где f — водозахватная способность фильтра, *л/сек*;
Q — ожидаемый дебит скважины, *л/сек*.

Водозахватная способность фильтра

$$f = v_{\Phi} F, \qquad \text{(XXX-2)}$$

где v_{Φ} — допустимая скорость фильтрации при входе воды в фильтр (входная скорость), *м/сек*;
F — площадь фильтрующей поверхности фильтра (рабочая часть), $м^2$.

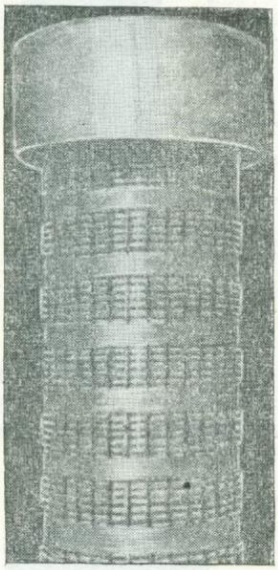


Рис. XXX-13. Фарфоровый фильтр.

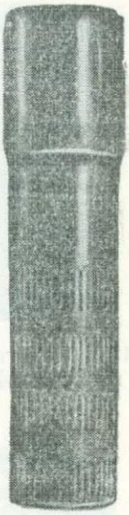


Рис. XXX-14. Пластмассовый щелистый фильтр.

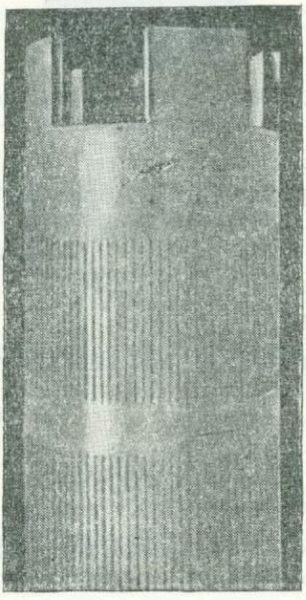


Рис. XXX-15. Деревянный фильтр.

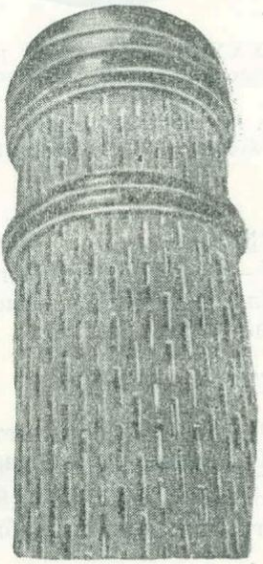


Рис. XXX-16. Асбестоцементный фильтр.

Рис. XXX-17. Щелистый ребристый керамический фильтр.

Рис. XXX-18. Дырчатый керамический фильтр.

Рис. XXX-19. Щелистый ребристый керамический фильтр с проволочной намоткой.

Рис. XXX-20. Бетонный пористый фильтр.

Входная скорость определяется по формуле С. К. Абрамова [1952]

$$v_ф = 65 \sqrt[3]{K}, \qquad \text{(XXX-3)}$$

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

Для дырчатых, щелистых, сетчатых и гравийных фильтров площадь рабочей части фильтра

$$F = \pi Dl, \qquad \text{(XXX-4)}$$

где D — наружный диаметр фильтра, *мм*;
l — длина рабочей части фильтра, *мм*.

Согласно ГОСТ В—1872—42, диаметр и длина рабочей части фильтра при ограниченной потребности в воде должны удовлетворять соотношению

$$Q = 3600 \pi\, Dlp3v, \qquad \text{(XXX-5)}$$

где Q — расчетная производительность скважины, $м^3/час$;
p — коэффициент скважности фильтровой сетки;
v — допускаемая скорость входа воды в скважину (принимается по Гроссу), табл. XXX-12.

Таблица XXX-12

Величина зерен песка, *мм*	Значение v по Гроссу, *м/сек*
60% зерен размером менее 1,0	0,002
40% » » » 0,5	0,001
40% » » » 0,25	0,0005

Диаметр фильтра должен быть наибольшим; уменьшение его допускается при устройстве зафильтровой засыпки.

Скважность 1 *пог. м* дырчатого фильтра

$$C = \frac{d^2 n}{4D1000}, \qquad \text{(XXX-6)}$$

где C — скважность, %;
d — диаметр отверстий, *мм*;
n — число отверстий на 1 *пог. м*;
1000 — длина фильтра, *мм*.

Скважность 1 *пог. м* щелевого фильтра

$$C = \frac{abn}{\pi D1000}, \qquad \text{(XXX-7)}$$

где a — ширина щели, *мм*;
b — длина щели, *мм*.

В соответствии с необходимой скважностью устанавливается число отверстий:

для дырчатых фильтров

$$n = \frac{4D1000C}{d^2}, \qquad \text{(XXX-8)}$$

для щелевидных фильтров

$$n = \frac{\pi D1000C}{ab}. \qquad \text{(XXX-9)}$$

В табл. XXX-13 приводятся рекомендуемые ГОСТ В—1872—42 типы и размеры фильтров. [1]

[1] В случаях, не предусмотренных таблицей, вопрос о наилучшей конструкции фильтра решается опытным путем.

Таблица XXX-13

Характер водоносных слоев	Рекомендуемые типы и размеры фильтров	
	Конструкция фильтра	Размеры отверстий или номер сетки
Твердые устойчивые породы	Водоносные слои остаются без крепления. Фильтр не требуется	
Твердые неустойчивые породы или слои твердых водоносных пород, переслаивающиеся с неустойчивыми породами	Перфорированные трубы	Диаметр отверстий 15—20 *мм*
Галечник и гравий	Щелистые фильтры с прямоугольными отверстиями. Допускаются перфорированные трубы со спиральной обмоткой толстой (2—3 *мм*) проволокой	Ширина щелей 3—5 *мм*. Длина щелей 25—50 *мм*. Расстояние между витками проволоки 3—5 *мм*
Гравийные и крупнозернистые пески	Щелистые фильтры с трапецоидальными отверстиями. Сетчатые фильтры с крупными номерами сетки	Ширина щели 1—2 *мм*. Длина щели 25—50 *мм*. Сетка простого или киперного плетения с отверстиями от 1×1 *мм* до 2×2 *мм*
Среднезернистые пески	Сетчатые фильтры	Сетка галунного (репсового) плетения от № 6/40 до № 12/90. Каркас фильтра — перфорированная труба с отверстиями диаметром 15—20 *мм*
Мелкозернистые пески а) разнородные	Перфорированная труба, обмотанная спирально проволокой. Сетчатые фильтры с зафильтровой засыпкой гравием и крупным песком	Расстояние между витками проволоки 0,5—1 *мм*; сетка галунного плетения от № 6/40 до № 12/90, в зависимости от толщины слоя засыпки
б) однородные	Корзинчатые фильтры или сетчатые фильтры с обильной засыпкой гравием и крупным песком, осуществляемой одновременно с откачкой воды из скважины с постепенным обнажением фильтра	То же

Глава XXXI

ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ, И МЕТОДИКА РАБОТЫ С НИМИ

§ 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, сопряженных с различными типами наконечников (хлопушкой, свистком и др.).

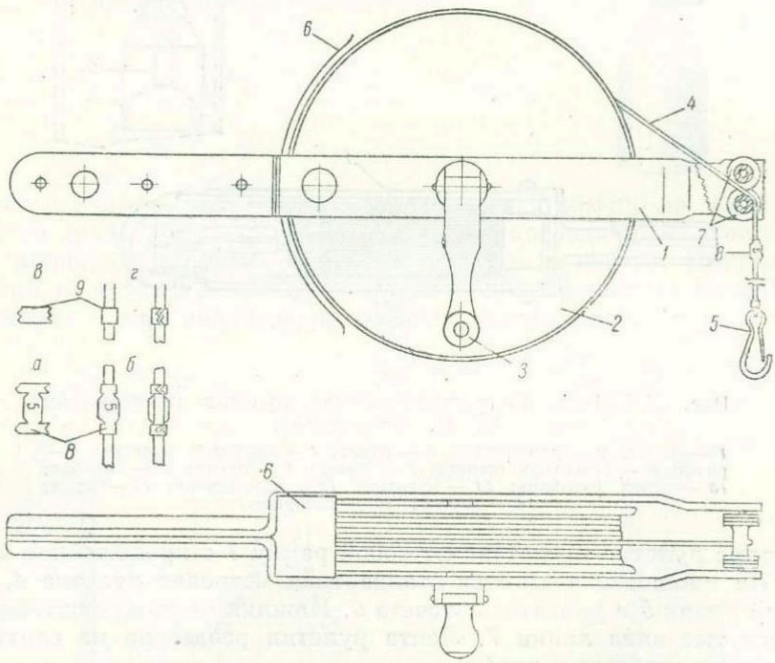


Рис. XXXI-1. Рулетка конструкции Е. В. Симонова.

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).

Рулетка конструкции Е. В. Симонова состоит из вилки *1*, барабана *2* с ручкой *3*, стального провода *4* в хлорвиниловой изоляции, длиной 50 или 100 *м*, карабинчика *5*, тормозной пластинки *6* и двух роликов *7* (рис. XXXI-1).

Провод 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. XXXI-2а, б).

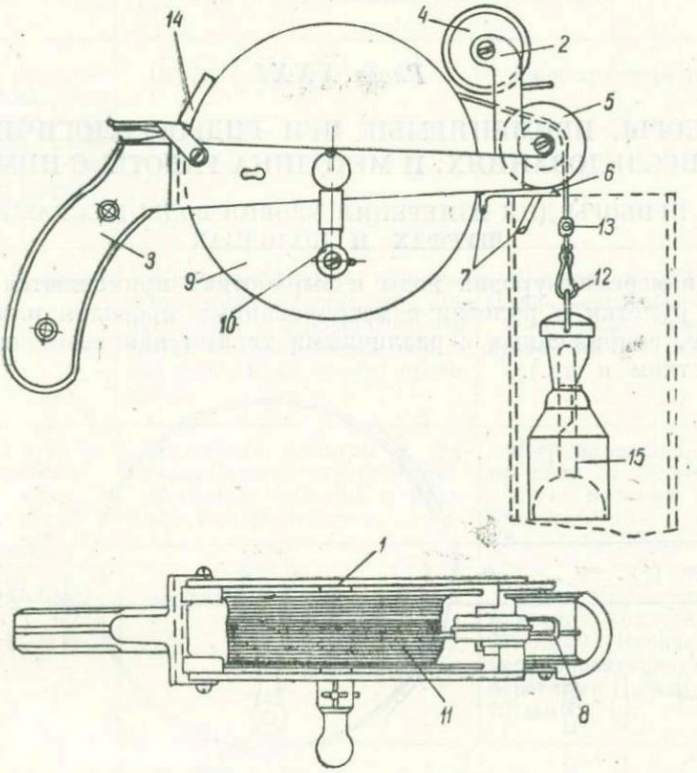


Рис. XXXI-2а. Гидрогеологическая рулетка конструкции Б. П. Остроумова.

1 — рамка; *2* — кронштейн; *3* — ручка; *4* — метровая рулетка; *5* — ролик; *6* — указатель отсчета; *7* — лапки; *8* — петля; *9* — барабан; *10* — ручка барабана; *11* — канатик; *12* — карабинчик; *13* —бирка; *14* — тормоз; *15* — хлопушка.

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*; минимальный вес наконечника, необходимый для нормального натяжения канатика, — 0,4 *кг*.

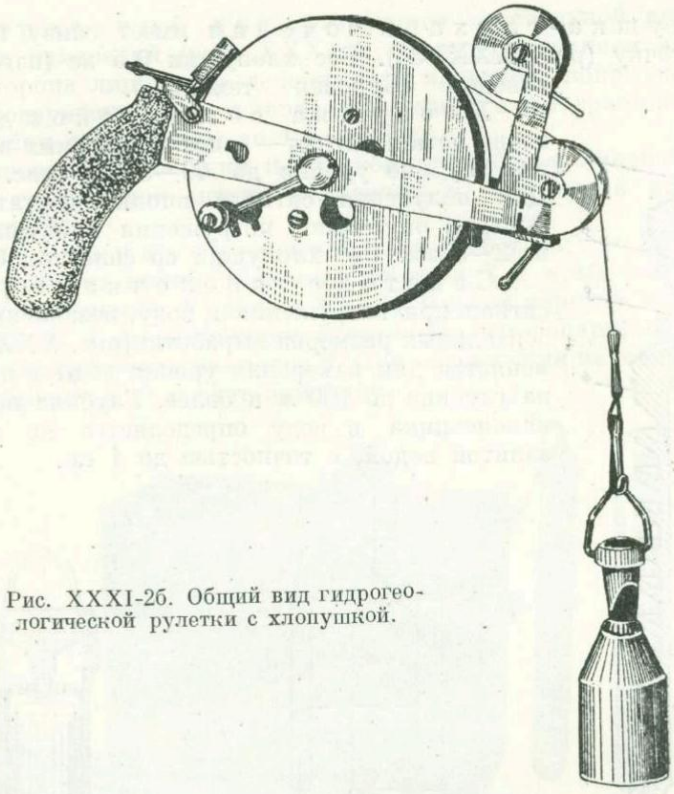


Рис. XXXI-2б. Общий вид гидрогеологической рулетки с хлопушкой.

Хлопушка-глухарь изготовляется обычно на месте работы из обрезка трубы (рис. XXXI-3а). 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* [1], а в скважинах — при значительно большей его глубине.

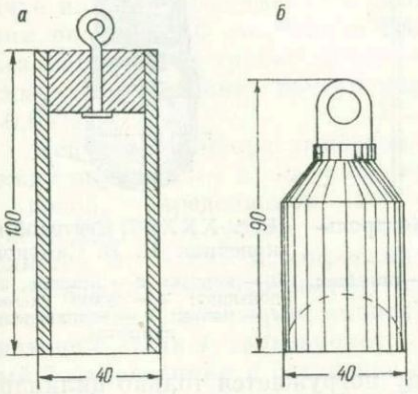


Рис. XXXI-3а, б. Хлопушка-глухарь.

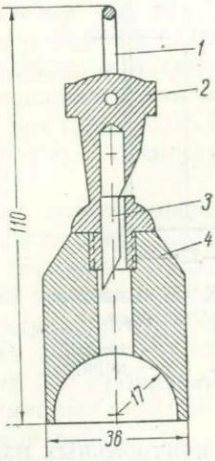


Рис. XXXI-4. Хлопушка со свистком.
1—дужка; *2*—головка; *3*—язычок; *4*—корпус.

[1] При большей глубине звук (хлопок) рассеивается.

Хлопушка-глухарь точеная имеет снизу полусферическую выточку (рис. XXXI-3б). Вес хлопушки 0,5 *кг* (изготовляется заводом «Буровая техника»).

Хлопушка со свистком дает достаточно четкий сигнал — свист в широких выработках при глубине уровня до 40—50 *м* (рис. XXXI-4). 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. XXXI-5). Применяется для измерения 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*.

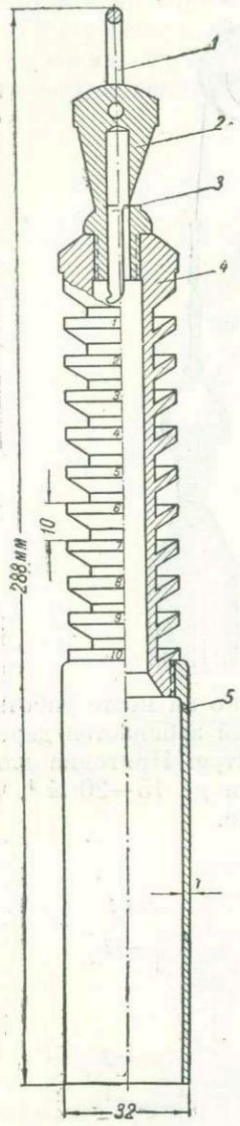


Рис. XXXI-5. Свисток с тарелочками.

1 — дужка; *2* — головка; *3* — язычок; *4* — корпус; *5* — цилиндр.

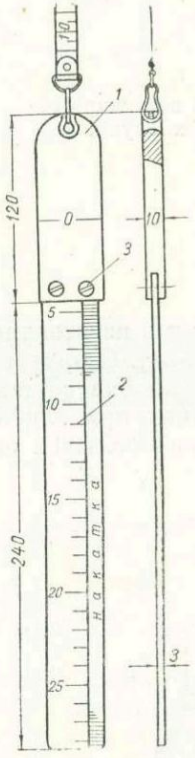


Рис. XXXI-6. Контрольный лот.

1 — головка; *2* — линейка; *3* — винт.

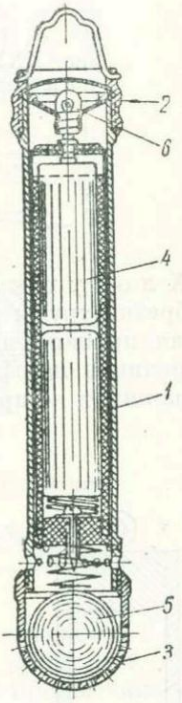


Рис. XXXI-7. Световой наконечник Е. В. Симонова.

1 — корпус; *2* — крышка; *3* — донышко; *4* — сухой элемент; *5* — мячик; *6* — электрическая лампочка.

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*.

Контрольный лот применяется со стальной рулеткой для поверочных измерений (рис. XXXI-6). Перед опусканием в выработку лицевая сторона линейки (с делениями и накаткой) покрывается мелом. Глубина погружения лота в воду определяется по границе смоченной части линейки с точностью до 1,5—2,0 *мм*.

При проверке показаний поплавковых приборов линейка лота опускается в промежуток между поплавком и внутренней поверхностью обсадной трубы.

Световой наконечник конструкции Е. В. Симонова состоит из цилиндрического корпуса *1* с крышкой *2* и перфорированным донышком *3* (рис. XXXI-7). 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.

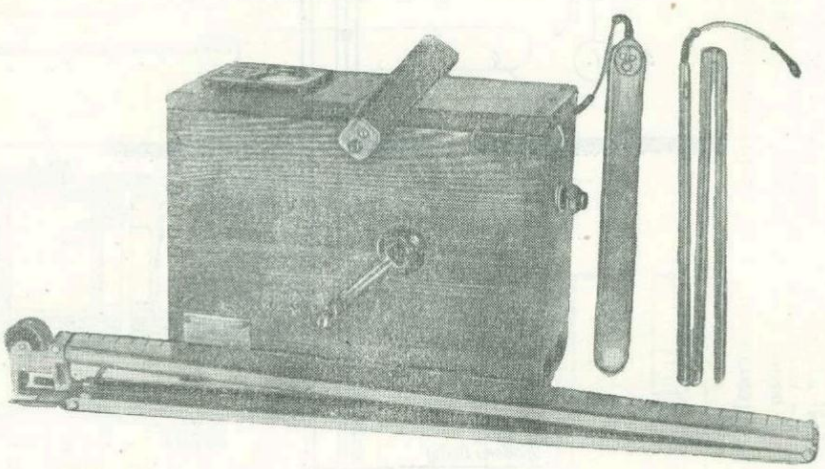


Рис. XXXI-8. Электроуровнемер конструкции Б П. Остроумова.

Электроуровнемер конструкции Б. П. Остроумова предназначен для замера динамического уровня воды при откачке или непосредственно в зазоре между обсадными и насосными трубами не менее 10 *мм*, или в специально установленной для этой цели пьезометрической трубке диаметром не менее 15 *мм* (рис. XXXI-8). Максимальная глубина, измеряемая прибором, 100 *м*. Точность замера +0,05%.

Действие прибора основано на замыкании электрической цепи между опускаемым в скважину на изолированном проводе наконечником и водой, определяемом по отклонению стрелки гальванометра (рис. XXXI-9). Глубина, на которой произошло замыкание цепи, определяется по длине изолированного провода, опущенного в скважину.

Электроуровнемер состоит из 2 частей (рис. XXXI-10): а) деревянного ящика *1*, в который вмонтированы: барабан *2* с проводом *3*, направляющий ролик *4*, гальванометр *5* и помещены сменные плоский *6* и круглый *7* наконечники и батарейка *8* и б) деревянной рейки.

Провод *3* состоит из шести стальных и одной медной проволочек общим сечением 0,30—0,35 *мм*^{2} и хлорвиниловой изоляции; через каждый метр он снабжен бирками *9* с обозначением длины. При разматывании

провода барабан вращается ручкой *10*. Для регулирования разматывания провода прибор снабжен тормозом *11*.

Конструкция сменных наконечников ясна из чертежа. Плоский наконечник *6* состоит из корпуса *а*, в котором закреплены: изолированный провод, эбонитовый вкладыш *б* с нипелем-электродом *в* и штуцер *г* с резиновой трубкой *д*. Конец провода оголен и впаян в нипель.

Корпус круглого наконечника состоит из 3 звеньев: e_1, e_2 и e_3. Звенья между собой соединены шарнирами *ж*. В головку верхнего звена *з* вмон-

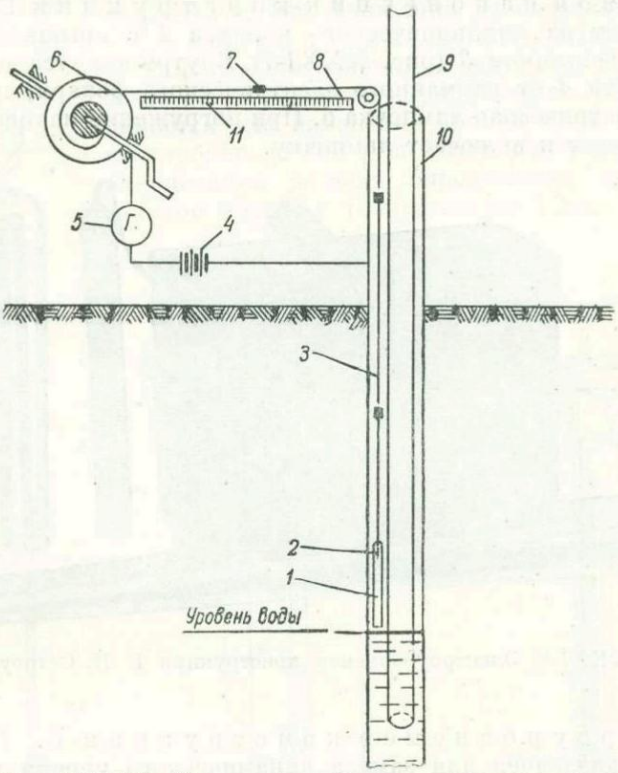


Рис. XXXI-9. Принципиальная схема электроуровнемера.

1 — наконечник; *2* — электрод; *3* — провод; *4* — батарейка; *5* — гальванометр; *6* — барабан; *7* — бирка; *8* — рейка; *9* — насосные трубы; *10* — обсадные трубы; *11* — шкала.

тирован изолированный провод *и*, эбонитовый вкладыш *к* и нипель-электрод *л*. Конец изолированного провода впаян в нипель. Сверху патрубок головки и провод плотно обхватывает резиновая трубка *м*.

Смена наконечников производится соединительной муфтой *12*, состоящей из 2 свинчивающихся частей.

Складная рейка состоит из 2 металлических планок *13*, соединенных шарниром *14*. На концах рейки имеются вилка *15*, головка *16* с зажимным винтом *17* и направляющим роликом *18*. Сверху рейка имеет шкалу, разделенную на сантиметры.

При установке прибора у скважины вилка присоединяется к клемме прибора *19*, головка закрепляется зажимным винтом на обсадной трубе. Клемма *19*, батарейка *8*, гальванометр *5* и подшипник оси барабана

также соединены между собой монтажным проводом, как указано на рис. XXXI-9 и XXXI-10. Поэтому с присоединением рейки к прибору и обсадной трубе последняя одновременно включается в электрическую цепь электроуровнемера

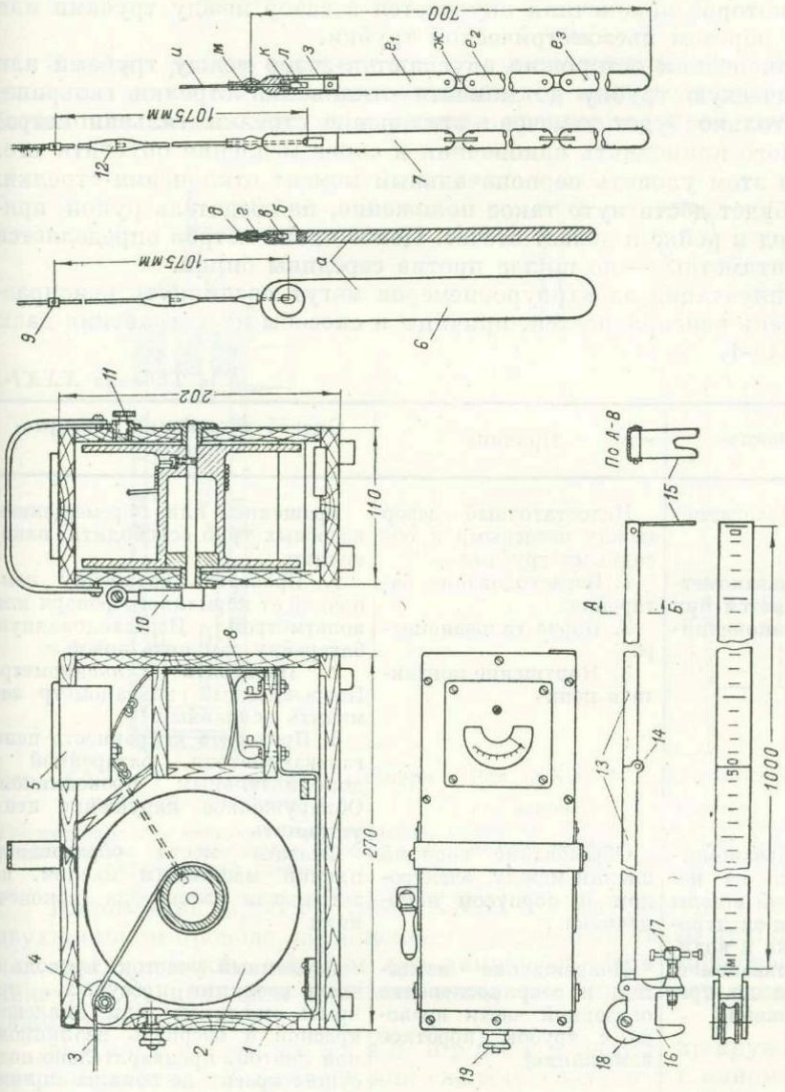


Рис. XXXI-10. Монтажная схема электроуровнемера.

1 — ящик; *2* — барабан; *3* — провод; *4* — ролик; *5* — гальванометр; *6* — плоский наконечник; (*а* — корпус, *б* — эбонитовый вкладыш, *в* — электрод, *г* — штуцер, *д* — резиновая трубка); *7* — круглый наконечник (e_1, e_2, e_3 — звенья, *эс* — шарнир, *з* — головка, *и*—провод, *к* — эбонитовый вкладыш; *л* — электрод); *8* — батарейка; *9* — бирка; *10* — ручка барабана; *11* — тормоз; *12* —соединительная муфта; *13* — планки; *14* — шарнир; *15* — вилка; *16* — головка; *17* — зажимной винт; *18* — ролик; *19* — клемма.

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 обсадной трубой. Насосные трубы, для увеличения межтрубного зазора, должны быть предварительно сдвинуты в сторону наверху хомутом, на глубине — фонарями.

Для замера динамического уровня воды в водопонизительных скважинах, оборудованных насосами типа АТН и др., прибор подключается к станине насоса отдельным проводом. 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.

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.

При эксплуатации электроуровнемеров могут возникнуть неисправности. Перечень неисправностей, причины и способы их устранения даны в табл. XXXI-1.

Таблица XXXI-1

Неисправность	Причина	Способ устранения неисправности
Задержка (заедание) наконечника	Недостаточный зазор между насосными и обсадными трубами	Вращением или перемещением насосных труб освободить наконечник
Стрелка гальванометра не отклоняется при погружении наконечника в воду	1. Израсходование батарейки	1. Проверить батарейку лампочкой от карманного фонаря или вольтметром. Израсходованную батарейку заменить новой
	2. Порча гальванометра	2. Проверить гальванометр. Поврежденный гальванометр заменить исправным [1]
	3. Нарушение контакта в цепи	3. Проверить исправность цепи гальванометром, батарейкой и дополнительным проводником. Обнаруженное нарушение цепи устранить
Стрелка гальванометра отклоняется на несколько делений шкалы до погружения электрода наконечника в воду	Образование водяной пленки между электродом и корпусом наконечника	Смазать места образования пленки машинным маслом, не затрагивая электрода наконечника
Стрелка гальванометра отклоняется до предельного положения	Повреждение изоляции и соприкосновение оголенной части провода с трубой (короткое замыкание)	Оголенный участок провода и часть изоляции просушить, покрыть масляной или эмалевой краской и обернуть изоляционной лентой, предварительно подсушив краску до появления липкости (без краски лента сползает)

Уровнемер УЭ-50 (изготовитель Ленинградский ремонтно-механический завод Гидроэнергопроекта) по принципу действия аналогичен

[1] В качестве гальванометра может быть использован микроамперметр типа ВИВ с пределом измерения 500 мка или миллиамперметр типа М-61 с пределом измерения 5 *ма*.

электроуровнемеру. Максимальная глубина, измеряемая прибором 50 *м*, диаметр наконечника (датчика) 12 *мм*.

Длина прибора	215 *мм*
Ширина	80 *мм*
Высота	135 *мм*
Вес	4,5 *кг*

Электроуровнемер с электрической лампочкой или звонком предназначен для замера уровня воды в выработках вне зависимости от материала крепления выработки.

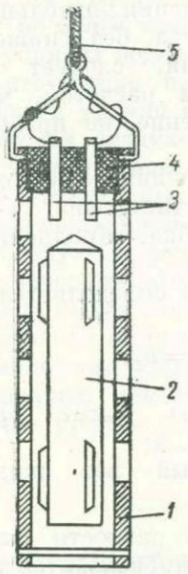


Рис. XXXI-11. Наконечник Стокера к электроуровнемеру.

1 — цилиндр; *2* — металлический поплавок; *3* — электроды; *4* — эбонитовая пробка; *5* — двухжильный провод.

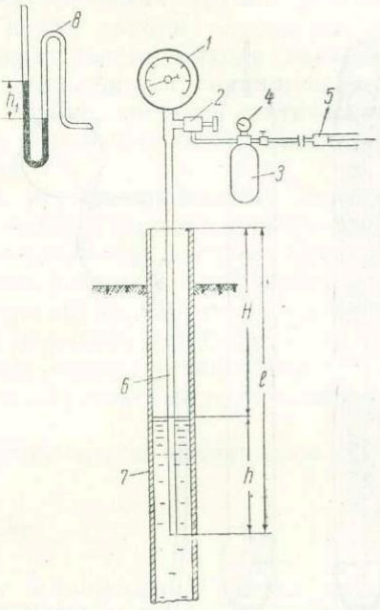


Рис. XXXI-12. Манометрический прибор.

1 — манометр; *2* — вентиль; *3* — баллон для сжатого воздуха; *4* — манометр баллона; *5* — ручной насос; *6* — трубка; *7* — обсадная труба; *8* — стеклянная трубка.

Наконечник прибора (рис. XXXI-11) опускается 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 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* (рис. XXXI-12).

Глубина уровня воды в скважине H от верха обсадной трубы определяется по формуле:

$$H = l - h, \qquad \text{(XXXI-1)}$$

где l — длина трубки, опущенной в скважину, считая от верха обсадной трубы;

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 *б* нагнетанием воздуха в нее из баллона со сжатым воздухом или ручным насосом. Отсчет производится по максимальному отклонению стрелки манометра, соответствующего полному вытеснению воды из трубки.

Допустимая погрешность [Р. Я. Исакович, 1954] пружинных манометров установлена в процентах от предельного значения шкалы и составляет:

для образцовых манометров	0,2—0,35
» контрольных »	±1,0
» технических » класса 1,5	±1,5
» » » » 2,5	±2,5
» » » » 4,0	±4,0

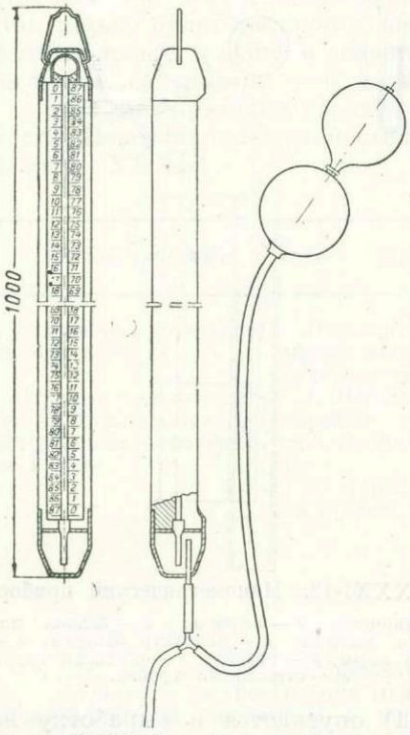


Рис. XXXI-13. Пневматический уровнемер Е. В. Симонова.

Для обеспечения длительного срока работы манометра, без снижения точности измерения, следует выбирать прибор с таким расчетом, чтобы измеряемое давление не превышало $^2/_3$ шкалы.

Вместо пружинного манометра может быть установлена V-образная стеклянная трубка, заполненная водой или ртутью.

Величина h определяется по формуле

$$h = h_1\gamma, \qquad \text{(XXXI-2)}$$

где h_1 — разность высот уровней в трубке, *м*;

γ — удельный вес жидкости в трубке.

Определение разности высот уровней в трубке производится или непосредственно по шкале, установленной за трубкой, или при помощи перемещающихся по шкале движков-указателей.

Пневматический уровнемер конструкции Е. В. Симонова состоит из водяного или ртутного манометра, двух резиновых баллонов и резиновой трубки, опускаемой в скважину (рис. XXXI-13).

Манометр представляет собой стеклянную трубку, опущенную в плотно закрытую чашку. Трубка, чашка и шкала закреплены в корпусе прибора. Длина шкалы около 1,0 *м*. При заполнении трубки манометра водой, прибором можно измерить изменения уровня воды в скважине до 1 *м*, при заполнении ртутью — до 10 *м*.

Точность отсчета по водяному манометру 2 *мм*, по ртутному манометру — 1—2 *см* (в пересчете на высоту столба воды). Перед отсчетом по манометру необходимо продуть трубку, спущенную в скважину, воздухом, нагнетаемым при помощи резиновых баллонов (груш).

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 др. причин) на нужную глубину; б) когда опускание наконечника электроуровнемера может быть затруднено флянцами водоподъемных труб или кабелем, опущенным в скважину для соединения погруженного 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.

При отсутствии пьезометрической трубки глубина статического и динамического уровня воды может быть определена по манометру, установленному на воздухопроводной трубе.

Статический уровень определяется по максимальному показанию манометра в начальный период работы компрессора до первого выброса воды из водоподъемной трубы, т. е. в момент, когда вся вода будет вытеснена из воздухопроводной трубы сжатым воздухом и последний начнет поступать через смеситель в водоподъемную трубу. В этот момент по манометру определяется высота столба воды над смесителем. Глубина погружения смесителя в скважину должна быть заранее установлена.

Динамический уровень определяется по установившемуся минимальному показанию манометра.

Глубина уровня «*H*» от верха обсадной трубы вычисляется по формуле

$$H = l - h,$$

где l — глубина погружения смесителя в скважину, считая от верха обсадной трубы (см. формулу XXXI-1);

h — показание манометра в метрах водяного столба.

Удовлетворительная степень точности определения глубины уровня может быть получена при условии правильного выбора манометра.

Ленточный уровнемер конструкции Е. В. Симонова состоит из измерительного устройства и оголовка (рис. XXXI-14). 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*.

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.

Уровнемер конструкции Е. В. Симонова состоит из блока *1*, свободно вращающегося в подшипниках *2* (рис. XXXI-15). Подшипники закреплены в вилке *3*, соединенной болтом *4* со стойкой прибора *5*. На блоке с одной стороны имеется циферблат с крупными делениями от 0 до 49; каждое крупное деление ценой 1 *см* разделено на десять частей, соответствующих 1 *мм*. На желоб блока наматывается тонкая проволока (медная или нихромовая) толщиной 0,15—0,2 *мм*, длиной 20—25 *мм*. Один конец проволоки закреплен на блоке, другой конец привязан к поплавку *6* с проволочками дужками *7*. Поплавок уравновешивается противовесом *8*. Противовес соединен прочной нитью дли-

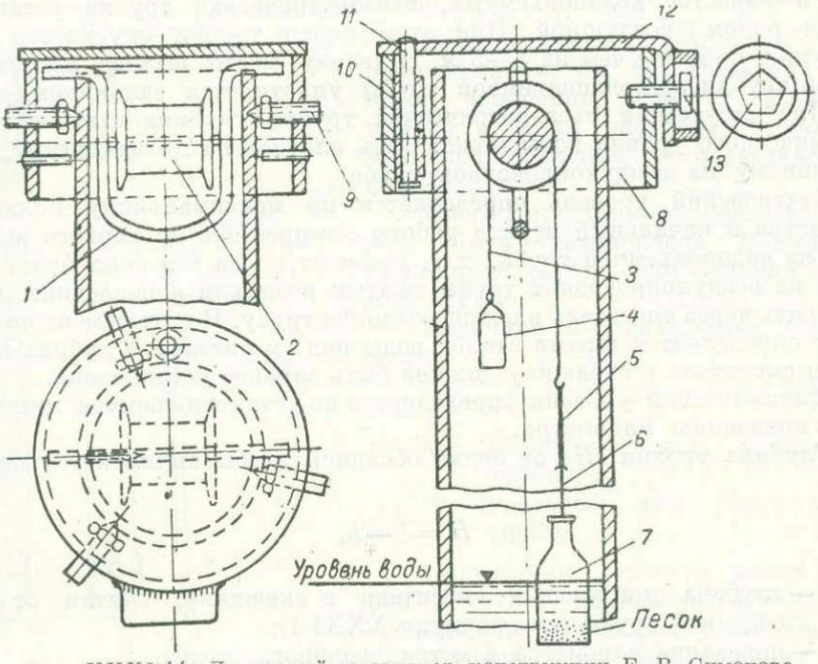


Рис. XXXI-14. Ленточный уровнемер конструкции Е. В. Симонова.

1 — скоба; *2* — ролик (мерная лента не показана); *3* — мерная лента; *4* — противовес; *5* — шпуля; *6* — проволока; *7* — поплавок; *8* — корпус оголовка; *9* — болт; *10* — втулка; *11* — ось крышки; *12* — крышка; *13* — болт запора; *14* — обсадная труба наблюдательной скважины.

ной 0,3—0,4 *м* со шкивом. На нити противовеса завязаны узелки, обозначающие полные обороты блока, равные 0,5 *м*.

Прибор имеет приспособление (муфту сцепления), при помощи которого блок при опускании или подъеме поплавка из скважины может вращаться ручкой *9*.

Глубина уровня воды определяется: сантиметры — по показанию стрелки на циферблате; полуметры — устанавливаются по числу узелков на нити противовеса.

Лимниграф конструкции Б. П. Остроумова предназначен для автоматической записи колебаний уровня воды в скважинах диаметром от 75 до 150 *мм* (рис. XXXI-16а, б).

Регистрирующий механизм прибора приводится в движение поплавком *1*, уравновешенным противовесом *2*. Канатик *3*, связывающий поплавок с противовесом, огибает большой шкив *4*, направляющий ролик *5*

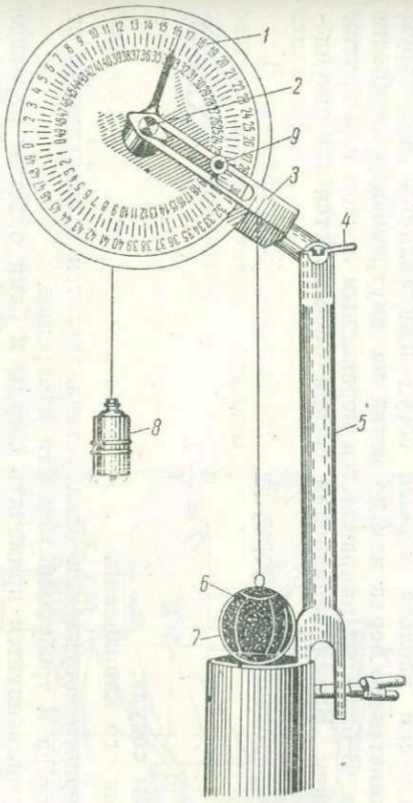


Рис. XXXI-15. Уровнемер конструкции Е. В. Симонова.

1 — блок; *2* — подшипник; *3* — вилка; *4* — болт; *5* — стойка; *6* — поплавок; *7* — дужки; *8* —противовес; *9* — ручка.

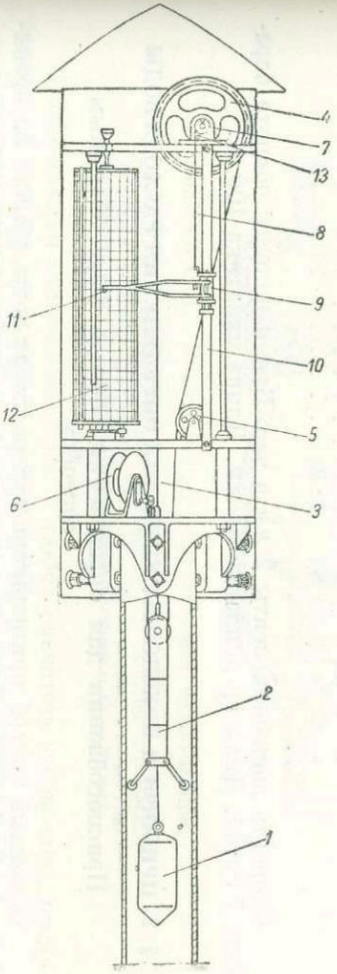
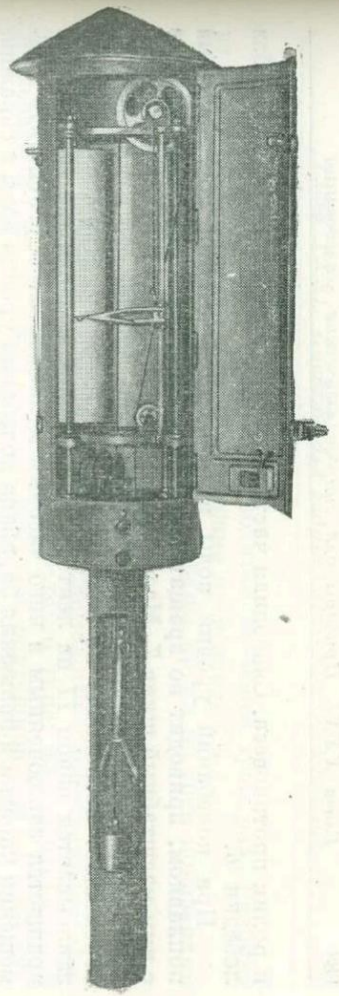


Рис. XXXI-16а. Лимниграф конструкции Б. П. Остроумова.

1 —поплавок; *2* —противовес; *3* — канатик; *4* — большой шкив; *5* — направляющий ролик; *6* — лебедка; *7* —масштабный шкив; *8* — тросик; *9* — каретка; *10* — направляющая стойка; *11* — перо; *12* — барабан; *13*— крючок.

Рис. XXXI-16б. Общий вид лимниграфа.



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.

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*.

§ 2. ПРИБОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ

Приспособления для определения расхода воды объемным способом

Объемный способ применяется при расходах воды, обычно не превышающих 5—10 *л/сек*. При этом расход воды до 5—6 *л/сек* измеряется переносными мерными сосудами, для измерения бо́льших 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

$$Q = \frac{W}{t}, \qquad \text{(XXXI-3)}$$

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 20 Q *л/сек*, а для более точных измерений — до 40 Q *л/сек* [В. Н. Попов, 1955; В. Д. Быков, 1949; Н. А. 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 (рис. XXXI-17) и б) с винтовой вертушкой (рис. XXXI-18).

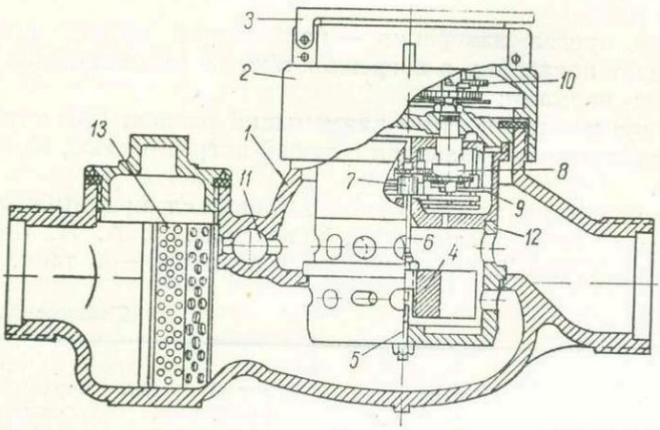


Рис. XXXI-17. Водосчетчик с вертикальной крыльчаткой.

1 — корпус; *2* — головка; *3* — крышка; *4* — крыльчатка; *5* — основной шип; *6* — ось крыльчатки; *7* — трибка; *8* — сальник; *9* — передаточный механизм (редуктор); *10* — счетный механизм; *11*—регулировочный кран; *12* — камера крыльчатки с соплами; *13* — фильтр.

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:

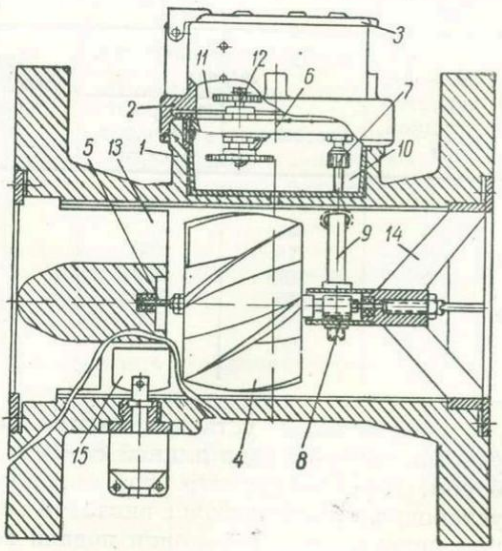


Рис. XXXI-18. Водосчетчик с винтовой вертушкой.

1 — корпус; *2* — головка; *3* — откидная крышка; *4* — винтовая вертушка; *5* — ось вертушки; *6* — перегородка герметичная; *7* — трибка; *8* — червячная пара; *9* — вертикальная ось; *10* —передаточный механизм (редуктор); *11* — счетный механизм; *12* — ось; *13* — струевыпрямитель; *14* — крестовина; *15* — пластина-регулятор.

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 не была.

Данные, которыми можно руководствоваться при выборе водосчетчиков с вертикальной крыльчаткой, приведены, по А. Н. Павловскому [1951], в табл. XXXI-2, а с винтовой вертушкой — в табл. XXXI-3.

Таблица XXXI-2

Калибр водосчетчика с вертикальной крыльчаткой, *мм*	Нормальный расход, $м^3/час$	Нижний предел измерения, $м^3/час$	Верхний предел измерения, $м^3/час$
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

Таблица XXXI-3

Калибр водосчетчика с винтовой вертушкой, *мм*	Допустимая нагрузка, $м^3/час$		Нижний предел измерения, $м^3/час$	Верхний предел измерения, $м^3/час$	Диаметр трубопровода, *мм*
	постоянная	при работе 10 часов 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

Водосчетчики устанавливаются на горизонтальном прямолинейном участке трубопровода длиной 8—10 D перед прибором и 6—8 D за прибором, где D — диаметр трубопровода (рис. XXXI-19). Допускается установка водосчетчиков с винтовой вертушкой в вертикальном и наклонном положении при условии подачи воды снизу вверх.

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 заполненный водой.

Для нормальной работы водосчетчика проходящая через прибор вода не должна содержать взвешенных частиц (песка, мути, волокон и т. д.). Недопустима подача воды толчками.

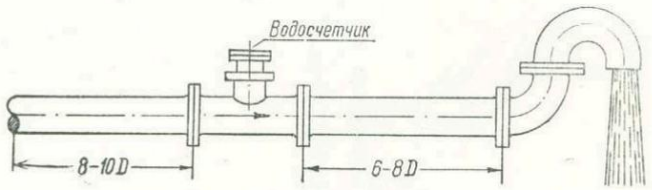


Рис. XXXI-19. Схема установки водосчетчика.

Допустимые погрешности водосчетчиков при соблюдении правил установки и эксплуатации их установлены в $\pm 2—3\%$.

Перечень неисправностей, которые могут возникнуть при эксплуатации водосчетчиков, причины и способы их устранения даны по А. Н. Павловскому [1951] в табл. XXXI-4.

Таблица XXXI-4

Неисправность	Причина	Способ устранения неисправности
Большая стрелка циферблата передвигается скачками	Неисправность в передаточном механизме, в основном — в первой паре шестеренок	Разобрать счетчик и произвести смену износившихся деталей
Шум в счетчике, корпус дрожит, стрелка передвигается слишком быстро	Расход слишком велик	Установить водосчетчик бóльшего калибра
Счетчик работает, а большая стрелка стоит на месте или передвигается слишком медленно	1. Расход слишком мал и находится на грани чувствительности	1. Установить водосчетчик мéньшего калибра
	2. Заклинилась ось сальника, неисправен передаточный механизм	2. Разобрать и осмотреть прибор. Сменить сносившуюся деталь, сделать новую набивку сальника
	3. Засорилась сетка фильтра	3. Прочистить сетку фильтра
	4. Направление воды не совпадает с указанием стрелки на корпусе. Отвернулась трубка на оси крыльчатки	4. Проверить правильность присоединения. Разобрать прибор и осмотреть его механизм
Большая стрелка циферблата вращается в направлении, обратном нормальному	То же, что и в пункте 4	Перемонтировать прибор
Из отверстий в головке корпуса течет вода	Течь через уплотнения сальника	Произвести смену уплотнения или сделать новую набивку сальника

Концевая диафрагма

Концевая диафрагма с пьезометрической трубкой применяется для определения расхода при откачке воды из скважин центробежными, винтовыми и другими насосами, обеспечивающими равномерную подачу воды (рис. XXXI-20а, б).

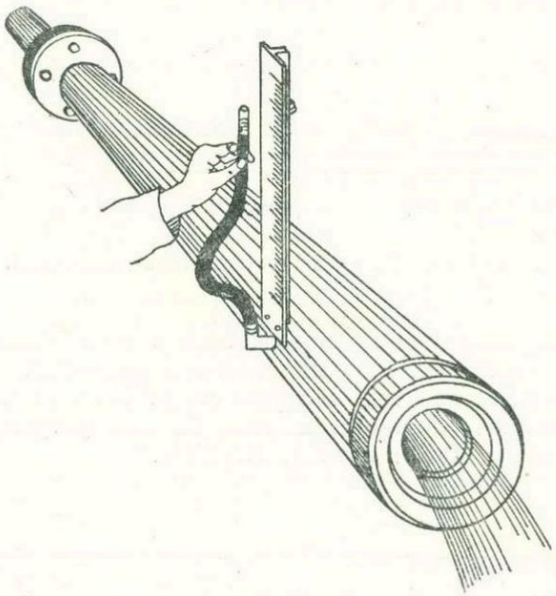


Рис. XXXI-20а. Измерение расхода концевой диафрагмой с пьезометрической трубкой.

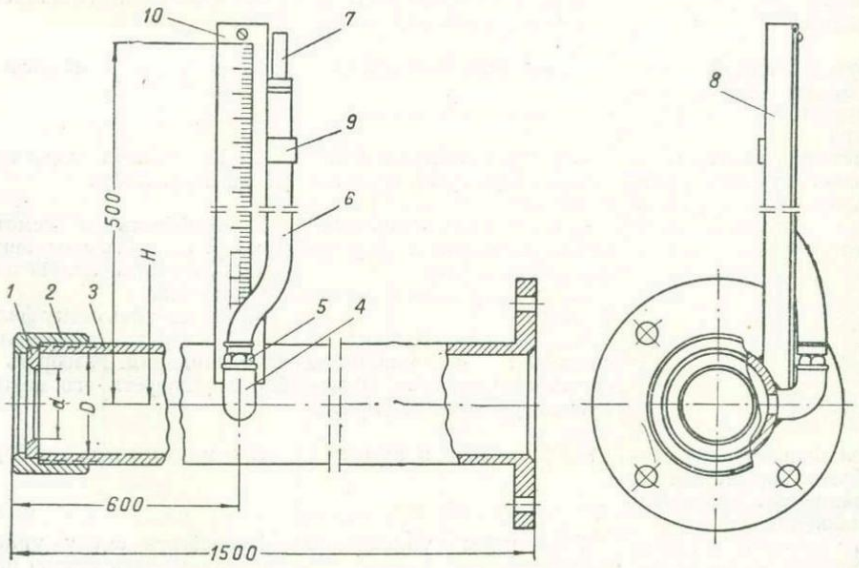


Рис. XXXI-20б. Сливная труба с концевой диафрагмой и пьезометрической трубкой.

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 трубе приваривается стойка *8* с держателем *9* резиновой трубки и линейкой *10*. Цена делений линейки 1 *мм*.

Расход воды определяется по формуле

$$Q = 12528md^2\sqrt{H}\ м^3/час, \qquad \text{(XXXI-4)}$$

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. XXXI-5 [Винтов. артез. насос ВАН-7, 1952]), где D — внутренний диаметр сливной трубы, *м*.

Для определения величины напора H в трубе (рис. XXXI-20) 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 применяются незатопленные водосливы с тонкой вертикальной 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 порога водослива;

3) под струю должен быть всегда обеспечен свободный доступ воздуха (совершенный водослив);

4) края выреза в стенке водослива должны быть не толще 1—2 *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, четырехкратном величине наибольшего напора. Нулевое деление рейки должно находиться точно на одной отметке с порогом (или вершиной угла треугольного выреза) водослива;

Таблица XXXI-5

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 таблицы, а тысячные доли m — из верхней горизонтальной графы.

6) перед водосливом не должны скапливаться наносы, значительно снижающие точность определения расхода воды.

Водослив Базена (рис. XXXI-21). Вода в водосливе переливается через порог 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 5 $H_{макс}$, где $H_{макс}$ — наибольший напор.

Порог водослива должен быть строго горизонтальным и возвышаться над дном подводящего участка канала на величину $H_{макс}$, но не менее 0,2 *м*. Наименьший напор рекомендуется не менее 0,025 *м*, наибольший — до 1,25 *м*.

При точном измерении напора предельная ошибка определения расхода воды этим водосливом составляет около 1%.

Расход определяется по формуле

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2}, \qquad \text{(XXXI-5)}$$

где Q — расход, $м^3/сек$;

$$m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}0027}{H}\right)\left[1 + 0{,}55\frac{H^2}{(H+p)^2}\right];$$

где b — ширина порога водослива, *м*;
g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек*;
H — напор, *м*;
p — высота порога водослива, *м*.

Значения m и $\sqrt{2g}H^{3/2}$ для разных напоров H и высоты порога водослива p приведены в табл. XXXI-6 [Наставлен. гидромет. станц. и пост., 1945].

Водослив Базена—Эгли устанавливается при выходе воды из бассейна. Вода переливается через порог водослива с боковым сжатием струи. Основные размеры водослива, в зависимости от величины наибольшего напора, т. е. $H_{макс}$, указаны на рис. XXXI-22.

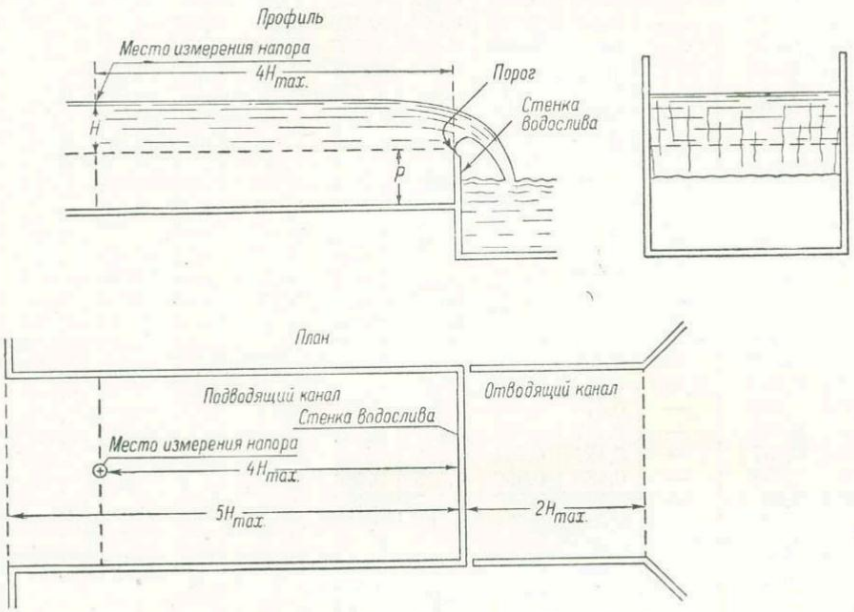


Рис. XXXI-21. Водослив Базена.

Вырез в стенке водослива делается прямоугольной формы. Порог водослива должен быть установлен 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 (XXXI-5).

Здесь

$$m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}0027}{H} - 0{,}03\,\frac{B-b}{B}\right)\left[1 + 0{,}55\,\frac{b^2}{B^2}\cdot\frac{H^2}{(H+p)^2}\right],$$

где B — ширина бассейна, *м*.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (XXXI-5).

Таблица XXXI-6

Значение $\sqrt{2g}H^{3/2}$ и коэффициента расхода m для незатопленного водослива Базена без бокового сжатия

H, м	$\sqrt{2g}H^{3/2}$	Высота порога водослива p, м									
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
		Значения коэффициента m									
0,05	0,0495	0,469	0,464	0,462	0,461	0,461	0,460	0,460	0,459	0,459	0,459
0,06	0,0651	0,463	0,457	0,454	0,453	0,452	0,451	0,451	0,450	0,450	0,450
0,07	0,0820	0,460	0,453	0,450	0,447	0,446	0,446	0,445	0,444	0,444	0,444
0,08	0,1002	0,458	0,449	0,446	0,443	0,442	0,441	0,440	0,439	0,439	0,439
0,09	0,1196	0,458	0,448	0,444	0,441	0,439	0,438	0,437	0,436	0,436	0,435
0,10	0,140	0,458	0,447	0,442	0,439	0,437	0,435	0,434	0,433	0,433	0,432
0,11	0,162	0,460	0,447	0,441	0,437	0,435	0,434	0,432	0,431	0,430	0,430
0,12	0,184	0,461	0,447	0,440	0,436	0,434	0,432	0,430	0,429	0,428	0,428
0,13	0,208	0,462	0,447	0,440	0,436	0,434	0,431	0,429	0,428	0,427	0,426
0,14	0,232	0,464	0,448	0,440	0,436	0,433	0,430	0,428	0,426	0,425	0,424
0,15	0,257	0,466	0,449	0,440	0,436	0,432	0,429	0,427	0,425	0,424	0,423
0,16	0,283	0,468	0,450	0,441	0,436	0,432	0,428	0,426	0,424	0,423	0,422
0,17	0,310	0,470	0,452	0,441	0,436	0,432	0,428	0,426	0,423	0,422	0,421
0,18	0,338	0,472	0,453	0,442	0,436	0,432	0,428	0,425	0,423	0,422	0,420
0,19	0,367	0,474	0,455	0,443	0,436	0,432	0,428	0,425	0,422	0,421	0,419
0,20	0,396	0,476	0,456	0,444	0,437	0,433	0,428	0,425	0,422	0,420	0,419
0,22	0,457	0,480	0,459	0,446	0,439	0,434	0,428	0,425	0,421	0,420	0,417
0,24	0,521	0,484	0,462	0,448	0,440	0,435	0,428	0,425	0,421	0,419	0,416
0,26	0,587	0,488	0,465	0,451	0,442	0,436	0,429	0,425	0,420	0,418	0,415
0,28	0,656	0,492	0,468	0,453	0,444	0,438	0,430	0,426	0,420	0,418	0,415
0,30	0,728	0,496	0,471	0,456	0,446	0,439	0,431	0,426	0,420	0,418	0,414
0,32	0,802	—	0,474	0,459	0,449	0,441	0,432	0,427	0,420	0,418	0,413
0,34	0,878	—	0,477	0,461	0,451	0,443	0,433	0,428	0,421	0,418	0,413
0,36	0,957	—	0,481	0,464	0,453	0,445	0,435	0,429	0,421	0,418	0,412
0,38	1,038	—	0,483	0,466	0,455	0,446	0,436	0,430	0,422	0,418	0,412
0,40	1,13	—	0,486	0,468	0,457	0,448	0,437	0,431	0,422	0,418	0,412
0,45	1,34	—	0,492	0,474	0,462	0,452	0,440	0,433	0,423	0,419	0,411
0,50	1,57	—	0,499	0,480	0,467	0,457	0,444	0,436	0,425	0,419	0,410
0,55	1,81	—	—	0,486	0,473	0,462	0,448	0,438	0,426	0,420	0,410
0,60	2,06	—	—	0,491	0,477	0,466	0,451	0,441	0,428	0,421	0,410
0,65	2,32	—	—	0,496	0,481	0,470	0,454	0,444	0,430	0,422	0,410
0,70	2,59	—	—	0,500	0,485	0,474	0,458	0,447	0,432	0,424	0,409
0,75	2,88	—	—	0,504	0,489	0,477	0,461	0,450	0,433	0,426	0,409
0,80	3,17	—	—	0,509	0,493	0,481	0,464	0,452	0,435	0,427	0,408
0,85	3,47	—	—	0,513	0,496	0,485	0,468	0,455	0,437	0,428	0,408
0,90	3,78	—	—	0,517	0,500	0,489	0,471	0,458	0,439	0,430	0,408
0,95	4,10	—	—	0,520	0,503	0,493	0,474	0,461	0,441	0,432	0,408
1,00	4,43	—	—	0,524	0,507	0,496	0,477	0,464	0,443	0,433	0,408
1,05	4,77	—	—	0,527	0,510	0,499	0,480	0,467	0,445	0,434	0,407
1,10	5,11	—	—	0,530	0,513	0,502	0,482	0,469	0,447	0,436	0,407
1,15	5,46	—	—	0,533	0,516	0,504	0,484	0,472	0,449	0,437	0,407
1,20	5,82	—	—	0,536	0,519	0,507	0,487	0,474	0,451	0,438	0,407
1,25	6,19	—	—	0,539	0,522	0,510	0,490	0,476	0,453	0,439	0,407

Значения m и $\sqrt{2g}H^{3/2}$ для разных напоров приведены в табл. XXXI-7 [Наставлен. гидромет. станц. и пост., 1945].

Водослив Чиполлети устанавливается при выходе потока из бассейна, который должен быть не менее 2—3-кратной ширины струи переливающейся воды (рис. XXXI-23). Вырез водослива делается по контуру трапеции. Наклон боковых стороен равен 0,25 высоты трапеции

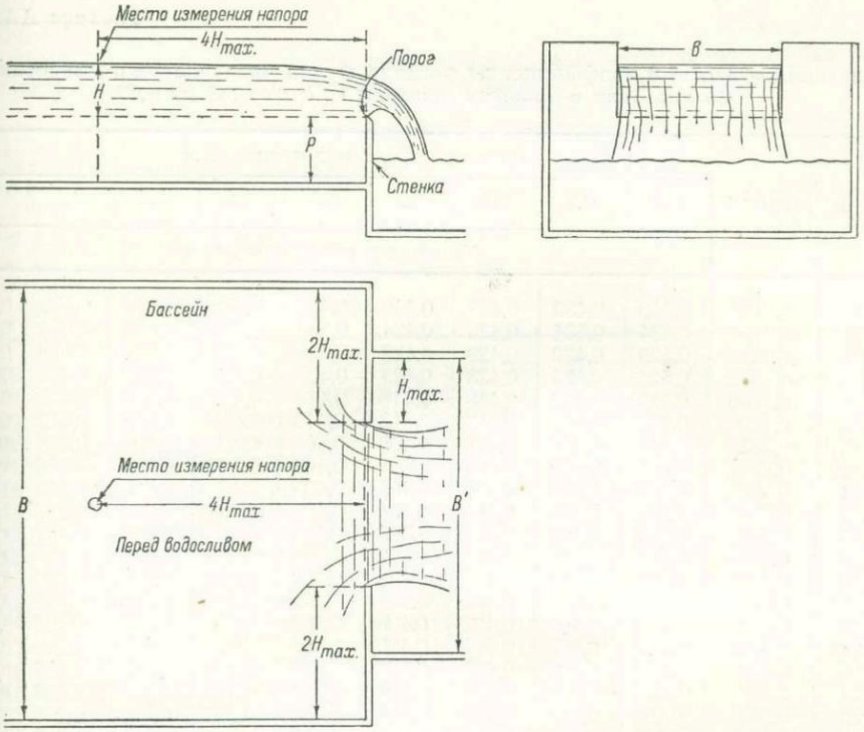


Рис. XXXI-22. Водослив Базена-Эгли.

($a = 75°30'$). Порог водослива должен возвышаться над дном не меньше чем на величину наибольшего напора.

Вода переливается через водослив с боковым сжатием струи. Точность измерения расхода воды этим водосливом $\pm 2\%$ при напорах от 0,05 и до 1,0 *м*. Расход воды определяется по формуле:

$$Q = 1{,}86\, bH^{3/2}. \qquad \text{(XXXI-6)}$$

В табл. XXXI-8 для напоров от 0,05 и до 1,095 и приведены величины расходов на 1 *м* ширины порога водослива (удельные расходы).

Водослив Томсона устанавливается при выходе потока воды из бассейна шириной не менее $5H_{\text{макс}}$ (рис. XXXI-24). 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

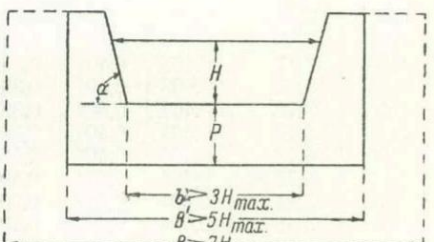


Рис. XXXI-23. Водослив Чиполетти.

$$Q = 1{,}4\, H^{5/2}, \qquad \text{(XXXI-7)}$$

где Q — расход воды, $м^3/сек$;
H — высота напора, *м*

Таблица XXXI-7

Значения $\sqrt{2g}H^{3/2}$ и коэффициенты расхода m для незатопленного водослива Базена-Эгли с боковым сжатием $в : B$ от 0,33 до 0,20

H, *м*	$\sqrt{2g}H^{3/2}$	Высота порога водослива p, *м*								
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
		Значение коэффициента m								
0,05	0,0495	0,440	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439
0,06	0,0651	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434
0,07	0,0820	0,429	0,430	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428
0,08	0,1002	0,424	0,425	0,423	0,423	0,423	0,423	0,423	0,423	0,423
0,09	0,1196	0,419	0,420	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418
0,10	0,140	0,415	0,414	0,413	0,413	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412
0,11	0,162	0,411	0,410	0,409	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
0,12	0,184	0,410	0,409	0,408	0,407	0,407	0,407	0,406	0,406	0,406
0,13	0 208	0,409	0,407	0,406	0,405	0,405	0,405	0,404	0,404	0,404
0,14	0,232	0,408	0,406	0,405	0,404	0,404	0,404	0,402	0,402	0,402
0,15	0,257	0,408	0,405	0,404	0,403	0,403	0,403	0,401	0,401	0,401
0,16	0,283	0,407	0,404	0,403	0,402	0,402	0,402	0,401	0,401	0,401
0,17	0,310	0,406	0,404	0,403	0,402	0,402	0,402	0,400	0,400	0,400
0,18	0,338	0,406	0,403	0,402	0,401	0,401	0,401	0,399	0,399	0,399
0,19	0,367	0,405	0,403	0,402	0,400	0,400	0,400	0,399	0,399	0,399
0,20	0,396	0,405	0,402	0,401	0,400	0,399	0,399	0,398	0,398	0,398
0,22	0,457	0,404	0,401	0,400	0,399	0,398	0,398	0,397	0,397	0,397
0,24	0,521	0,404	0,401	0,399	0,398	0,398	0,398	0,396	0,396	0,396
0,26	0,587	0,404	0,400	0,399	0,398	0,397	0,397	0,396	0,396	0,396
0,28	0,656	0,403	0,400	0,398	0,397	0,397	0,396	0,395	0,395	0,395
0,30	0,728	0,403	0,400	0,398	0,397	0,397	0,396	0,395	0,395	0,395
0,32	0,802	0,403	0,400	0,398	0,397	0,396	0,396	0,395	0,394	0,394
0,34	0,878	0,403	0,400	0,398	0,397	0,396	0,395	0,394	0,394	0,393
0,36	0,957	0,402	0,400	0,398	0,397	0,396	0,395	0,394	0,394	0,393
0,38	1,038	0,402	0,400	0,398	0,397	0,396	0,395	0,394	0,393	0,393
0,40	1,13	0,402	0,400	0,398	0,397	0,396	0,395	0,394	0,393	0,393
0,45	1,34	0,402	0,400	0,398	0,396	0,395	0,394	0,393	0,392	0,392
0,50	1,57	0,402	0,400	0,398	0,396	0,395	0,394	0,393	0,302	0,392
0,55	1,81	0,402	0,400	0,398	0,396	0,395	0,394	0,393	0,391	0,391
0,60	2,06	0,402	0,400	0,398	0,397	0,395	0,394	0,393	0,391	0,391
0,65	2,32	0,402	0,400	0,398	0,397	0,396	0,394	0,393	0,391	0,391
0,70	2,59	0,403	0,400	0,398	0,397	0,396	0,394	0,393	0,391	0,391
0,75	2,88	0,403	0,401	0,399	0,397	0,396	0 394	0,393	0,391	0,391
0,80	3,17	0,403	0,401	0,399	0,397	0,396	0,394	0,393	0,391	0,390
0,85	3,47	0,403	0,401	0,399	0,397	0,396	0,394	0,393	0,391	0,390
0,90	3,78	0,404	0,401	0,399	0,398	0,396	0,395	0,393	0,391	0,390
0,95	4,10	0,404	0,401	0,399	0,398	0,397	0,395	0,393	0,391	0,390
1,00	4,43	0,404	0,401	0,400	0,398	0,397	0,395	0,394	0,391	0,390
1,05	4,77	0,404	0,401	0,400	0,398	0,397	0,395	0,394	0,392	0,390
1,10	5,11	0,404	0,402	0,400	0,398	0,397	0,395	0,394	0,392	0,390
1,15	5,46	0,404	0,402	0,400	0,399	0,398	0,396	0,394	0,392	0,390
1,20	5,82	0,404	0,402	0,400	0,399	0,398	0,396	0,394	0,392	0,390
1,25	6,19	0,405	0,402	0,401	0,399	0,398	0,397	0,394	0 392	0,391

Расходы воды, вычисленные по этой формуле, приведены в табл. XXXI-9.

Переносная водосливная рамка предназначена для измерения расходов до 9 *л/сек* (рис. XXXI-25). 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

Таблица XXXI-8

Величины удельного расхода воды, протекающей через трапецоидальный незатопленный водослив Чипполетти в зависимости от H, $м^3/сек$ на 1 $м$ длины порога водослива

H, $м$	Тысячные доли напора (H)					H, $м$	Тысячные доли напора (H)		H, $м$	Тысячные доли напора (H)	
	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008		0,000	0,005		0,000	0,005
	Величины расходов						Величины расходов			Величины расходов	
0,05	0,0208	0,0221	0,0233	0,0247	0,0260	0,40	0,470	0,479	0,75	1,208	1,220
0,06	0,0273	0,0287	0,0302	0,0316	0,0330	0,41	0,488	0,497	0,76	1,232	1,244
0,07	0,0344	0,0360	0,0375	0,0391	0,0405	0,42	0,506	0,515	0,77	1,256	1,268
0,08	0,0421	0,0438	0,0454	0,0470	0,0486	0,43	0,524	0,533	0,78	1,280	1,292
0,09	0,0502	0,0520	0,0537	0,0554	0,0571	0,44	0,542	0,551	0,79	1,304	1,316
0,10	0,0588	0,0605	0,0624	0,0641	0,0659	0,45	0,560	0,569	0,80	1,329	1,342
0,11	0,0676	0,0696	0,0715	0,0735	0,0754	0,46	0,578	0,587	0,81	1,355	1,368
0,12	0,0773	0,0793	0,0814	0,0834	0,0854	0,47	0,597	0,607	0,82	1,381	1,394
0,13	0,0874	0,0894	0,0915	0,0935	0,0955	0,48	0,617	0,627	0,83	1,407	1,420
0,14	0,0975	0,0996	0,1017	0,1038	0,1059	0,49	0,637	0,647	0,84	1,433	1,446
0,15	0,1080	0,1102	0,1124	0,1146	0,1168	0,50	0,657	0,667	0,85	1,459	1,472
0,16	0,1190	0,1213	0,1236	0,1259	0,1282	0,51	0,677	0,687	0,86	1,485	1,498
0,17	0,1305	0,1328	0,1351	0,1374	0,1397	0,52	0,697	0,707	0,87	1,511	1,524
0,18	0,1420	0,1444	0,1468	0,1492	0,1516	0,53	0,717	0,727	0,88	1,537	1,550
0,19	0,1541	0,1566	0,1591	0,1616	0,1641	0,54	0,737	0,747	0,89	1,563	1,576
0,20	0,1666	0,1691	0,1716	0,1741	0,1766	0,55	0,757	0,767	0,90	1,589	1,602
0,21	0,1791	0,1817	0,1843	0,1869	0,1895	0,56	0,777	0,788	0,91	1,615	1,628
0,22	0,1921	0,1947	0,1973	0,1999	0,2026	0,57	0,799	0,810	0,92	1,641	1,654
0,23	0,2052	0,2079	0,2106	0,2133	0,2160	0,58	0,821	0,832	0,93	1,667	1,680
0,24	0,2187	0,2214	0,2241	0,2269	0,2297	0,59	0,843	0,854	0,94	1,693	1,706
0,25	0,2325	0,2353	0,2381	0,2409	0,2437	0,60	0,865	0,876	0,95	1,720	1,734
0,26	0,2465	0,2494	0,2523	0,2552	0,2581	0,61	0,887	0,898	0,96	1,748	1,762
0,27	0,2610	0,2639	0,2668	0,2697	0,2726	0,62	0,909	0,920	0,97	1,776	1,790
0,28	0,2756	0,2786	0,2816	0,2846	0,2876	0,63	0,931	0,942	0,98	1,804	1,818
0,29	0,2906	0,2936	0,2966	0,2997	0,3027	0,64	0,953	0,964	0,99	1,832	1,846
0,30	0,3057	0,3088	0,3119	0,3150	0,3181	0,65	0,975	0,986	1,00	1,860	—
0,31	0,3212	0,3243	0,3274	0,3305	0,3336	0,66	0,997	1,008	1,01	1,888	—
0,32	0,3368	0,3400	0,3432	0,3464	0,3496	0,67	1,019	1,030	1,02	1,917	—
0,33	0,3528	0,3560	0,3592	0,3624	0,3626	0,68	1,041	1,052	1,03	1,945	—
0,34	0,3688	0,3721	0,3754	0,3787	0,3820	0,69	1,064	1,076	1,04	1,973	—
0,35	0,3853	0,3886	0,3919	0,3952	0,3985	0,70	1,088	1,100	1,05	2,001	—
0,36	0,4019	0,4053	0,4087	0,4121	0,4155	0,71	1,112	1,124	1,06	2,030	—
0,37	0,4189	0,4223	0,4257	0,4291	0,4325	0,72	1,136	1,148	1,07	2,059	—
0,38	0,4359	0,4393	0,4427	0,4461	0,4495	0,73	1,166	1,172	1,08	2,088	—
0,39	0,4530	0,4565	0,4600	0,4635	0,4670	0,74	1,184	1,196	1,09	2,117	—

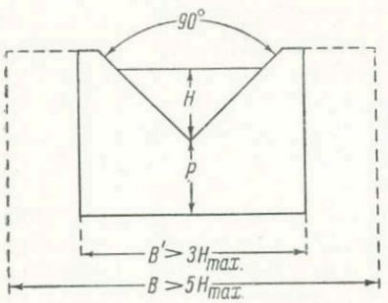


Рис. XXXI-24. Водослив Томсона.

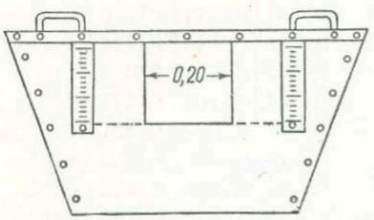


Рис. XXXI-25. Переносная водосливная рамка.

Таблица XXXI-9

Величина расхода воды, протекающей через треугольный незатопленный водослив Томсона ($\alpha = 90°$) в зависимости от напора H, м³/сек

H, м	Тысячные доли напора (H)					H, м	Тысячные доли напора (H)		H, м	Тысячные доли напора (H)	
	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008		0,000	0,005		0,000	0,005
	Величины расходов						Величины расходов			Величины расходов	
0,01	—	—	—	—	—	0,36	0,1089	0,1104	0,1119	0,1134	0,1150
0,02	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,37	0,1166	0,1182	0,1198	0,1214	0,1230
0,03	0,0001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005	0,38	0,1246	0,1262	0,1279	0,1296	0,1313
0,04	0,0005	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0,39	0,1330	0,1347	0,1364	0,1381	0,1398
0,05	0,0008	0,0008	0,0009	0,0009	0,0011	0,40	0,1416	0,1434	0,1452	0,1470	0,1488
0,06	0,0013	0,0014	0,0014	0,0015	0,0017	0,41	0,1506	0,1553	0,71	0,5947	0,5952
0,07	0,0018	0,0020	0,0021	0,0022	0,0024	0,42	0,1600	0,1649	0,72	0,6157	0,6266
0,08	0,0025	0,0027	0,0028	0,0030	0,0031	0,43	0,1697	0,1747	0,73	0,6374	0,6483
0,09	0,0033	0,0036	0,0038	0,0040	0,0042	0,44	0,1798	0,1849	0,74	0,6595	0,6707
0,10	0,0045	0,0047	0,0049	0,0051	0,0053	0,45	0,1901	0,1954	0,75	0,6819	0,6934
0,11	0,0056	0,0058	0,0061	0,0064	0,0067	0,46	0,2009	0,2064	0,76	0,7049	0,7167
0,12	0,0070	0,0073	0,0076	0,0079	0,0082	0,47	0,2120	0,2177	0,77	0,7284	0,7403
0,13	0,0085	0,0088	0,0092	0,0095	0,0099	0,48	0,2234	0,2293	0,78	0,7522	0,7644
0,14	0,0102	0,0106	0,0110	0,0114	0,0118	0,49	0,2353	0,2414	0,79	0,7766	0,7889
0,15	0,0122	0 0126	0,0130	0,0134	0,0139	0,50	0,2475	0,2537	0,80	0,8014	0,8140
0,16	0,0143	0,0148	0,0152	0,0157	0,0162	0,51	0,2600	0,2664	0,81	0,8267	0,8394
0,17	0,0167	0,0172	0,0177	0,0182	0,0187	0,52	0,2730	0,2796	0,82	0,8525	0,8655
0,18	0,0192	0,0198	0,0203	0,0208	0,0214	0,53	0,2863	0,2932	0,83	0,8786	0,8919
0,19	0,0220	0,0226	0,0232	0,0238	0,0244	0,54	0,3000	0,3070	0,84	0,9054	0,9190
0,20	0,0250	0,0256	0,0262	0,0269	0,0276	0,55	0,3140	0,3213	0,85	0,9325	0,9464
0,21	0,0283	0,0290	0,0297	0,0304	0,0311	0,56	0,3286	0,3360	0,86	0,9603	0,9743
0,22	0,0318	0,0325	0,0332	0,0340	0,0348	0,57	0,3434	0,3510	0,87	0,9884	1,0027
0,23	0,0356	0,0364	0,0372	0,0380	0,0388	0,58	0,3587	0,3665	0,88	1,0171	1,0315
0,24	0,0396	0,0404	0,0412	0,0420	0,0428	0,59	0,3744	0,3823	0,89	1,0462	1,0609
0,25	0,0437	0,0446	0,0455	0,0464	0,0473	0,60	0,3905	0,3986	0,90	1,0758	1,0909
0,26	0,0482	0,0491	0,0501	0,0511	0,0521	0,61	0,4068	0,4152	0,91	1,1060	1,1203
0,27	0,0531	0,0541	0,0551	0,0561	0,0571	0,62	0,4238	0,4323	0,92	1,1365	1,1521
0,28	0,0581	0,0591	0,0602	0,0613	0,0624	0,63	0,4410	0,4498	0,93	1,1677	1,1834
0,29	0,0635	0,0646	0,0657	0,0668	0,0679	0,64	0,4588	0,4677	0,94	1,1990	1,2153
0,30	0,0692	0,0703	0,0715	0,0727	0,0739	0,65	0,4768	0,4861	0,95	1,2314	1,2478
0,31	0,0751	0,0763	0,0775	0,0787	0,0799	0,66	0,4955	0,5048	0,96	1,2642	1,2807
0,32	0,0821	0,0824	0,0837	0,0850	0,0863	0,67	0,5144	0,5240	0,97	1,2974	1,3142
0,33	0,0876	0,0889	0,0902	0,0916	0,0930	0,68	0,5338	0,5438	0,98	1,3310	1,3481
0,34	0,0944	0,0968	0,0972	0,0986	0,1000	0,69	0,5537	0,5638	0,99	1,3653	1,3825
0,35	0,1014	0,1029	0,1044	0,1059	0,1074	0,70	0,5740	0,5842	1,00	1,4000	1,4175

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.

Расход вычисляется по формуле

$$Q = mbH\sqrt{2gH}, \qquad \text{(XXXI-8)}$$

где Q — расход воды, $м^3/сек$;
H — напор воды над порогом, $м$;
g — ускорение силы тяжести $= 9{,}81$ $м/сек^2$;
m — коэффициент расхода для длины порога $b = 0{,}2$ $м$.

По опытам Лебро, при условии наличия перепада за нижним краем отверстия, при H, $м$;
$H = 0{,}02$; $0{,}04$; $0{,}06$; $0{,}08$; $0{,}10$; $0{,}14$; $0{,}18$; $0{,}20$;
$m = 0{,}417$; $0{,}407$; $0{,}0401$; $0{,}397$; $0{,}395$; $0{,}393$; $0{,}392$, $0{,}390$.

Приборы и приспособления для измерения расхода рек и ручьев

Определение расхода воды поплавками

Для определения расхода небольшого потока выбирают прямолинейный участок, имеющий примерно одинаковую глубину и ширину на протяжении не менее тройной или даже пятикратной его ширины.

Скорости течения на таком участке должны быть равномерными. У берегов не должно быть зарослей или других препятствий, которые могли бы вызвать отклонения струй, дно участка не должно иметь выступающих камней, древесных корней и пр.

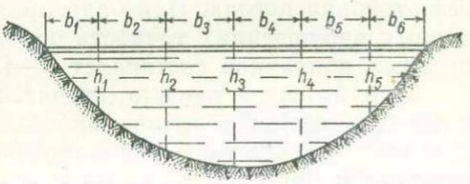


Рис. XXXI-26. Схема промера живого сечения потока реки.

В начале, середине и конце выбранного участка перпендикулярно оси потока разбивают и закрепляют вешками верхний, средний и нижний створы. Кроме того, на 5—10 $м$ выше верхнего створа намечают вспомогательный пусковой створ.

Расстояние между верхним и нижним створами определяется по формуле

$$L = \text{от } 20 \text{ до } 40\, v_{\text{макс}}, \qquad \text{(XXXI-9)}$$

где L — расстояние между верхним и нижним створами;
v — максимальная поверхностная скорость течения воды на участке, $м/сек$.

По линии среднего створа на расстоянии b промеряют глубины h_1, h_2, h_3 ... h_n и определяют площадь живого (водного) сечения потока F по формуле (рис. XXXI-26):

$$F = \frac{b_1 h_1}{2} + \frac{b_2 (h_1 + h_2)}{2} + \frac{b_3 (h_2 + h_3)}{2} + \ldots + \frac{b_n h_n}{2}. \qquad \text{(XXXI-10)}$$

На участке между верхним и нижним створами определяют при помощи поплавков среднюю поверхностную скорость потока.

В качестве поплавков применяются кружки, отпиленные от сырого дерева, высотой 3—5 *см* и диаметром 10—20 *см* или бутылки, частично наполненные водой и закупоренные пробкой.

Время проплыва поплавков от верхнего до нижнего створов определяется по секундомеру.

Поплавки пускаются с вспомогательного створа с расчетом определения поверхностной скорости в середине потока v_1, у правого берега v_2 и у левого v_3.

По каждому направлению скорость потока определяется не менее, чем по 3 поплавкам, дошедшим без задержки до нижнего створа и с расхождением в продолжительности хода их не более 10%.

Средняя поверхностная скорость потока будет равна

$$v = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}. \qquad \text{(XXXI-11)}$$

По площади живого сечения F и средней поверхностной скорости потока v, расход потока определяется по формуле:

$$Q = KvF \ м^3/сек, \qquad \text{(XXXI-12)}$$

где K — коэффициент перехода от средней поверхностной скорости течения к средней скорости потока, равный 0,80—0,85.

Обязательным условием при работе с поплавками является тихая безветренная погода. При благоприятных условиях и тщательных поплавочных наблюдениях точность определения расходов с помощью поверхностных поплавков составляет 8—15%.

При быстром течении потока, когда поплавки сносятся к стрежню потока, измеряется лишь наибольшая поверхностная скорость потока. Для этого пускают 5—10 поплавков по стержневой части потока, где наблюдаются наибольшие скорости течения.

За расчетное значение $v_{макс.\ пов}$ принимается среднее арифметическое значение из скоростей двух самых быстрых поплавков, при условии, если разница между скоростями этих поплавков не превышаат 10%.

За расчетную площадь живого сечения потока принимается среднее значение ее для трех створов, вычисленное по формуле

$$F_{ср} = \frac{F_{верх} + 2F_{ср} + F_{нижн}}{4}. \qquad \text{(XXXI-13)}$$

Расход потока определяется по формуле

$$Q = K_1 v_{макс.\ поверх.}, \qquad \text{(XXXI-14)}$$

где K_1 — коэффициент перехода от максимальной поверхностной скорости к средней скорости потока, который при приближенных определениях расхода может быть принят равным 0.57.

Данные по определению расхода рек и ручьев поплавками записываются в журнал (приложение XIII, журнал 1).

Определение расхода воды гидрометрической вертушкой

Определение расхода воды вертушкой слагается из двух основных операций:

а) измерения площади живого сечения потока;

б) измерения скоростей на отдельных точках, лежащих на заранее выбранных вертикалях живого сечения потока.

Способ определения живого сечения потока указан в предыдущем параграфе.

Число вертикалей принимается в зависимости от ширины реки и должно быть примерно следующее [Н. А. Доманевский, 1951].

При ширине русла	от	2	до	5	*м* —	не менее	3
»	»	»	от	5	»	20	*м* —	»	»	5
»	»	»	от	20	»	100	*м* —	»	»	7

При правильном параболическом профиле русла вертикали размещают равномерно по всей ширине потока.

В случае резких изломов профиля русла, дополнительные вертикали располагают в точках перегибов очертаний дна. Первую и последнюю вертикали следует располагать так близко к урезу воды, насколько это возможно для работы вертушки.

Скорости на вертикалях измеряются двумя способами: а) детальным и б) сокращенным.

При детальном, наиболее точном способе измерения производятся в пяти точках: у поверхности на глубине полутора радиусов лопастного винта вертушки, на глубине $0{,}2\,H$, $0{,}6\,H$, $0{,}8\,H$ (где $-H$ — глубина

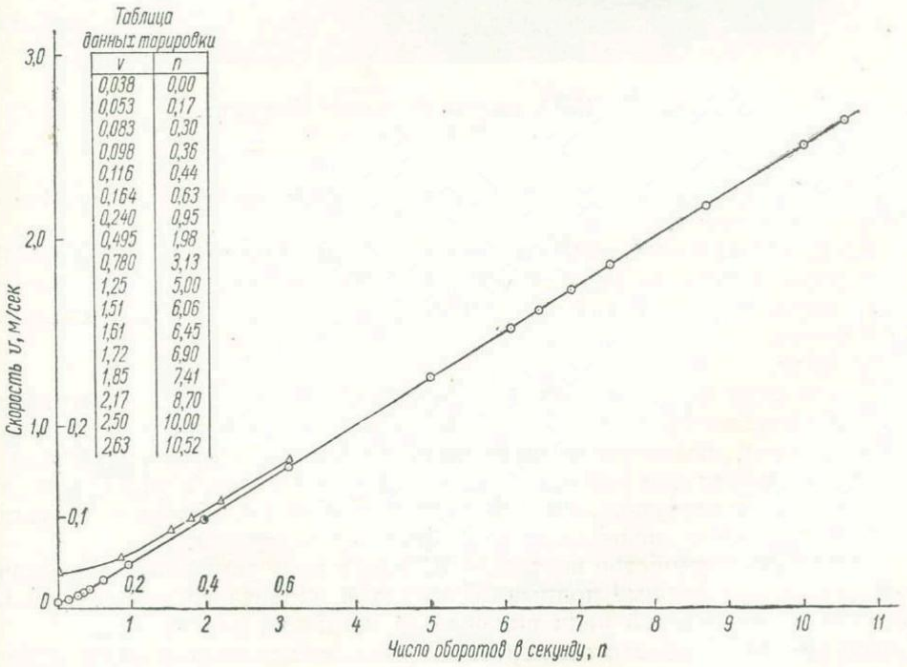


Рис. XXXI-27. Тарировочная кривая для определения скорости потока.

воды на вертикали) и у дна, если это позволяет конструкция вертушки. При этом расстояние между точками должно быть не меньше 1,5 диаметра лопасти вертушки.

Сокращенный способ применяется при малой глубине потока, быстром и значительном изменении уровня воды или недостатка времени.

При этом способе измерения производятся в трех точках на глубине 0,2 H, 0,6 H, 0,8 H; в двух точках на глубине 0,2 H и 0,8 H или в одной точке на глубине 0,6 H.

Скорости на вертикалях измеряются гидрометрическими вертушками разных систем.

Принцип действия вертушек основан на прямолинейной зависимости числа оборотов лопастного винта (или чашечной турбинки) в единицу времени от скорости течения воды. Поэтому по числу оборотов лопастного винта в секунду можно по тарировочной кривой определить действительную скорость течения потока в любой точке (рис. XXXI-27).

Наибольшее распространение получила вертушка Жестовского Ж-3. Реже применяются вертушки других систем и конструкций (типа ИВХ, конструкции Бахирева, «Малютка», конструкции ГГИ и др.).

Вертушка Жестовского Ж-3 (завода Гидрометприбор г. Тбилиси) [1952] предназначена для измерения скорости течения потока в пределах

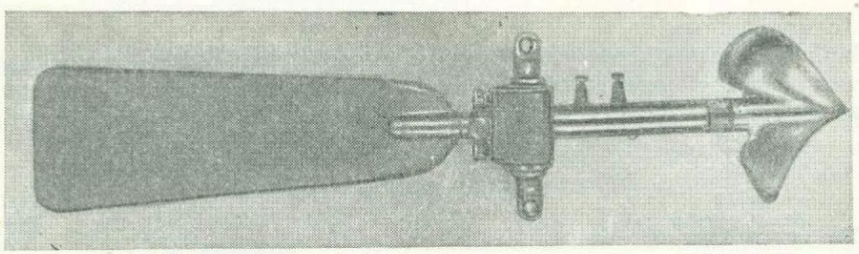


Рис. XXXI-28. Гидрометрическая вертушка Н. Е. Жестовского.

от 0,04 до 5,00 *м/сек* на глубинах до 3 *м* при работе на штанге и до 24 *м* — при работе с троса.

Вертушка Ж-3 состоит из следующих основных частей (рис. XXXI-28):

а) двухлопастного винта с осью и электроконтактным устройством;

б) корпуса с клеммами и приспособлением для работы со штанги или с троса;

в) руля.

В комплект прибора входит укладочный ящик с двумя сухими элементами напряжением по 1,5 вольта, зуммером, лампочкой, двухжильным проводом, некоторыми запасными частями, принадлежностями и приспособлениями для работы со штангой или с троса, а также для разборки и смазки вертушки; штанга длиной 3 *м* из 2-х колен; инструкция по эксплуатации и свидетельство о тарировке вертушки.

Контактное устройство вертушки Ж-3 дает одно замыкание электрической цепи через каждые полные 20 оборотов лопастного винта. При замыкании электрической цепи включается лампочка или зуммер.

При работе со штанги ось вертушки должна быть расположена перпендикулярно створу.

При работе с троса, для уменьшения относа вертушки от линии створа, к ней присоединяется груз на расстоянии не менее 25 *см* от оси вертушки.

Продолжительность измерения скоростей на точках приблизительно составляет:

у поверхности	и на	глубине	0,2 H	не менее	2 минут
»	»		0,6 H	» »	3 »
»	»		0,8 H	» »	4 »
у дна				» »	5 »

Для определения скорости вращения лопастного винта промежутки времени между сигналами зуммера или лампочки отсчитываются по секундомеру.

Секундомер включается после 2—3 пробных сигналов зуммера. Запись времени ведется при быстром течении по концу сигнала, а при медленном течении — по началу сигнала; причем отсчеты по секундомеру производятся без остановки его до конца наблюдений на каждой точке.

Продолжительность измерений скорости на любой точке обычно ограничивается 2—3 минутами при условии, если продолжительность первой половины сигналов отличается от продолжительности второй половины сигналов не более чем на 10%. В противном случае измерения продолжают до получения удовлетворительного результата.

Общее количество сигналов для такой проверки должно быть четным. Эта проверка производится без остановки секундомера.

Результаты измерения скоростей потока записываются в журнал (приложение XIII, журнал 2).

Точность измерения скоростей детальным способом может быть доведена до 1—2%.

При сокращенном способе точность измерения на 2—3% ниже, чем при детальном способе.

Средняя скорость водного потока на вертикали, в зависимости от числа и положения точек, определяется по одной из следующих формул

при пяти точках:

$$v_{ср} = \frac{v_{пов} + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{дон}}{10}, \qquad \text{(XXXI-15)}$$

при трех точках:

$$v_{ср} = \frac{v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}}{4}, \qquad \text{(XXXI-16)}$$

при двух точках:

$$v_{ср} = \frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2}, \qquad \text{(XXXI-17)}$$

при одной точке:

$$v_{ср} = v_{0,6}.$$

Расходы воды вычисляются как сумма частичных расходов между скоростными вертикалями, определяемых по формуле

$$q = f\frac{(v_m + v_{m+1})}{2}, \qquad \text{(XXXI-18)}$$

где f — часть площади живого сечения между вертикалями;
v_m и v_{m+1} — средние скорости на ограничивающих эту часть площади вертикалях.

Частичные расходы береговых участков определяются по формуле

$$q_0 \text{ и } q_0' = f\frac{2v_1}{3}, \qquad \text{(XXXI-19)}$$

где v_1 — средняя скорость на ближайшей к берегу вертикали.

Общий расход потока Q будет равен сумме частичных расходов

$$Q = q_0 + q_1 + q_2 + \ldots q_{n-1} + q_0', \qquad \text{(XXXI-20)}$$

где q_0, q_0' — расходы береговых участков;
$q_1 \ldots q_{n-1}$ — частичные расходы.

§ 3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

Измерение температуры подземных вод производится: ленивыми термометрами; максимальными термометрами, заключенными в металлическую гильзу и электрическими термометрами.

1. Ленивый термометр представляет собой специальный ртутный термометр, вмонтированный в металлическую оправу (рис. XXXI-29).

Оправа конструкции ВИМСа (рис. XXXI-30) 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 минут.

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 (рис. XXXI-31).

Для измерения температуры поверхностных вод, а также в скважинах диаметром не менее 75 *мм* может быть использован термометр, применяющийся при гидрогеологических исследованиях (рис. XXXI-32).

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°.

Для увеличения инертности в баллончик закладывается вата, пробковые опилки, войлок и другие теплоизолирующие материалы.

2. Максимальный термометр, заключенный в металлическую гильзу, предназначен для измерения температуры воды в скважине на значительной глубине.

Обычно в металлическую гильзу закладываются два или три максимальных термометра (рис. XXXI-33).

Перед опусканием в скважину термометры и гильзы охлаждаются до температуры, несколько ниже предполагаемой на заданной глубине замера.

3. Электрические термометры применяются главным образом при термических исследованиях в глубоких скважинах.

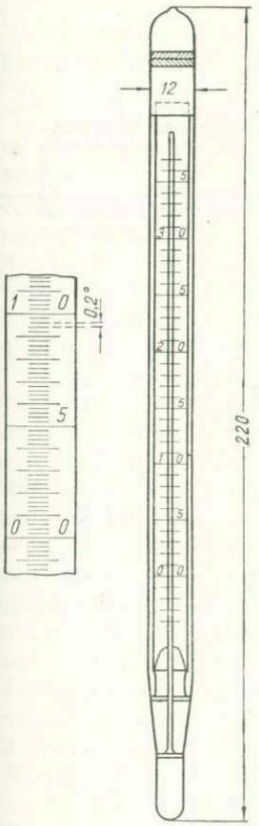


Рис. XXXI-29. Ртутный термометр.

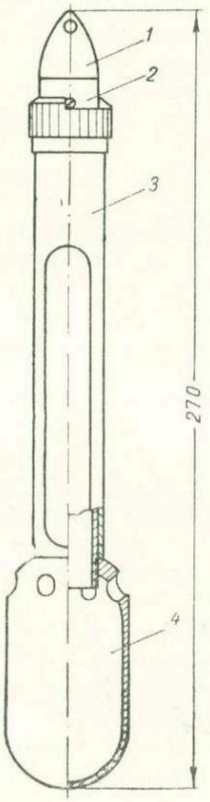


Рис. XXXI-30. Оправа конструкции ВИМС.

1 — головка; *2* — внутренняя трубка; *3* — наружная трубка; *4* — баллончик.

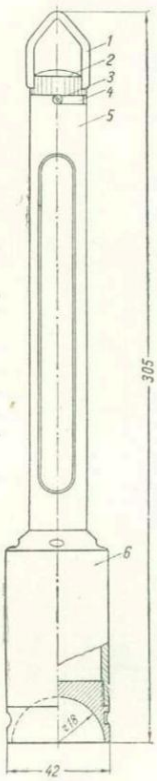


Рис. XXXI-31. Оправа конструкции б. ЦНИГРИ.

1 — дужка; *2* — головка; *3* — винт; *4* — внутренняя трубка; *5* — наружная трубка; *6* — баллончик.

При измерении температуры в скважинах с помощью электрических термометров используется стандартная промыслово-геофизическая аппаратура и оборудование (батареи, кабели, лебедки и др.).

В настоящее время широко применяется электрический термометр сопротивлений. В схеме он представляет собой электрический мостик, состоящий из четырех сопротивлений. Два противоположных плеча *1* и *4* этого мостика изготовляются из манганиновой и константановой проволоки, температурный коэффициент сопротивления которых весьма мал. Два других плеча мостика *2* и *3* изготовляются из медной (или железной и никелиновой) проволок с большим коэффициентом температурного сопротивления. Мостик присоединяется к жилам кабеля, как это показано на рис. XXXI-34. При помощи жилы кабеля A через мостик от точки B к точке C, соединенной с корпусом термометра, пропускается ток силы I;

обратным проводом для цепи тока является «земля». Точки M и N соединены с потенциометром, которым измеряется разность потенциалов между ними. Сопротивления в плечах мостика подбираются такими, чтобы при

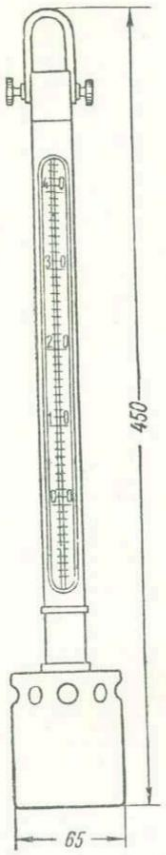


Рис XXXI-32. Термометр, применяемый при гидрологических работах.

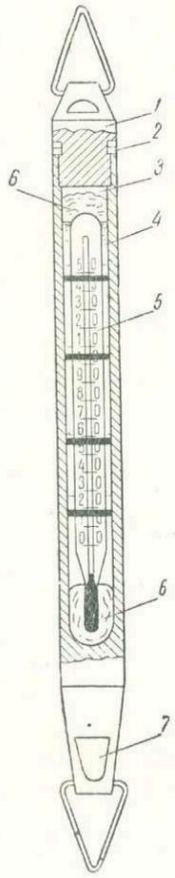


Рис. XXXI-33. Гильза для максимального термометра.

1 — головка; *2* — свинцовые прокладки; *3* — воздушный зазор; *4* — вода; *5* — максимальный термометр; *6* — вата; *7* — срез для ключа.

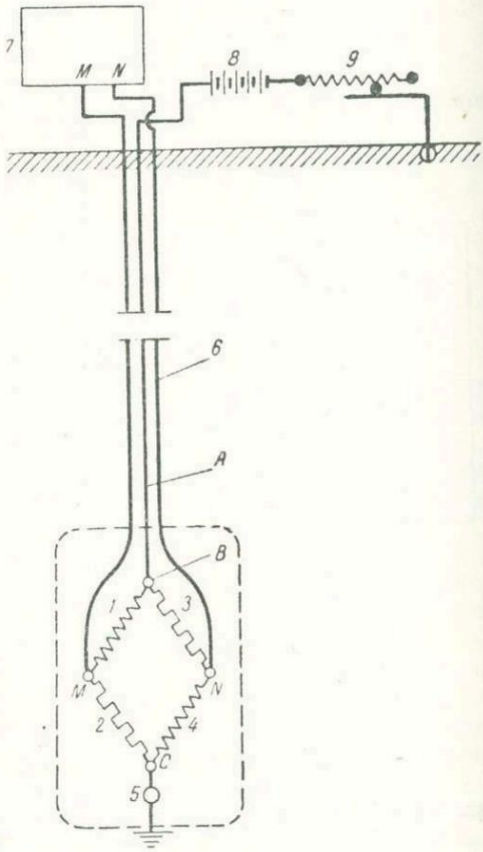


Рис. XXXI-34. Схема измерения температуры в скважине термометром сопротивления.

1 и *4* — сопротивления с малым температурным коэффициентом; *2* и *3* — сопротивления с большим температурным коэффициентом; *5* — контакт на корпус; *6* — кабель; *7* — прибор для записи температурной кривой; *8* — батарея; *9* — реостат.

некоторой заранее заданной температуре T_0 разность потенциалов между точками M и N была равна нулю. При иной температуре, вследствие изменения сопротивления плеч *2* и *3*, равновесие мостика нарушается и между точками M и N возникает разность потенциалов, которая пропорциональна силе тока I и разности температур $T - T_0$.

Температура определяется по формуле

$$T = T_0 + C\frac{\Delta v}{I}, \qquad \text{(XXXI-21)}$$

где T_0 — температура, при которой Δv равна нулю;
C — постоянная прибора;
Δv — наблюдаемая разность потенциалов, *мв*;
I — сила тока, *ма*.

Значение C и T_0 определяется при градуировке прибора. В СССР выпускаются термометры с $T_0 = 20°$ (для скважин восточных районов) и с $T_0 = 40°$ (для других районов). Изменение разности потенциалов Δv регистрируют на каротажной ленте.

На рис. XXXI-35 изображен стержневой малоинерционный термометр типа ЭС-СБ конструкции Г. Н. Строцкого и К. И. Бондаренко. В тонкостенную трубку *1* из красной меди вставлена внутренняя трубка *2*, изолированная снаружи двумя слоями бумаги и шеллаком. Чувствительные плечи *3* мостика намотаны на внутреннюю трубку *2*, а нечувствительные — на текстолитовую катушку *5*, расположенную в камере *4*. К последней прикреплена трубка *1*. Нижний конец трубки *1* закрепляется в эбонитовой втулке *13*. Концы плеч мостика (точки *B*, *M* и *N* рис. XXXI-34) присоединены к контактным кольцам *6*, которые токоподводящими пружинами *7* соединены со свечами термометра *8*. Последние присоединяются к жилам кабеля. Камера *4* закрывается пробкой *9*. Колокол *10* предохраняет от повреждения свечи, а кожух *11* — трубку *1*. К кожуху *11* привинчивается патрон *12*, с помощью которого крепится груз. Максимальный диаметр прибора в сборе 60 *мм*, длина 796 *мм*. Нормальный ток питания 10—15 *ма*.

В нефтепромысловой практике применяются электротермометры типа СБУ-46 и ЭТИМ-55. В настоящее время применяется также фототермометр конструкции Н. К. Кухаренко и В. В. Шифер [С. Ф. Выборных, 1958].

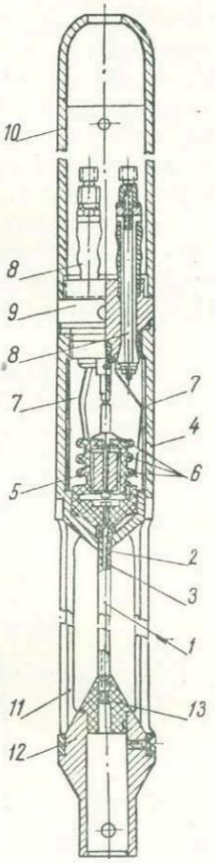


Рис. XXXI-35. Стержневой термометр типа ЭС-СБ.

1 и *2* — трубки из красной меди; *3* — чувствительные плечи термометра; *4* — камера внутренних плеч термометра, намотанных на катушку *5*; *6* — контактные кольца; *7* — токоподводящие пружины; *8* — токоподводящие свечи термометра; *9* — верхняя пробивка; *10* — предохранительный колокол; *11* — предохранительный кожух с окнами; *12* — патрон; *13* — эбонитовая втулка.

§. 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 (рис. XXXI-36). Вес груза должен быть достаточным для погружения пустой бутылки в воду. Шнур привязывают к пробке и бутылке, как указано на рис. XXXI-36.

Для отбора пробы воды бутылку, закрытую пробкой, опускают в скважину на нужную глубину и рывком выдергивают пробку из бутылки.

1. Прибор конструкции Е. В. Симонова предназначен для отбора проб воды или глинистого раствора из скважин с любой заданной глубины (рис. XXXI-37).

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, выпускаемых нашей промышленностью (завод «Буровая техника», г. Москва), следующая:

диаметр прибора (габарит) 48 и 82 *мм*
емкость цилиндра — 0,6 и 1,5 *л*
длина (габарит) — 710 и 790 *мм*

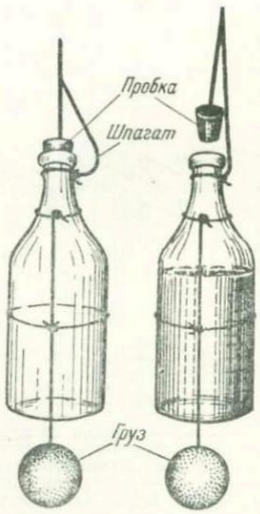


Рис. XXXI-36. Бутылка для отбора пробы воды из скважины.

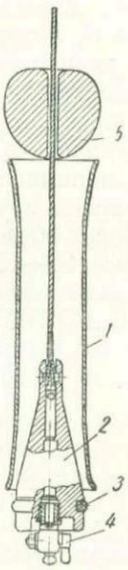


Рис. XXXI-37. Прибор для отбора проб воды из скважин Е. В. Симонова.

1 — цилиндр; *2* — груз; *3* — уплотнительное кольцо; *4* — краник; *5* — пробка.

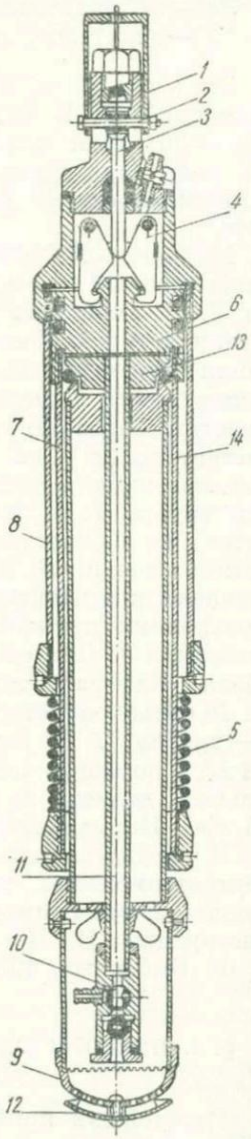


Рис. XXXI-38. Телескопический пробоотборник Е. В. Симонова.

1 — стаканчик; *2* — болт; *3* — шток; *4* — собачки; *5* — пружина; *6* — поршень; *7* — труба; *8* — труба; *9* — колпачок; *10* — трехходовой кран; *11* — трубка; *12* — грибок; *13* — поршень; *14* — труба.

2. Телескопический пробоотборник для жидкости и газа конструкции Е. В. Симонова предназначен для отбора проб воды из скважин с любой заданной глубины (рис. XXXI-38). 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, трехходовый 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 давлений 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 приборов, выпускаемых нашей промышленностью (завод «Буровая техника», г. Москва), следующая:

диаметр прибора (габарит)	60 *мм* и 100 *мм*
длина » »	1270 *мм* и 1150 *мм*
вес (без пробы)	5,8 *кг* и 7,5 *кг*
объем пробы (по жидкой фазе)	1,6 *л* и 2,6 *л*
» » (по газовой фазе)	1,5 *л* и 2,4 *л*
длина прибора с отобранной пробой (жидкой и газовой фаз)	3170 *мм* и 2500 *мм*

Удовлетворительная работа этого прибора обеспечивается при условии использования касторового масла для смазки внутренних его частей.

§ 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.

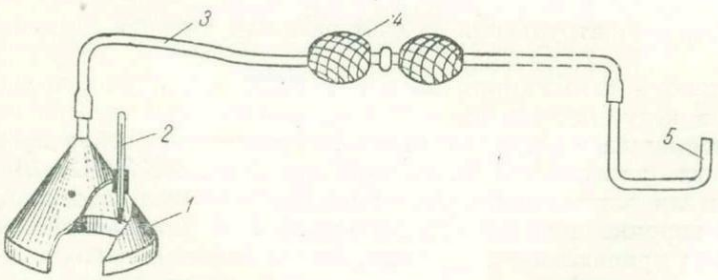


Рис. XXXI-39. Прибор для отбора пробы газа.
1 — воронка; *2* — термометр; *3* — резиновая трубка; *4* — двухсторонняя груша; *5* — стеклянная трубка.

1. При свободном выделении газа из горных пород отбор пробы производится прибором, состоящим из воронки *1* с термометром *2*, резиновой трубки *3*, двухсторонней груши *4*, стеклянной изогнутой трубки *5*, бутыли емкостью 2—3 *л* и сосуда (рис. XXXI-39).

Для отбора пробы на поверхности земли расчищают место выхода газа и накрывают воронкой. Края воронки вдавливают в почву, обмазывают влажной глиной и засыпают землей (рис. XXXI-40). Для удаления находящегося в приборе воздуха через него в течение 5—15 минут 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 (рис. XXXI-41). Выделяющийся газ, вытесняя воду из бутыли, заполнит ее.

При очень малом давлении газа под воронкой засасывание его производится двухсторонней грушей или водой.

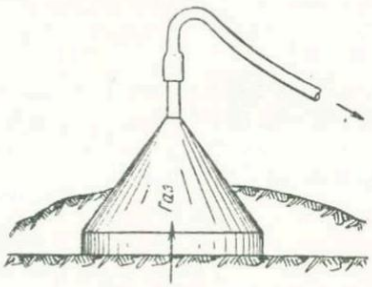


Рис. XXXI-40. Изоляция воронки от атмосферного воздуха при отборе проб газа.

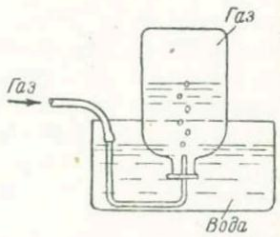


Рис. XXXI-41. Наполнение бутыли газом по методу вытеснения воды.

Для засасывания газа водой стеклянная трубка должна иметь малый диаметр входного 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. XXXI-42). Воронка *1* газоуловителя изготовляется из оцинкованного железа диаметром 30—50 *см*. К воронке прикреплена державка *2* с длинным шестом и три скобы *4* для привязывания бутылки. Для облегчения выхода воды из бутылки, при наполнении ее газом, в трубке *3* сделан жолоб, 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 жолоба и заливают его свинцом.

3. Отбор пробы газа из скважины может быть произведен воронкой, которую для этой цели возможно глубже опускают в газирующую скважину (рис. XXXI-43).

В некоторых случаях обсадную трубу скважины закрывают деревянной пробкой с пропущенной через нее стеклянной или металлической трубкой или на нее навертывают металлическую крышку с трубкой в

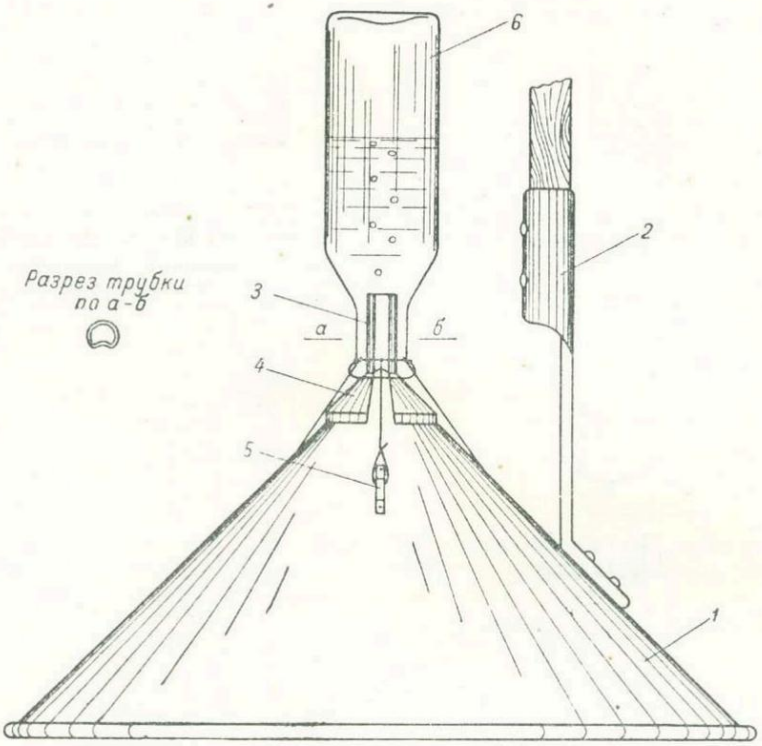


Рис. XXXI-42. Газоуловитель М. И. Субботы.

1 — воронка; *2* — державка для шеста; *3* — трубка с жолобом; *4* — скоба; *5* — упор; *6* — бутылка для газа.

центре (рис. XXXI-44). 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 сильно газированных вод (газоводной эмульсии) отбор проб газа из самоизливающихся скважин и при откачках производится при помощи газоотделителей различных конструкций. На рис. XXXI-45 изображен газоотделитель конструкции М. Н. Воробьева [1]. Принцип отделения газа от воды ясен из рисунка. Перед отбо-

[1] В настоящее время имеется ряд более совершенных конструкций газоотделителей (*Ред.*).

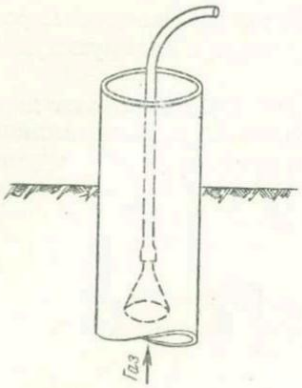


Рис. XXXI-43. Схема отбора пробы газа из скважины.

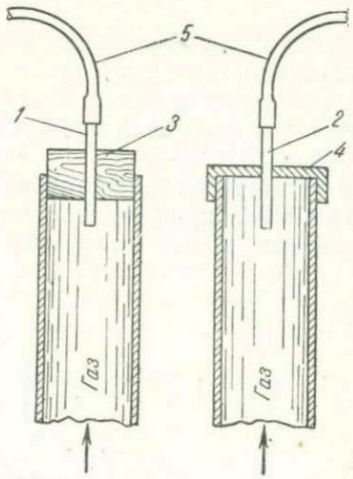


Рис. XXXI-44. Подготовка газирующей скважины для взятия пробы.

1 — трубка стеклянная; *2* — трубка металлическая; *3* — пробка деревянная; *4* — крышка металлическая; *5* — резиновые трубки.

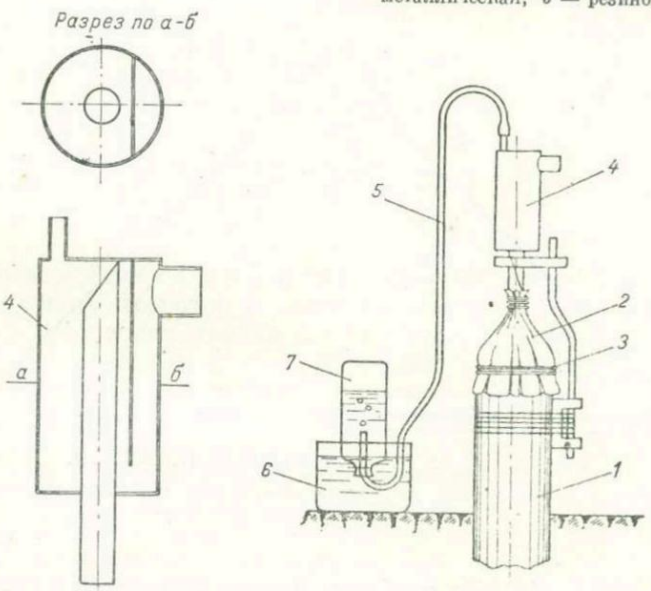


Рис. XXXI-45. Газоотделитель М. Н. Воробьева:

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*.

ром пробы газа газоотделитель достаточно долго продувается газом для освобождения прибора от воздуха.

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 этих обоих способов. В связи с этим различают вакуумный, термический и термовакуумный методы извлечения растворенного газа.

Извлечение растворенного газа из воды вакуумным методом производится прибором В. П. Савченко и др.

Прибор В. П. Савченко состоит из двух основных частей: бутыли *А*, в которой создается вакуум, и вакуумного насоса Комовского *Б* (рис. XXXI-46). 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.

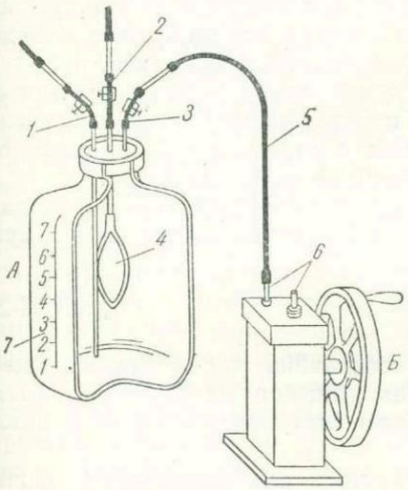


Рис. XXXI-46. Схема аппаратуры для создания вакуума.

А — бутыль для создания вакуума; *Б* — вакуумный насос Комовского; *1, 2, 3* —трубки; *4* —резиновая камера; *5* — резиновая трубка; *6* — вакуумная и нагнетательная трубки; *7* —шкала.

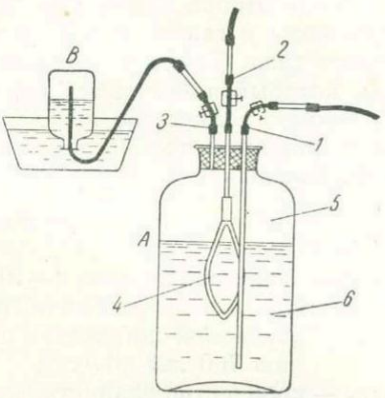


Рис. XXXI-47. Схема аппаратуры для перевода газа из бутыли *А* в сосуд для газа *В*.

А — бутыль для создания вакуума, *В* — сосуд для отбора пробы газа; *1, 2, 3*— резиновые трубки; *4* — резиновая камера; *5* — газ; *6* — вода.

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 минут 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. XXXI-47) 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* взбалты-

вают в течение 5—6 минут. Затем выделившуюся первую фракцию газа переводят в бутылки. [1]

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 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

$$v = \frac{v_1 (aq + v_2)}{qv_2}, \qquad \text{(XXXI-22)}$$

где v — общее количество (— *л*) данной составной части газовой смеси (данного компонента газа), приходящееся на единицу объема изучаемой жидкости, причем объем газа приведен к 0° и давлению 760 *мм* рт. ст.;

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 изучаемой жидкости при температуре извлечения газа из бутыли *А* (приложение XII, табл. 12);

q — общий объем изучаемой 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 минут. 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. XXXI-48 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*,

---

[1] Выделившееся при этом количество газа колеблется обычно от 100 до 300 *см*³ (*Ред.*).

нижний конец которой пропускается через резиновую пробку *5*. Последняя плотно входит в горловину бачка.

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*.

Бачек 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 минут) дегазацию прекращают и газ из камеры переводят в бутылку. Имеется несколько конструкций термических дегазаторов. Методика извлечения при помощи их растворенного газа примерно одинакова с описанной выше.[1]

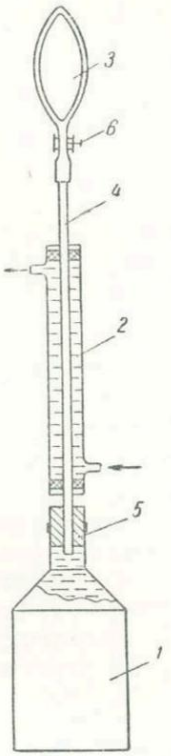


Рис. XXXI-48. Термический дегазатор для воды В. Э. Вассерберга.

1 — бачок для воды; *2* — холодильник; *3* — резиновая камера; *4* — трубка; *5* — пробка; *6* —зажим.

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. Бутылку, заполненную газом с небольшим количеством оставшейся воды, закрывают под водой корковой пробкой. После извлечения бутылки из воды, не переворачивая ее, вдавливают пробку еще глубже в горлышко (рис. XXXI-49). Затем вытирают насухо пробку и горлышко бутылки и заливают менделеевской замазкой, сургучем, 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 (рис. XXXI-50). В этом случае бутылка хранится в обычном положении.

На бутылку с пробой газа наклеивается этикетка. Вторая этикетка, свернутая в трубочку, привязывается к горлышку бутылки. На этикетке

---

[1] На практике часто применяется также метод извлечения растворенного газа путем подогревания воды до температуры 70—80° С (*Ред.*).

должны быть указаны: а) порядковый номер пробы; б) место взятия пробы и в) подпись лица, взявшего пробу.

Кроме того, заполняется регистрационная карточка, заключающая в себе следующие вопросы:

1) административное и географическое местоположение газопроявления и его название;

2) схематический рисунок расположения места газопроявления;

Рис. XXXI-49. Способ укупорки бутыли с газом одной пробкой.

1 — водяной затвор; *2* — пробка; *3* — замазка.

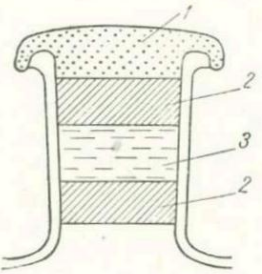


Рис. XXXI-50. Способ укупорки бутыли с газом двумя пробками.

1 — замазка; *2* — пробки; *3* — водяной затвор.

3) подробное описание условий выхода газа; для скважины — подробное описание конструкции и разреза скважины, отмечается глубина залегания и возраст газового горизонта;

4) характер газопроявления: сухой выход, газирующий источник, выход с нефтью;

5) сведения о газе (дебит, давление, температура, запах, горючесть);

6) характеристика вод, сопровождающих газ;

7) характер нефтепроявлений, сопутствующих газу;

8) дебитные соотношения газа и жидкости;

9) способы опробования;

10) дата опробования и фамилия лица, производившего опробование.

§ 6. ПРИБОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕБИТА ГАЗА

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

Этот способ применяется при небольших дебитах газа. Если газ полностью каптирован воронкой, то замер дебита производится попутно с отбором пробы газа. Для этого по секундомеру определяют время наполнения тарированной бутыли. Затем вычисляют суточный или часовой дебит. Количество газа указывается в кубических метрах в единицу времени.

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 (рис. XXXI-51). 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 два метра (рис. XXXI-52).

Опустив анемометр в скважину и выждав некоторое время, включают счетчик прибора и одновременно пускают секундомер. Через 5—10 ми-

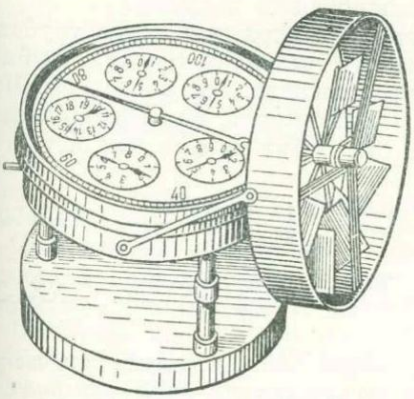


Рис. XXXI-51. Анемометр.

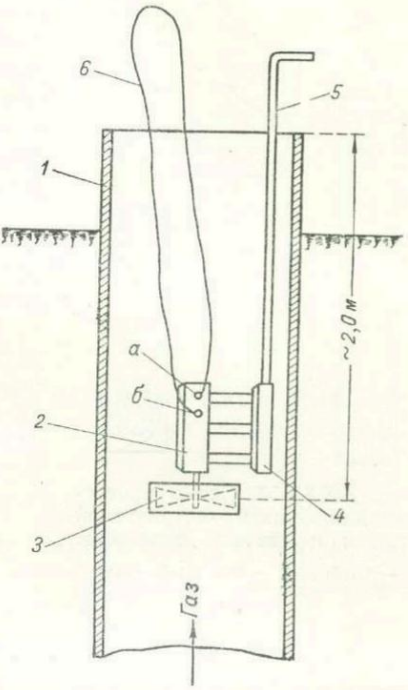


Рис. XXXI-52. Измерение скорости движения газа анемометром.

1 — обсадная труба; *2* — счетчик; *3* — крыльчатка; *4* — подставка; *5* — стержень; *6* — шнур, присоединяемый к рычажкам *а* и *б* счетчика.

нут 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 (в *м/сек*).

Дебит газа вычисляют по формуле

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v, \qquad \text{(XXXI-23)}$$

где Q — дебит газа, $м^3/сек$;

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.

Определение дебита газа пневмометрической трубкой упрощенного типа [1]

Пневмометрическая трубка упрощенного типа применяется для определения дебита газа с выпуском его в атмосферу при скорости потока от самой незначительной до скорости звука.

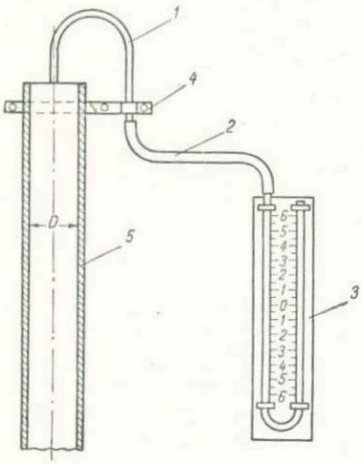


Рис. XXXI-53. Схема присоединения пневмометрической трубки к газовой скважине.

1 — трубка; *2* — шланг; *3* — манометр; *4* — хомутик; *5* — обсадная труба.

Упрощенная пневмометрическая трубка состоит из изогнутой металлической трубки *1* внутренним диаметром обычно $^1/_4''$, выдержанным по всей ее длине, шланга *2*, манометра *3* (водяного или ртутного при незначительном скоростном напоре или пружинного — при значительном напоре газа) и хомутика *4* (рис. XXXI-53).

При малых давлениях газа (до 1 *кг/м*²) трубку *1* можно соединить с манометром резиновым шлангом, а при высоких — соединение должно быть жестким.

Для замера напора газа конец трубки *1* устанавливают в выходном сечении трубы *5* строго по продолжению оси последней. При давлении в манометре, не превышающем 640 *мм* рт. ст., дебит газа вычисляется по формуле:

$$Q = 0{,}236\, D^2 \sqrt{\frac{h_в}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}; \quad \text{(XXXI-24)}$$

$$Q = 0{,}871\, D^2 \sqrt{\frac{h_{рт}}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}. \quad \text{(XXXI-25)}$$

При давлении в ртутном манометре более 640 *мм* рт. ст. или в пружинном — более 0,84 *кг/см*², дебит газа вычисляют по формулам

$$Q = 0{,}017\, D^2 (h_{рт} + 760) \sqrt{\frac{293}{T}}; \quad \text{(XXXI-26)}$$

$$Q = 12{,}73\, D^2 (P + 1{,}03) \sqrt{\frac{293}{T}}, \quad \text{(XXXI-27)}$$

где Q — дебит газа, приведенный к атмосферному давлению и температуре 20° С, *м*³/*сутки*;

D — диаметр скважины, *м*;

$h_в$ — давление, *мм* вод. ст.;

$h_{рт}$ — давление, *мм* рт. ст.;

P — давление по пружинному манометру, *кг/см*²;

γ — плотность газа относительно воздуха;

T — температура газа в °K ($1°K = 273 + t$, где t — температура, °С).

---

[1] Кроме упрощенной пневмометрической трубки применяется также трубка Пито, которая дает близкие результаты.

Величина $\sqrt{\frac{293}{T}}$ называется поправкой на температуру и может быть определена по табл. XXXI-10.

Таблица XXXI-10

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		

При замерах пневмометрической трубкой выходной участок трубы на расстоянии не менее $8D$ не должен иметь никаких местных сопротивлений.

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.[1]

Прибор состоит из короткого патрубка *1* с штуцером *2* (рис. XXXI-54). 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 сечения. Поэтому скважину с большим диаметром обсадной трубы за-

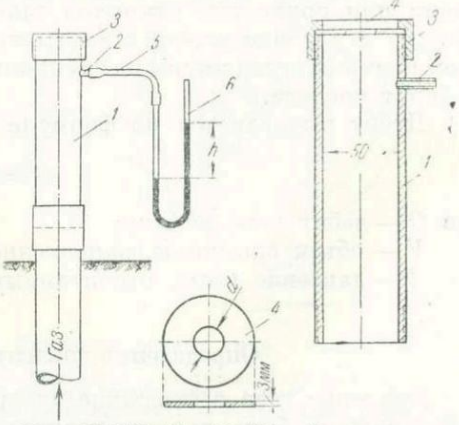


Рис. XXXI-54. Шайбный измеритель.
1 — патрубок; *2* — штуцер; *3* — кольцо; *4* — шайба; *5* — трубка резиновая; *6* — манометр.

[1] Если газовой фонтан выносит распыленную воду, нефть или песок, то возле устья скважины устанавливается трап, в котором происходит разделение газа, воды, нефти и песка. (*Ред.*)

крывают 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

$$Q = 0{,}172\, d^2 \sqrt{\frac{h_в}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}; \qquad \text{(XXXI-28)}$$

$$Q = 0{,}635\, d^2 \sqrt{\frac{h_{рт}}{\gamma}} \sqrt{\frac{293}{T}}, \qquad \text{(XXXI-29)}$$

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 (XXXI-24—27).

Кроме формул (XXXI-28) и (XXXI-29) дебит газирующих скважин при пользовании шайбным измерителем можно определить по таблице 13, приведенной в приложении XII. При этом температурная поправка устанавливается по табл. XXXI-10.

Определение дебита газа по нарастанию давления в закрытой скважине [1]

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

$$Q = VP, \qquad \text{(XXXI-30)}$$

где Q — дебит газа, *м*³/*мин*;

V — объем скважины, заполненной газом, *м*³;

P — давление в *ат*, отсчитанных по манометру.

Определение давления газа в скважине

Давление газа в скважине измеряется манометром. Для этого скважина должна быть хорошо герметизирована, а при наличии жидкости в ней последняя должна быть откачана.

---

[1] Этот метод дает только приблизительную величину притока газа и используется для получения общего представления о его дебите с целью выбора метода точного замера газового фонтана. *Научн. ред.*

Перед манометром должен быть установлен вентиль. Включение манометра производится постепенным открытием вентиля.

Для того, чтобы определить давление газа в пласте, необходимо к давлению, измеренному у устья скважины, ввести поправку на вес столба газа в скважине и на температуру газа в пласте. [1]

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 (см. § 3 гл. XXXI).

При замере температуры газа измеряется температура воздуха и атмосферное давление.

§ 7. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОПРОБОВАНИИ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

При опробовании глубоких скважин, проводимых на газ, нефть [2] и реже 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.

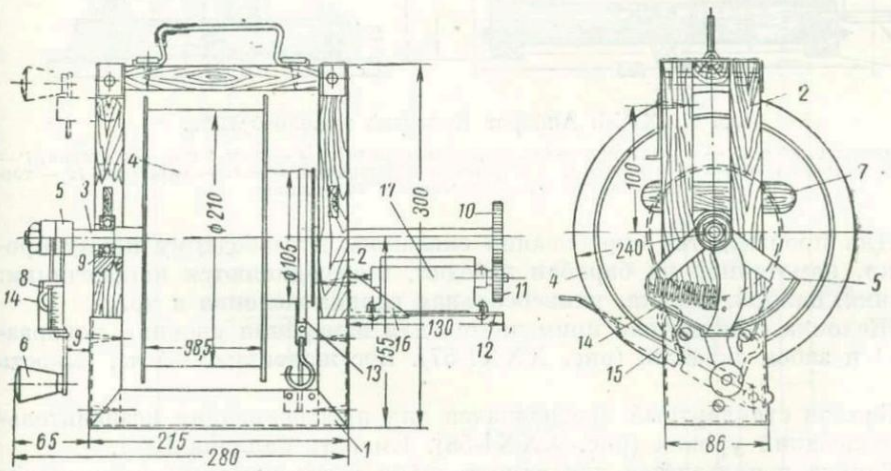


Рис. XXXI-55. Аппарат Яковлева легкого типа.

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.

---

[1] При наличии в скважине столба воды давление его необходимо учитывать. Пластовое давление газа лучше замерять глубинным манометром на глубину залегания газоносного горизонта. *Научн. ред.*

[2] Глубокие скважины, не вскрывшие газа или нефти, иногда опробуются на воду

Аппарат Яковлева легкого типа

Аппарат Яковлева легкого типа предназначен для измерения уровня жидкости до глубины 1000 *м* (рис. XXXI-55). 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

Аппарат Яковлева тяжелого типа с одноступенчатым барабаном предназначен для замера уровня до глубины 2100—2400 *м*, а с двухступенчатым барабаном и механическим приводом — до 3500 *м* (рис. XXXI-56). Диаметр проволоки, намотанной на барабан, 1,2—1,8 *мм*.

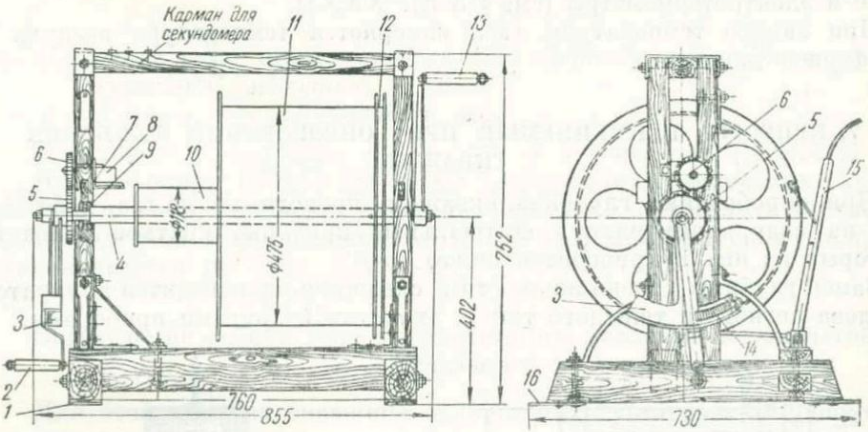


Рис. XXXI-56. Аппарат Яковлева тяжелого типа.

1 — корпус: *2*, *13* и *15* — рукоятки; *3* — сектор индикатора веса; *4* — вал; *5* и *6* — шестерни; *7* — скоба; *8* — счетчик оборотов барабана; *9* — шариковые подшипники; *10* и *11* — барабаны; *12* — тормозная лента; *14* — пружина и *16* — лапки.

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 [1] и забоя скважин (рис. XXXI-57). Вес желонки 3—4 *кг*, емкость 8 *л*.

Баллон стандартный предназначен для прослеживания незначительных колебаний уровня (рис. XXXI-58). Емкость баллона 10 *л*.

Гирька используется для замера забоя через компрессорные трубы (рис. XXXI-59).

Универсальная гирька-желонка предназначена для замера глубины забоя скважины через компрессорные трубы или затрубное пространство, а также для определения положения нижнего конца компрессорных труб (рис. XXXI-60).

Для замера уровня жидкости в скважине к обсадной трубе прикрепляют направляющий ролик, через который на аппарате Яковлева спускают

[1] Под водоразделом понимается водо-нефтяной контакт.

в скважину желонку. Уровень определяют по резкому изменению веса желонки при погружении ее в жидкость по индикатору веса. Для уточнения глубины уровня по индикатору определяют вес проволоки и желонки, погруженных в жидкость, и вес их вне жидкости. Определив полусумму

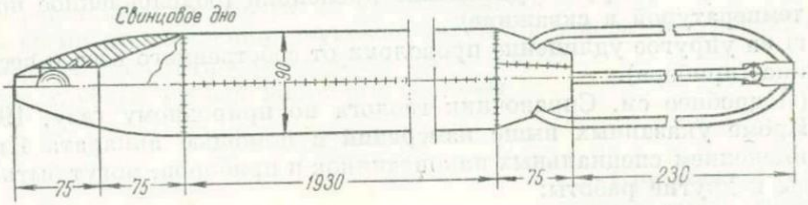


Рис. XXXI-57. Желонка стандартная диаметром 90 мм.

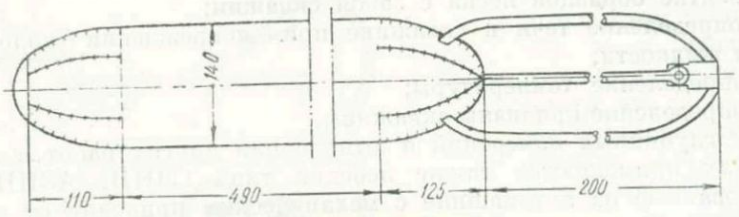


Рис. XXXI-58. Баллон стандартный диаметром 140 мм.

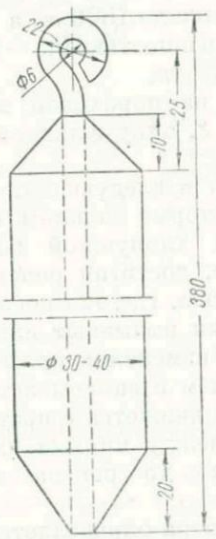


Рис. XXXI-59. Гирька.

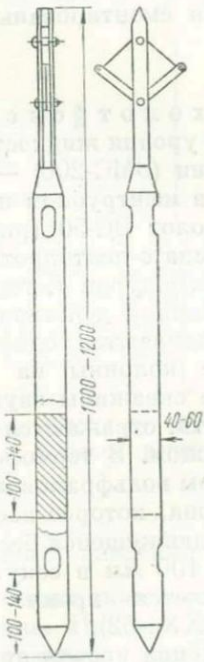


Рис. XXXI-60. Гирька-желонка.

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).

(Подробнее см. Справочник геолога по природному газу, 1957).

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 глубоких скважинах применяются также лебедки типа ГЛНН, АЗИНМАШ-II, смонтированные на автомашине с механическим приводом от двигателя автомашины. Однако применение их в период бездорожья ограничено из-за плохой проходимости автомашины ГАЗ-АА и ГАЗ-51, на которых эти лебедки смонтированы.

Эхолот системы Сныткина

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. XXXI-61) состоит из пороховой хлопушки *1*, самописца с лентопротяженным 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 *мм* в секунду. По расстоянию между пиками на эхограмме определяется время прохождения звука до репера и уровня (рис. XXXI-62).

Глубина уровня при установке одного репера определяется в следующем порядке. Вычисляют скорость звука от устья репера по формуле

$$v = \frac{2h}{t}, \qquad \text{(XXXI-31)}$$

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

$$h' = \frac{t'}{2} v, \qquad \text{(XXXI-32)}$$

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

$$H = h + h'. \qquad \text{(XXXI-33}$$

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.

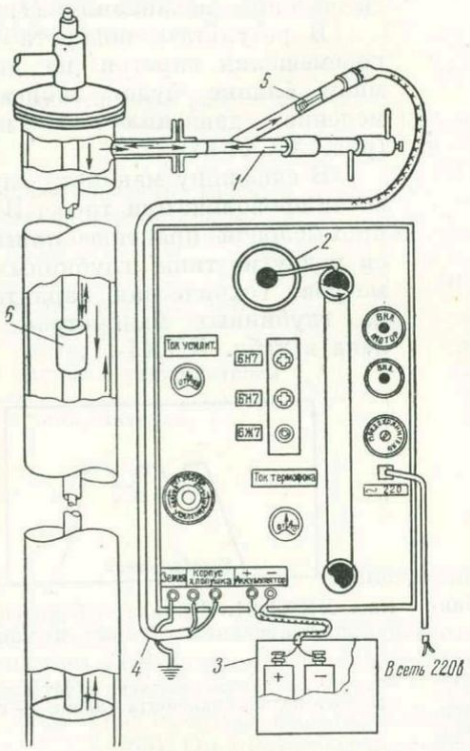


Рис. XXXI-61. Эхолот ЭС-50.

1 — пороховая хлопушка; *2* — самописец; *3* — аккумулятор; *4* — соединительные шнуры; *5* — термофон; *6* — репер.

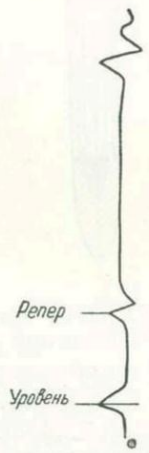


Рис. XXXI-62. Эхограмма с одним репером.

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 самым распространенным является самопишущий глубинный манометр МГГ-1. Принцип действия последнего заключается в следующем (рис. XXXI-63).

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*.

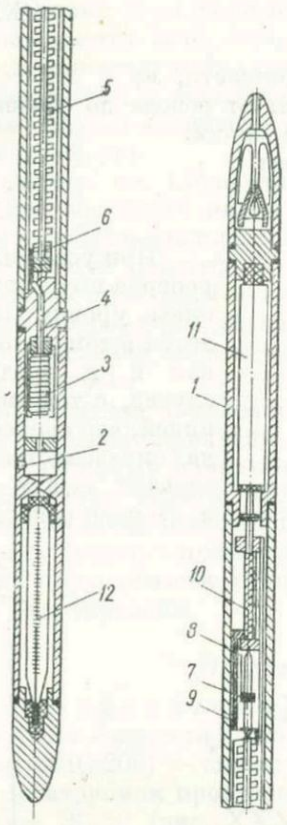


Рис. XXXI-63. Самопишущий глубинный геликсный манометр МГГ-1.

1 — корпус прибора; *2* — отверстие для передачи давления на рабочую часть манометра; *3* — сильфон; *4* — капилляр; *5* — геликсная пружина; *6* — стержень; *7* — ось с муфтой; *8* — перо; *9* — каретка; *10* — ходовой винт; *11* — часовой механизм; *12* — максимальный термометр.

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*.

В результате поворота пера и перемещения каретки на диаграммном бланке будет записано изменение давления во времени (рис. XXXI-64).

В скважину манометр спускается на проволоке или тросе. В нефтепромысловой практике применяются и другие типы глубинных манометров. Техническая характеристика глубинных манометров приведена в табл. XXXI-11.

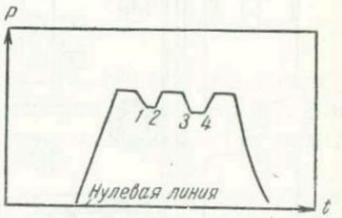


Рис. XXXI-64. Кривая забойного давления, записанная глубинным манометром.

Ступенчатая запись получена в результате двукратного подъема манометра (линии *1—2* и *3—4*).

Таблица XXXI-11

Техническая характеристика глубинных манометров

Показатели	Поршневые самопишущие глубинные манометры МГП-2 и МГП-3	Геликсный самопишущий глубинный манометр МГГ-1	Лифтовый самопишущий глубинный манометр МГЛ-5
Пределы измерения, *кг/см²*	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

Продолжение табл. XXXI-11

Показатели	Поршневые самопишущие глубинные манометры МГП-2 и МГП-3	Геликсный самопишущий глубинный манометр МГГ-1	Лифтовый самопишущий глубинный манометр МГЛ-5
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, часы	1 для МГМ-1 и 24 для МГМ-24	—	—
Продолжительность работы часового механизма, часы	15 для МГМ-1 и 36 для МГМ-24	10	240
Продолжительность рабочего перемещения каретки, часы	—	10	240
Перемещение диаграммы, *мм*	855 для МГМ-1 и 85,5 для МГМ-24	60	240
Габаритные размеры, *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	—

Испытатели пластов

Для опробования пластов, вскрытых глубокими скважинами, применяются так называемые испытатели пластов конструкции УфНИИ, ГрозНИИ, Азинмаш и др.

Наиболее простую конструкцию имеет испытатель пластов УфНИИ (рис. XXXI-65). 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 флянца при сжатии пакера весом труб, на которых испытатель пластов спускается в скважину. От выпадения из флянца шток *6* удерживается в нем заплечиками.

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 пакета стеклянных пластинок определяется по формуле:

$$\delta = 0{,}458\sqrt{H\gamma}, \qquad \text{(XXXI-34)}$$

где δ — толщина пачки стекол, *мм*;
H — глубина скважины, *м*;
γ — удельный вес глинистого раствора.

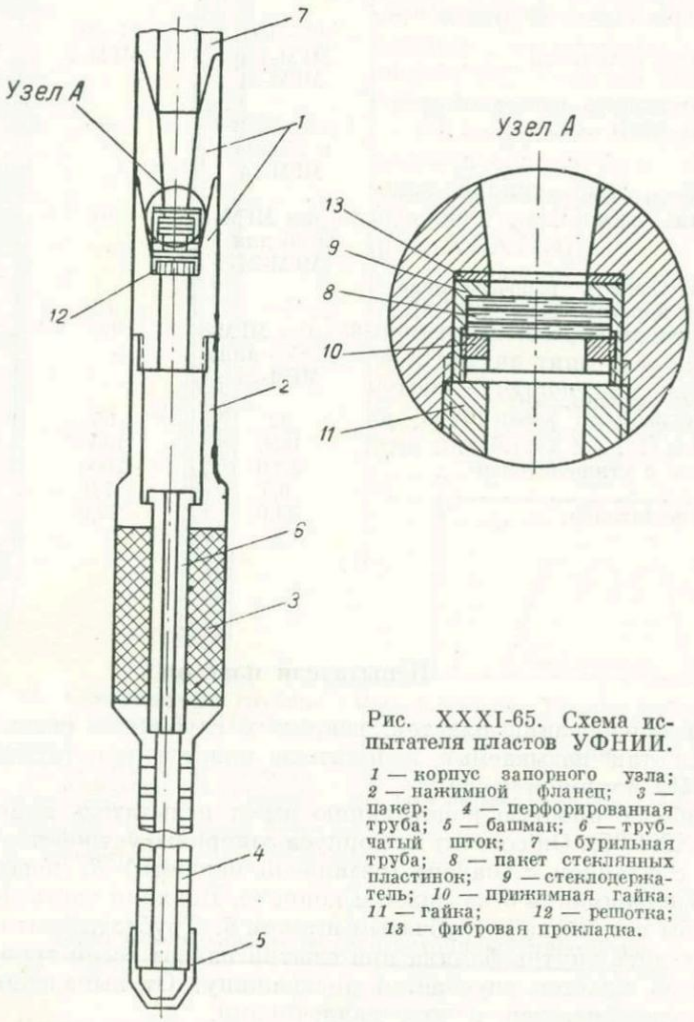


Рис. XXXI-65. Схема испытателя пластов УФНИИ.

1 — корпус запорного узла; *2* — нажимной фланец; *3* — пакер; *4* — перфорированная труба; *5* — башмак; *6* — трубчатый шток; *7* — бурильная труба; *8* — пакет стеклянных пластинок; *9* — стеклодержатель; *10* — прижимная гайка; *11* — гайка; *12* — решотка; *13* — фибровая прокладка.

Испытатель пластов УфНИИ опускают 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 начнет поступать в бу-

рильные 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.

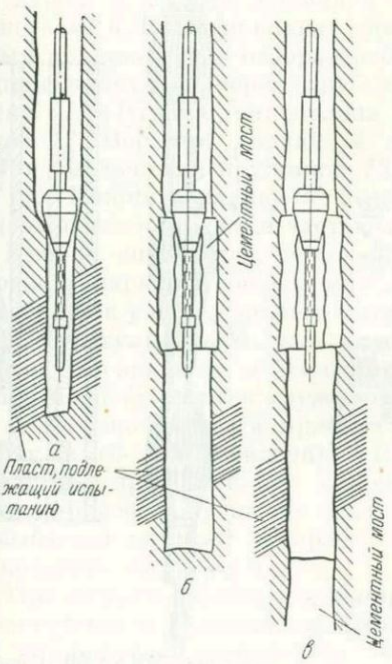


Рис. XXXI-66. Применение испытателя пластов с коническим пакером в незакрепленной скважине.

а — обычное применение; *б* — опробование пласта в скважине, пробуренной долотом одного размера; *в* — опробование пласта, изолированного от нижележащих пластов.

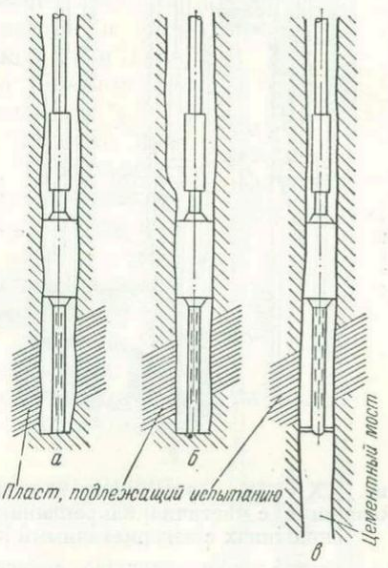


Рис. XXXI-67. Применение испытателя пластов с цилиндрическим пакером.

а — обычное применение испытателя пластов в скважине, пробуренной долотом одного размера; *б* — применение испытателя пластов в скважине со ступенчатым стволом; *в* — применение испытателя при опробовании пласта, изолированного от нижележащего.

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 пакером.

Примеры применения испытателя пластов с цилиндрическими и коническими пакерами в необсаженных скважинах и скважинах с частично закрепленными стволами показаны на рис. XXXI-66, XXXI-67 и XXXI-68.

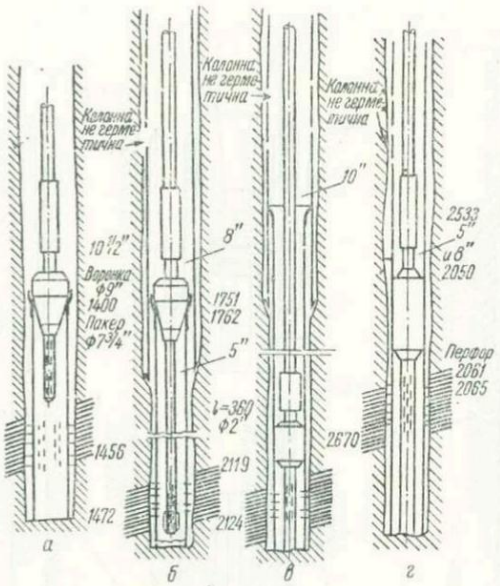


Рис. XXXI-68. Применение испытателя пластов в скважинах с частично закрепленным стволом и в скважинах с негерметичными колоннами.

а — частично закрепленный ствол скважины временно спущенной колонной в интервал, где пласт должен быть опробован; *б* и *в* — применение испытателя с коническим и цилиндрическим пакером при опробовании пласта в скважинах, имеющих недостаточно прочную или же негерметичную колонну и временно спущенную колонну; *г* — применение испытателя в скважине, обсадные трубы которой негерметичны, выше пласта, подлежащего опробованию.

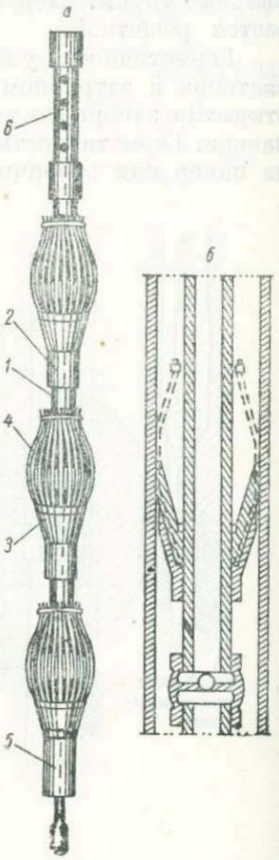


Рис. XXXI-69. Сваб.

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.

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. XXXI-69). Внутри штока находится обратный клапан. В скважину поршень спускается на канате. В случае надобности его утяжеляют грузовой штангой.

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.

Газопьезометр ВСЕГЕИ

Газопьезометр ВСЕГЕИ (рис. XXXI-70) предназначен для отбора проб жидкости и газа в скважинах с любой глубины и замера упругости растворенного газа. Конструкция прибора обеспечивает взятие пробы пластовой воды с сохранением растворенного в ней газа. [1]

Прибор состоит из цилиндрического корпуса *1*, с двумя муфтами *2*, двумя парами предохранительных дужек *3* и двух клапанов *4* и *5* с резиновыми манжетками *6*. Каждый клапан снабжен ушком *7*, притертым краником для отбора пробы *8* и штоком *9*. Последний пропущен через трубку *10*, ввернутую во втулку *11*. Втулка закреплена в корпусе прибора гайкой *12*. Верхний клапан *4* удерживается в открытом положении пружиной *13*, тарелкой *14* и гайкой *15*. Нижний клапан *5* подвешен на пружине *16* и удерживается в гнезде частью своего веса.

Прибор спускается в скважину на тросике при помощи аппарата Яковлева или лебедки. Тросик привязывается к ушку верхнего клапана. Пружины клапанов отрегулированы так, что во время спуска прибора в скважину и движения его в воде верхний клапан поддерживается пружиной в открытом положении за счет потери веса прибора при погружении его в воду и ее сопротивления. Нижний клапан открывается пружиной и сопротивлением воды. Поэтому в процессе спуска до заданной глубины прибор промывается водой и отбирает пробу с той глубины, на которую он спущен.

При подъеме прибора нижний клапан закрывается растяжением поддерживающей его пружины. Верхний клапан также закроется сжатием пружины за счет сопротивления воды.

При подъеме герметичность прибора обеспечивается плотным прижатием клапанов к гнездам за счет возрастающей разности внутреннего и внешнего давлений.

После извлечения прибора на поверхность к нижнему краннику с помощью переходника присоединяют пружинный манометр, по которому определяют упругость растворенного в воде газа.

Отбор пробы свободно выделяющегося в атмосферных условиях газа производится через верхний краник, к которому присоединяют заполненную водой резиновую трубку. Другой конец трубки вводится в расположенную выше прибора бутыль для наполнения ее газом по методу вытеснения воды.

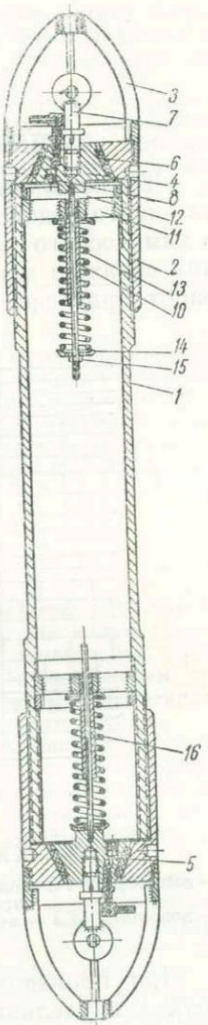


Рис. XXXI-70. Газопьезометр ВСЕГЕИ.

Перед отбором пробы оба клапана следует заклинить с помощью специальных клиньев. Отбор пробы свободного газа производят в 2—3 приема с взбалтыванием воды в приборе.

Отбор воды с растворенным в ней газом производят через нижний кран вакуумным способом. Наружный диаметр прибора — 100 *мм*, объем отбираемой пробы — 2 *л*.

[1] Газопьезометр ВСЕГЕИ еще недостаточно испытан в работе (*Ред.*).

Глава XXXII

ТАМПОНАЖ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Тампонажные работы проводятся для устранения циркуляции воды из одного водоносного горизонта в другой, при изучении водообильности и химического состава отдельных водоносных горизонтов и при оборудовании скважин для водоснабжения. Краткая характеристика тампонажных работ приведена в табл. XXXII-1.

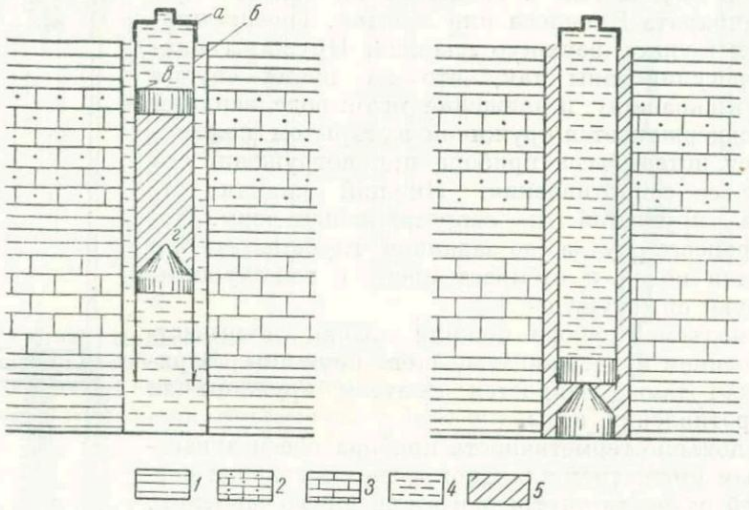


Рис. XXXII-1. Схема цементации затрубного пространства.

а — заливочная головка; *б* — колонна обсадных труб; *в* — верхняя цилиндрическая деревянная пробка; *г* — нижняя коническая деревянная пробка.
1 — водоупор; *2,3* — водоносные горизонты; *4* — вода или глинистый раствор; *5* — цементный раствор.

При производстве тампонажа скважин цементным раствором надо учитывать удельный вес раствора, который обычно изменяется от 1,82 до 2,0. Более высокому удельному весу отвечает цементный раствор, дающий значительно лучшую, плотную массу, которая обеспечивает герметичность тампонажа.

Удельный вес (γ_1) цементного раствора определяется по формуле

$$\gamma_1 = \frac{(p_ц + p_в)\gamma_2\gamma_3}{p_ц\gamma_3 + p_в\gamma_2}, \qquad \text{(XXXII-1)}$$

где $p_ц$ — вес цемента в сухом виде, *кг*;
$p_в$ — вес воды, идущей на приготовление цементного раствора, *кг*;
γ_2 — удельный вес сухого цемента (равный 3,05 — 3,20);
γ_3 — удельный вес воды.

Таблица XXXII-1

Вид тампонажа	Цель тампонажа	Краткая характеристика работ
Забивка труб в в глину	Изоляция вышележащего водоносного горизонта	В подстилающий водоупор (глина более 2,5 *м* мощности) забивается или задавливается (без вращения) башмак обсадных труб на выбранный интервал глубины. Если диаметр скважины большой, то перед задавливанием обсадных труб скважину углубляют меньшим диаметром. Забивка колонны труб производится при помощи забивной «бабы», а задавливание — с помощью давильных роликов или домкратов
Забрасывание пластичной глины на забой скважины	Временная изоляция вышележащего водоносного горизонта	В подстилающем слабом водоупоре диаметр скважины увеличивается расширителем на 1,5—2 *м*. Затем в скважину забрасываются с периодической трамбовкой «шарики» пластичной жирной глины. После этого колонна обсадных труб задавливается (без вращения) в глину.
Цементация башмака обсадных труб	Изоляция вышележащего водоносного горизонта	Призабойная часть скважины подготавливается тем же способом, как и при тампонаже глиной. Доставка цемента на забой может производиться: 1) забрасыванием сухого цемента в пергаментных пакетиках, 2) желонкой, 3) по заливочным трубам. Цементный раствор приготовляется с таким расчетом, чтобы на 40—50% цемента приходилось 60—50% воды. Если скважины неглубокие, то для быстрого схватывания к весу цемента прибавляют 2—3% ускорителя (обычно $CaCl_2$). После доставки цементного раствора в скважину на забой опускают обсадные трубы. Во избежание схватывания цемента внутрь труб, сверху, забрасывается несколько ведер сухой глины. Глина и цемент смешиваются рабочим долотом и извлекаются желонкой. Через 7—8 дней цемент схватывается и бурение продолжается меньшим диаметром.
Цементация межтрубного пространства	Закрепление фильтра, спущенного в потай	На фильтр, спущенный в потай, опускают на штангах деревянную двуконическую пробку, затем по заливочной трубе после водяной промывки в межтрубное пространство нагнетают цементный раствор. Перед схватыванием цемента из скважины извлекают деревянную пробку.

Продолжение табл. XXXII-1

Вид тампонажа	Цель тампонажа	Краткая характеристика работ
Цементация затрубного пространства	Закрепление обсадных труб и устранение циркуляции воды из одного водоносного горизонта в другой	На обсадные трубы, не доведенные до забоя, навинчивают заливочную головку, через которую под давлением подают воду или глинистый раствор. После восстановления циркуляции в затрубном пространстве в скважину опускают коническую деревянную пробку и нагнетают расчетный объем цемента. Затем в скважину помещают верхнюю цилиндрическую деревянную пробку. Под давлением воды или глинистого раствора пробки и заключенный между ними раствор цемента опускают к забою. Когда первая пробка опустится ниже башмака обсадных труб и станет на забой, то цементный раствор под давлением войдет в затрубное пространство, и верхняя пробка соприкоснется с нижней (рис. XXXII-1). После этого колонна труб опускается на забой и пробки разбуриваются.

Объем цементного раствора, потребного для заполнения затрубного пространства, определяется по формуле

$$V = 0{,}785\,[KH\,(D^2 - d_{н}^2) + d_{вн}^2 h], \qquad \text{(XXXII-2)}$$

где V — объем раствора, необходимого для заполнения затрубного пространства, $м^3$;
K — коэффициент запаса цементного раствора на каверны в скважине, равный 1,25 — 1,4;
H — высота заполнения затрубного пространства цементом, $м$;
D — диаметр скважины, $м$;
$d_{н}$ — наружный диаметр обсадной колонны, $м$;
$d_{вн}$ — внутренний диаметр обсадной колонны, $м$;
h — высота цементного стакана в обсадной колонне, $м$.

После окончания работ по изоляции водоносных горизонтов испытывают тампонаж (см. гл. IX, § 8). При ликвидации скважин в них производится сплошной тампонаж. По мере подъема обсадных труб скважину заливают густым глинистым раствором, или забрасывают пластичной жирной глиной с утрамбовкой, или производят сплошную цементацию. Устье скважины цементируется.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Эры (группы)	Периоды (системы) [1]	Эпохи (отделы) [1]		Индекс	Продолжительность, млн. лет
1	2	3		4	5
Кайнозойская	Четвертичный (Четвертичная)	Современная (Современный)		Q_4	1
		Позднечетвертичная (Верхнечетвертичный)		Q_3	
		Среднечетвертичная (Среднечетвертичный)		Q_2	
		Раннечетвертичная (Нижнечетвертичный)		Q_1	
	Третичный (Третичная)	Неоген	Плиоценовая (Плиоценовый)	N_2	25—30
			Миоценовая (Миоценовый)	N_1	
		Палеоген	Олигоценовая (Олигоценовый)	Pg_3	30—35
			Эоценовая (Эоценовый)	Pg_2	
			Палеоценовая (Палеоценовый)	Pg_1	
Мезозойская	Меловой (Меловая)	Позднемеловая (Верхнемеловой)		Cr_2	55—60
		Раннемеловая (Нижнемеловой)		Cr_1	
	Юрский (Юрская)	Позднеюрская (Верхнеюрский)		I_3	25—35
		Среднеюрская (Среднеюрский)		I_2	
		Раннеюрская (Нижнеюрский)		I_1	

Продолжение приложения 1

Эры (группы)	Периоды (системы [1])	Эпохи (отделы) [1]	Индекс	Продолжительность, млн. лет
1	2	3	4	5
Мезозойская	Триасовый (Триасовая)	Позднетриасовая (Верхнетриасовый)	T_3	30—35
		Среднетриасовая (Среднетриасовый)	T_2	
		Раннетриасовая (Нижнетриасовый)	T_1	
Палеозойская	Пермский (Пермская)	Позднепермская (Верхнепермский)	P_2	25—30
		Раннепермская (Нижнепермский)	P_1	
Палеозойская	Каменноугольный (Каменноугольная)	Позднекаменноугольная (Верхнекаменноугольный)	C_3	50—55
		Среднекаменноугольная (Среднекаменноугольный)	C_2	
		Раннекаменноугольная (Нижнекаменноугольный)	C_1	
	Девонский (Девонская)	Позднедевонская (Верхнедевонский)	D_3	45—50
		Среднедевонская (Среднедевонский)	D_2	
		Раннедевонская (Нижнедевонский)	D_1	
	Силурийский (Силурийская)	Позднесилурийская (Верхнесилурийский)	S_2	40—45
		Раннесилурийская (Нижнесилурийская)	S_1	
	Ордовикский (Ордовикская)	Позднеордовикская (Верхнеордовикский)	O_3	70—80
		Среднеордовикская (Среднеордовикский)	O_2	
		Раннеордовикская (Нижнеордовикский)	O_1	
Палеозойская	Кембрийский (Кембрийская)	Позднекембрийская (Верхнекембрийский)	Cm_3	70—90
		Среднекембрийская (Среднекембрийский)	Cm_2	
		Раннекембрийская (Нижнекембрийский)	Cm_1	
Протерозойская	Существуют только местные подразделения		Prz	600—800
Архейская	Существуют только местные подразделения		Ar	Более 1000

[1] Названия систем и отделов поставлены в скобки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ И КАРТ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Осадочные породы

а) Почвенный слой
б) Насыпной слой

Торф и болотно-торфянистые отложения

Песок тонко- и мелкозернистый [1]

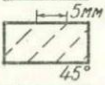
Песок среднезернистый

Песок крупнозернистый

Песок разнозернистый

Галька и гравий

Щебенка



Супесь легкая

Супесь тяжелая

Суглинок легкий и средний

Суглинок тяжелый

Суглинок пылеватый, лессовидный

Песок с прослоями или линзами суглинка

Суглинок с прослоями или линзами песка

Суглинок с прослоями или линзами супеси

Частое переслаивание суглинка и супеси

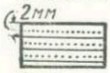
---

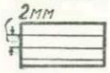
[1] Зернистость песков дополняется индексом
т/з — для тонкозернистых;
м/з — для мелкозернистых;
с/з — для среднезернистых;
к/з — для крупнозернистых;
р/з — для разнозернистых.

Продолжение приложения 11

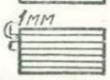
Частое переслаивание песка и супеси

Частое переслаивание песка и суглинка

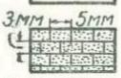


Глина песчаная

Глина жирная

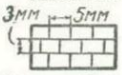
Частое переслаивание песка и глины



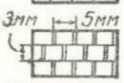
Глина сланцеватая и аргиллиты



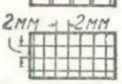
Песчаник



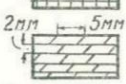
Известняк



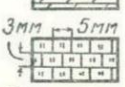
Доломит



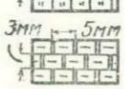
Мел



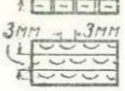
Мергель



Доломитизированный известняк

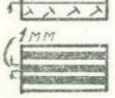


Доломитовая мука



Гипс

Опока



Переслаивание битуминозных горючих сланцев и углей

Глинистость

Ил

Пылеватость

Слюдистость

Уголь

Продолжение приложения 11

Гнезда и мелкие линзы песков

Гнезда и включения гипса

Фауна

Растительные остатки

а) кавернозность
б) карстовые пустоты

Конкреции

Окремнение

Зона оползневого перемятия пород

Выветрелость

Тектоническая трещиноватость (линии красного цвета)

Метаморфические породы

Гнейсы и гнейсовидные породы (кислые)

Гнейсы и гнейсовидные породы (средние)

Гнейсы и гнейсовидные породы (основные)

Гнейсы и гнейсовидные породы (ультраосновные)

Слюдяные, роговообманковые и другие кристаллические сланцы

Филлиты, серицитовые, хлоритовые и другие метаморфические сланцы

Мрамор и другие перекристаллизованные известняки

Перекристаллизованные доломиты

Кварциты

Роговики и яшмы

Продолжение приложения 11

Магматические породы

а) Интрузивные породы

Кислые (граниты и др.)

Средние (сиениты и др.)

Основные (габбро, нориты и др.)

Ультраосновные (пироксениты, перидотиты и др.)

б) Эффузивные породы и туфы вулканические

Кислые (кварцевые порфиры, липариты и др.)

Средние (порфиры, порфириты, трахиты и др.)

Основные (порфириты, диабазы, базальты и др.)

Кислые туфы

Средние туфы

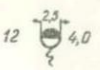
Основные туфы

Линия тектонического нарушения (красного цвета)

То же, предполагаемая (красного цвета)

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Источник подземных вод. Слева—номер; справа—дебит, *л/сек*



Источник минеральных вод. То же

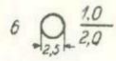
Грязь лечебная

Группа источников. Слева—номер группы, справа—суммарный дебит, *л/сек*

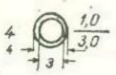
Продолжение приложения 11

Можечина. Слева номер можечины

Источник спонтанных газов



Разведочная гидрогеологическая скважина. Слева—номер, справа—числитель — дебит *л/сек*, знаменатель—понижение уровня, *м*



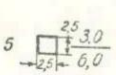
Эксплуатационная на воду скважина (водяная скважина). То же

Разведочная скважина на твердое полезное ископаемое, вскрывшая одновременно и подземные воды

Глубокая (опорная, разведочная и эксплуатационная нефтяная и газовая) скважина, вскрывшая подземные воды

Фонтанирующая скважина

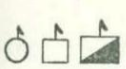
Шурф



Колодец. Слева—номер, справа—числитель дебит, *л/сек*, знаменатель—глубина колодца

Группа колодцев

Ствол шахты



Пункты стационарных наблюдений за режимом подземных вод

Продолжение приложения II

Место гидрометрических замеров. В числителе расход в м³/сек, в знаменателе—дата (месяц) замера

Установившийся уровень подземных вод
Напор относительно кровли водоносного горизонта
Появление подземных вод

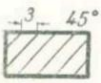
Обводненная зона по скважине

Водообильность горных пород на гидрогеологических картах *

Сильно водообильные, с преобладающим дебитом водопунктов более 10 *л/сек*

Водообильные с возможным максимальным дебитом водопунктов от 1 до 10 *л/сек*

Слабо водообильные, с возможным максимальным дебитом водопунктов от 0,1 до 1,0 *л/сек*



Невыдержанные по водообильности от практически безводных до водообильных

Слабо водопроницаемые (практически безводные)

Водоупорные

* Для характеристики водообильности пород не исключаются и другие виды штриховки, включая и цветную для различных водоносных горизонтов.

Водообильность водоносных горизонтов
(при наличии соответствующих данных по их опробованию)

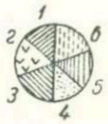
Водообильность водоносных горизонтов		Показатель водообильности W в м³/сутки	Примечание
	Сильная	> 500	Показатель W водообильности определяется по формулам
	Средняя	50—500	W = kM (для напорных вод)
	Слабая	5—50	W = kH (для безнапорных вод)
	Очень слабая	0,5—5,0	где M, H — мощности напорного и безнапорного горизонтов, *м*
	Ничтожная	< 0,5	k — коэффициент фильтрации, *м/сутки*

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

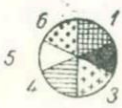
а) Минерализация воды в источниках, колодцах и скважинах

Общая минерализация в г/литр	Качество воды	Водопункты		
		Источник	Колодец	Скважина
до 1	Пресная			
1—3	Солоноватая			
3—10	Соленая			
10—50	Высокой солености			
> 50	Рассол			

б) Состав воды и газа



Солевой состав воды в % экв. (секторы могут быть закрашены различными цветами или покрыты штриховкой другого вида) 1 — Cl'; 2 — SO_4''; 3 — HCO_3'; 4 — $Na^{\cdot} + K^{\cdot}$; 5 — $Ca^{\cdot\cdot}$; 6 — $Mg^{\cdot\cdot}$.



Состав спонтанного или растворенного газа в объемных процентах (секторы могут быть покрыты штриховкой другого вида; белый цвет кружка — спонтанный газ, другой какой-либо цвет кружка — растворенный газ) 1 — CH_4; 2 — тяж. углеводороды; 3 — N_2; 4 — CO_2; 5 — O_2; 6 — H_2S.

Примечание. Геологические условные обозначения заимствованы из работы Г. С. Золотарева: «Сборник задач по инженерной геологии», 1956, книги: «Спутник полевого геолога-нефтяника», 1954, т. II и Метод. руководств ВСЕГЕИ по геологической съемке; гидрогеологические — из Инструкции ВСЕГИНГЕО по гидрогеологической съемке масштабов 1 : 200 000 — 1 : 100 000, изданной в 1957 году; условные обозначения 5-го Геологического Управления с некоторыми изменениями и дополнениями авторов данного руководства. Приведенные обозначения являются общими, не исключающими применение частных условных обозначений при специальных гидрогеологических исследованиях (поиски нефти и газа, осушение месторождений полезных ископаемых, радиогидрогеология и т. п.).

ПРИЛОЖЕНИЕ III

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Периоды	Ряды	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0
1	I	1 H ВОДОРОД 1,0080						(H)				2 He ГЕЛИЙ 4,003
2	II	3 Li ЛИТИЙ 6,940	4 Be БЕРИЛЛИЙ 9,013	5 B БОР 10,82	6 C УГЛЕРОД 12,010	7 N АЗОТ 14,008	8 O КИСЛОРОД 16,0000	9 F ФТОР 19,00				10 Ne НЕОН 20,183
3	III	11 Na НАТРИЙ 22,997	12 Mg МАГНИЙ 24,32	13 Al АЛЮМИНИЙ 26,97	14 Si КРЕМНИЙ 28,06	15 P ФОСФОР 30,975	16 S СЕРА 32,066	17 Cl ХЛОР 35,457				18 Ar АРГОН 39,944
4	IV	19 K КАЛИЙ 39,096	20 Ca КАЛЬЦИЙ 40,08	21 Sc СКАНДИЙ 44,96	22 Ti ТИТАН 47,90	23 V ВАНАДИЙ 50,95	24 Cr ХРОМ 52,01	25 Mn МАРГАНЕЦ 54,93	26 Fe ЖЕЛЕЗО 55,85	27 Co КОБАЛЬТ 58,94	28 Ni НИКЕЛЬ 58,69	
	V	29 Cu МЕДЬ 63,54	30 Zn ЦИНК 65,38	31 Ga ГАЛЛИЙ 69,72	32 Ge ГЕРМАНИЙ 72,60	33 As МЫШЬЯК 74,91	34 Se СЕЛЕН 78,96	35 Br БРОМ 79,916				36 Kr КРИПТОН 83,7
5	VI	37 Rb РУБИДИЙ 85,48	38 Sr СТРОНЦИЙ 87,63	39 Y ИТТРИЙ 88,92	40 Zr ЦИРКОНИЙ 91,22	41 Nb НИОБИЙ 92,91	42 Mo МОЛИБДЕН 95,95	43 Tc ТЕХНЕЦИЙ (99)	44 Ru РУТЕНИЙ 101,7	45 Rh РОДИЙ 102,91	46 Pd ПАЛЛАДИЙ 106,7	
	VII	47 Ag СЕРЕБРО 107,880	48 Cd КАДМИЙ 112,41	49 In ИНДИЙ 114,76	50 Sn ОЛОВО 118,70	51 Sb СУРЬМА 121,76	52 Te ТЕЛЛУР 127,61	53 J ИОД 126,92				54 Xe КСЕНОН 131,3
6	VIII	55 Cs ЦЕЗИЙ 132,91	56 Ba БАРИЙ 137,36	57 La* ЛАНТАН 138,92	72 Hf ГАФНИЙ 178,6	73 Ta ТАНТАЛ 180,88	74 W ВОЛЬФРАМ 183,92	75 Re РЕНИЙ 186,31	76 Os ОСМИЙ 190,2	77 Ir ИРИДИЙ 192,2	78 Pt ПЛАТИНА 195,23	
	IX	79 Au ЗОЛОТО 197,0	80 Hg РТУТЬ 200,61	81 Tl ТАЛЛИЙ 204,39	82 Pb СВИНЕЦ 207,21	83 Bi ВИСМУТ 209,00	84 Po ПОЛОНИЙ (209)	85 At АСТАТИН (210)				86 Rn РАДОН (222)
7	X	87 Fr ФРАНЦИЙ (223)	88 Ra РАДИЙ 226,05	89 Ac** АКТИНИЙ (227)	90 Th ТОРИЙ 232,05	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ 231	92 U** УРАН 238,07					

* ЛАНТАНОИДЫ 58-71 (РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ)

58 Ce ЦЕРИЙ 140,13	59 Pr ПРАЗЕОДИМ 140,92	60 Nd НЕОДИМ 144,27	61 Pm ПРОМЕТИЙ (145)	62 Sm САМАРИЙ 150,43	63 Eu ЕВРОПИЙ 152,0	64 Gd ГАДОЛИНИЙ 156,9	65 Tb ТЕРБИЙ 158,93	66 Dy ДИСПРОЗИЙ 162,46	67 Ho ГОЛЬМИЙ 164,94	68 Er ЭРБИЙ 167,2	69 Tu ТУЛИЙ 168,94	70 Yb ИТТЕРБИЙ 173,04	71 Lu ЛЮТЕЦИЙ 174,99

** АКТИНОИДЫ

90 Th ТОРИЙ 232,12	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ (231)	92 U УРАН 238,07	93 Np НЕПТУНИЙ (237)	94 Pu ПЛУТОНИЙ (242)	95 Am АМЕРИЦИЙ (243)	96 Cm КЮРИЙ	97 Bk БЕРКЛИЙ	98 Cf КАЛИФОРНИЙ	99 En ЭЙНШТЕЙНИЙ (253)	100 Fm ФЕРМИЙ (255)	101 Mv МЕНДЕЛЕВИЙ (256)

Цифры в скобках означают массовое число изотопа с наиболее продолжительными периодами полураспада.

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

ТАБЛИЦА АТОМНЫХ ВЕСОВ ИОНОВ И МНОЖИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПЕРЕСЧЕТА МИЛЛИГРАММ-ИОНОВ НА МИЛЛИГРАММ-ЭКВИВАЛЕНТЫ

Индекс	Атомный вес	Множитель для пересчета *мг* на *мг-экв*	Индекс	Атомный вес	Множитель для пересчета *мг* на *мг-экв*
$H^{\cdot}$	1,008	0,99206	Cl'	35,457	0,02820
$K^{\cdot}$	39,100	0,02558	Br'	79,916	0,01251
$Na^{\cdot}$	22,997	0,04348	I'	126,91	0,00788
$NH_4^{\cdot}$	18,040	0,05543	NO_3'	62,008	0,01613
$Li^{\cdot}$	6,940	0,14409	NO_2'	46,008	0,02174
$Ca^{\cdot\cdot}$	20,040	0,04990	SO_4''	48,033	0,02082
$Mg^{\cdot\cdot}$	12,160	0,08224	HCO_3	61,018	0,01639
$Fe^{\cdot\cdot}$	27,925	0,03581	CO_3''	30,005	0,03333
$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$	18,617	0,05371	PO_4'''	31,658	0,03159
$Al^{\cdot\cdot\cdot}$	8,993	0,11124	HPO_4''	47,994	0,02084
$Mn^{\cdot\cdot}$	27,465	0,03641	H_2PO_4'	96,996	0,01031
			S''	16,033	0,06237
			HS'	33,074	0,03024
			$HSiO_3'$	77,098	0,01298
			SiO_3''	38,045	0,02630

ПРИЛОЖЕНИЕ V

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

Продолжение приложения V

Градусы	sin	tg	Градусы	ctg	cos
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 VI

1. ТАБЛИЦЫ ДЕСЯТИЧНЫХ ЛОГАРИФМОВ ЧИСЕЛ ОТ 0 ДО 1000

Число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		00000	30103	47712	60206	69897	77815	84510	90309	95424
1	00000	04139	07918	11394	14613	17609	20412	23045	25527	27875
2	30103	32222	34242	36173	38021	39794	41497	43136	44716	46240
3	47712	49136	50515	51851	53148	54407	55630	56820	57978	59106
4	60206	61278	62235	63347	64345	65321	66276	67210	68124	69020
5	60897	70757	71600	72428	73239	74036	74819	75587	76343	77085
6	77815	78533	79239	79934	80618	81291	81954	82607	83251	83885
7	84510	85126	85733	86332	86923	87506	88081	88649	89209	89763
8	90309	90849	91381	91908	92428	92942	93450	93952	94448	94939
9	95424	95904	96379	96848	97313	97772	98227	98677	99123	99564
10	00000	00432	00860	01284	01703	02119	02531	02938	03342	03743
11	04139	04532	04922	05308	05690	06070	06446	06819	07188	07555
12	07918	08279	08636	08991	09342	09691	10037	10380	10721	11059
13	11394	11727	12057	12385	12710	13033	13354	13672	13988	14301
14	14613	14922	15229	15534	15836	16137	16435	16732	17026	17319
15	17609	17898	18184	18469	18752	19033	19312	19590	19866	20140
16	20412	20683	20952	21219	21484	21748	22011	22272	22531	22789
17	23045	23300	23553	23805	24055	24304	24551	24797	25042	25285
18	25527	25768	26007	26245	26482	26717	26951	27184	27416	27646
19	27875	28103	28330	28556	28780	29003	29226	29447	29667	29885
20	30103	30320	30535	30750	30963	31175	31387	31597	31806	32015
21	32222	32428	32634	32838	33041	33244	33445	33646	33846	34044
22	34242	34439	34635	34830	35025	35218	35411	35603	35793	35984
23	36173	36361	36549	36736	36922	37107	37291	37475	37658	37840
24	38021	38202	38382	38561	38739	38917	39094	39270	39445	39620
25	39794	39967	40140	40312	40483	40654	40824	40993	41162	41330
26	41497	41664	41830	41996	42100	42325	42488	42651	42813	42975
27	43136	43297	43457	43616	43775	43933	44091	44248	44404	44560
28	44716	44871	45025	45179	45332	45484	45637	45788	45939	46090
29	46240	46389	46538	46687	46835	46982	47129	47276	47422	47567
30	47712	47857	48001	48144	48287	48430	48572	48714	48855	48996
31	49136	49276	40415	49554	49693	49831	49969	50106	50243	50379
32	50515	50651	50786	50920	51055	51188	51322	51455	51587	51720
33	51851	51983	52114	52244	52375	52504	52634	52763	52892	53020
34	53148	53275	53403	53529	53656	53782	53908	54033	54158	54283
35	54407	54531	54654	54777	54900	55023	55145	55267	55388	55509
36	55630	55751	55871	55991	56110	56229	56348	56467	56585	56703
37	56820	56937	57054	57171	57287	57403	57519	57634	57749	57864
38	57978	58092	58206	58320	58433	58546	58659	58771	58883	58995
39	59106	59218	59329	59439	59550	59660	59770	59879	59988	60097
40	60206	60314	60423	60531	60638	60746	60853	60959	61066	61172
41	61278	61384	61490	61595	61700	61805	61909	62014	62118	62221
42	62325	62428	62531	62634	62737	62839	62941	63043	63144	63246
43	63347	63448	63548	63649	63749	63849	63949	64048	64147	64246
44	64345	64444	64542	64640	64738	64836	64933	65031	65128	65225
45	65321	65418	65514	65610	65706	65801	65896	65992	66087	66181
46	66276	66370	66464	66558	66652	66745	66839	66932	67025	67117
47	67210	67302	67394	67486	67578	67669	67761	67852	67943	68034
48	68124	68215	68305	68395	68485	68574	68664	68753	68842	68931
49	69020	69108	69197	69285	69373	69461	69548	69636	69723	69810

Продолжение приложения VI

Число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	69897	69984	70070	70157	70243	70329	70415	70501	70586	70672
51	70757	70842	70927	71012	71096	71181	71265	71349	71433	71517
52	71600	71684	71767	71850	71933	72016	72099	72181	72263	72346
53	72428	72509	72591	72673	72754	72835	72916	72997	73078	73159
54	73239	73320	73400	73480	73560	73640	73719	73799	73878	73957
55	74036	74115	74194	74273	74351	74429	74507	74586	74663	74741
56	74819	74896	74974	75051	75128	75205	75282	75358	75435	75511
57	75587	75664	75740	75815	75891	75967	76042	76118	76193	76268
58	76343	76418	76492	76567	76641	76716	76790	76864	76938	77012
59	77085	77159	77232	77305	77379	77452	77525	77597	77670	77743
60	77815	77887	77960	78032	78104	78176	78247	78319	78390	78462
61	78533	78604	78675	78746	78817	78888	78958	79029	79099	79169
62	79239	79309	79379	79449	79518	79588	79657	79727	79796	79865
63	79934	80003	80072	80140	80209	80277	80346	80414	80482	80550
64	80618	80686	80754	80821	80889	80956	81023	81090	81058	81224
65	81291	81358	81425	81491	81558	81624	81690	81757	81823	81889
66	81954	82020	82086	82151	82217	82282	82347	82413	82478	82543
67	82607	82672	82737	82802	82866	82930	82995	83059	83123	83187
68	83251	83315	83378	83442	83506	83569	83632	83696	83759	83822
69	83885	83948	84011	84073	84136	84198	84261	84323	84386	84448
70	84510	84572	84634	84696	84757	84819	84880	84942	85003	85065
71	85126	85187	85248	85309	85370	85431	85491	85552	85612	85673
72	85733	85794	85854	85914	85974	86034	86094	86153	86213	86273
73	86332	86392	86451	86510	86570	86629	86688	86747	86806	86864
74	86923	86982	87040	87099	87157	87216	87274	87332	87390	87448
75	87506	87564	87622	87679	87737	87795	87852	87910	87967	88024
76	88081	88438	88195	88252	88309	88366	88423	88480	88536	88593
77	88649	88705	88762	88818	88874	88930	88986	89042	89098	89154
78	89209	89265	89321	89376	89432	89487	89542	89597	89653	89708
79	89763	89818	89873	89927	89982	90037	90091	90146	90200	90255
80	90309	90363	90417	90472	90526	90580	90634	90687	90741	90795
81	90849	90902	90956	91009	91062	91116	91169	91222	91275	91328
82	91381	91434	91487	91540	91593	91645	91698	91751	91803	91855
83	91809	91960	92012	92065	92117	92169	92221	92273	92324	92376
84	92428	92480	92531	92583	92634	92686	92737	92788	92840	92891
85	92942	92993	93044	93095	93146	93197	93247	93298	93349	93399
86	93450	93500	93551	93601	93651	93702	93752	93802	93852	93902
87	93952	94002	94052	94101	94151	94201	94250	94300	94349	94399
88	94448	94498	94547	94596	94645	94694	94743	94792	94841	94890
89	94939	94988	95036	95085	95134	95182	95231	95279	95328	95376
90	95424	95472	95521	95569	95617	95665	95713	95761	95809	95856
91	95904	95952	95999	96047	96095	96142	96190	96237	96284	96332
92	96379	96426	96473	96520	96567	96614	96661	96708	96755	96802
93	96848	96895	96942	96988	97035	97081	97128	97174	97220	97267
94	97313	97359	97405	97451	97497	97543	97589	97635	97681	97727
95	97772	97818	97864	97909	97955	98000	98046	98091	98137	98182
96	98227	98272	98318	98363	98408	98453	98498	98543	98588	98632
97	98677	98722	98767	98811	98856	98900	98945	98989	99034	99078
98	99123	99167	99211	99255	99300	99344	99388	99432	99476	99520
99	99564	99607	99651	99695	99739	99782	99826	99870	99913	99957

Продолжение приложения VI

2. ТАБЛИЦА АНТИЛОГАРИФМОВ

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021
01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045
02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069
03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094
04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119
05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146
06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172
07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199
08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227
09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256
10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285
11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315
12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346
13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377
14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409
15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442
16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476
17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510
18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545
19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581
20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618
21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656
22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694
23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734
24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774
25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816
26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858
27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901
28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945
29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991
30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037
31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084
32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133
33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183
34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234
35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286
36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339
37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393
38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449
39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506
40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564
41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624
42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685
43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748
44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812
45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877
46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944
47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013
48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083
49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155

Продолжение приложения VI

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228
51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304
52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381
53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459
54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540
55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622
56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707
57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793
58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882
59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972
60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064
61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159
62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256
63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355
64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457
65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560
66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667
67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775
68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887
69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000
70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117
71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236
72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358
73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483
74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610
75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741
76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875
77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012
78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152
79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295
80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442
81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592
82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745
83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902
84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063
85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228
86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396
87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568
88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745
89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925
90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110
91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299
92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492
93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690
94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892
95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099
96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311
97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528
98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750
99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

ТАБЛИЦА ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

1. Значения функции e^x

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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
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	24,29
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

Продолжение приложения VII

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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
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

Продолжение приложения VII

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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 chx

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	4,219	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
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

Продолжение приложения VII

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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	6,623	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	0,979	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 VIII

ТАБЛИЦА ПОЛНЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛОВ ПЕРВОГО РОДА

λ *	$K_э$	$K_э'$	λ	$K_э$	$K_э'$
0,000	1,571		0,50	1,854	1,854
0,001	1,571	4,841	0,51	1,863	1,846
0,002	1,572	4,495	0,52	1,871	1,837
0,003	1,572	4,293	0,53	1,880	1,829
0,004	1,572	4,150	0,54	1,890	1,822
0,005	1,573	4,039	0,55	1,899	1,814
0,006	1,573	3,949	0,56	1,909	1,806
0,007	1,574	3,872	0,57	1,918	1,799
0,008	1,574	3,806	0,58	1,929	1,792
0,009	1,574	3,748	0,59	1,939	1,785
0,01	1,575	3,696	0,60	1,950	1,778
0,02	1,579	3,354	0,61	1,961	1,771
0,03	1,583	3,156	0,62	1,972	1,764
0,04	1,587	3,016	0,63	1,983	1,757
0,05	1,591	2,908	0,64	1,995	1,751
0,06	1,595	2,821	0,65	2,008	1,744
0,07	1,599	2,747	0,66	2,020	1,738
0,08	1,604	2,684	0,67	2,033	1,732
0,09	1,608	2,628	0,68	2,047	1,726
0,10	1,612	2,578	0,69	2,061	1,720
0,11	1,617	2,533	0,70	2,075	1,714
0,12	1,621	2,493	0,71	2,090	1,708
0,13	1,626	2,455	0,72	2,106	1,702
0,14	1,631	2,421	0,73	2,122	1,697
0,15	1,635	2,389	0,74	2,139	1,691
0,16	1,640	2,359	0,75	2,157	1,686
0,17	1,645	2,331	0,76	2,175	1,686
0,18	1,650	2,305	0,77	2,194	1,675
0,19	1,655	2,281	0,78	2,214	1,670
0,20	1,660	2,257	0,79	2,235	1,665
0,21	1,665	2,235	0,80	2,257	1,660
0,22	1,670	2,214	0,81	2,281	1,655
0,23	1,675	2,194	0,82	2,305	1,650
0,24	1,680	2,175	0,83	2,331	1,645
0,25	1,686	2,157	0,84	2,359	1,640
0,26	1,691	2,139	0,85	2,389	1,635
0,27	1,697	2,122	0,86	2,421	1,631
0,28	1,702	2,106	0,87	2,455	1,626
0,29	1,708	2,090	0,88	2,493	1,621
0,30	1,714	2,075	0,89	2,533	1,617
0,31	1,720	2,061	0,90	2,578	1,612
0,32	1,726	2,047	0,91	2,628	1,608
0,33	1,732	2,033	0,92	2,684	1,604
0,34	1,738	2,020	0,93	2,747	1,599
0,35	1,744	2,008	0,94	2,821	1,595
0,36	1,751	1,995	0,95	2,908	1,591
0,37	1,757	1,983	0,96	3,016	1,587
0,38	1,764	1,972	0,97	3,156	1,583
0,39	1,771	1,961	0,98	3,354	1,579
0,40	1,778	1,950	0,99	3,696	1,575
0,41	1,785	1,939	0,991	3,748	1,574
0,42	1,792	1,926	0,992	3,806	1,574
0,43	1,799	1,918	0,993	3,872	1,574
0,44	1,806	1,909	0,994	3,949	1,573
0,45	1,814	1,899	0,995	4,039	1,573
0,46	1,822	1,890	0,996	4,150	1,573
0,47	1,829	1,880	0,997	4,293	1,572
0,48	1,837	1,871	0,998	4,495	1,572
0,49	1,846	1,863	0,999	4,841	1,571
			1,000		1,571

* См. сноску на стр. 472.

ПРИЛОЖЕНИЕ IX

ТАБЛИЦА НЕПОЛНЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛОВ ПЕРВОГО РОДА (F)

λ \ φ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
0,00	0,000	0,087	0,175	0,262	0,349	0,436	0,524	0,611	0,698
0,05	0,000	0,087	0,175	0,262	0,349	0,437	0,525	0,613	0,701
0,10	0,000	0,087	0,175	0,262	0,350	0,438	0,526	0,614	0,703
0,15	0,000	0,087	0,175	0,262	0,350	0,438	0,527	0,616	0,706
0,20	0,000	0,087	0,175	0,262	0,350	0,439	0,528	0,618	0,709
0,25	0,000	0,087	0,175	0,263	0,351	0,440	0,529	0,620	0,712
0,30	0,000	0,087	0,175	0,263	0,351	0,440	0,531	0,622	0,715
0,35	0,000	0,087	0,175	0,263	0,352	0,441	0,532	0,624	0,717
0,40	0,000	0,087	0,175	0,263	0,352	0,442	0,533	0,626	0,720
0,45	0,000	0,087	0,175	0,263	0,352	0,443	0,534	0,628	0,724
0,50	0,000	0,087	0,175	0,263	0,353	0,443	0,536	0,630	0,727
0,55	0,000	0,087	0,175	0,263	0,353	0,444	0,537	0,632	0,733
0,60	0,000	0,087	0,175	0,264	0,353	0,445	0,538	0,634	0,733
0,65	0,000	0,087	0,175	0,264	0,354	0,445	0,540	0,636	0,737
0,70	0,000	0,087	0,175	0,264	0,354	0,446	0,541	0,639	0,740
0,75	0,000	0,087	0,175	0,264	0,354	0,447	0,542	0,641	0,744
0,80	0,000	0,087	0,175	0,264	0,355	0,448	0,544	0,643	0,747
0,85	0,000	0,087	0,175	0,264	0,355	0,449	0,545	0,646	0,751
0,90	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,449	0,546	0,648	0,755
0,91	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,449	0,547	0,648	0,756
0,92	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,450	0,547	0,649	0,756
0,93	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,450	0,547	0,649	0,757
0,94	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,450	0,548	0,650	0,758
0,95	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,450	0,548	0,650	0,759
0,96	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,450	0,548	0,651	0,760
0,97	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,450	0,548	0,651	0,760
0,98	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,451	0,549	0,652	0,761
0,99	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,451	0,549	0,652	0,762
1,00	0,000	0,087	0,175	0,265	0,356	0,451	0,549	0,653	0,763

λ \ φ	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	81°
0,00	0,785	0,873	0,960	1,047	1,134	1,222	1,309	1,396	1,414
0,05	0,789	0,877	0,966	1,055	1,144	1,233	1,323	1,412	1,430
0,10	0,793	0,882	0,973	1,063	1,154	1 245	1,337	1,429	1,447
0,15	0,796	0,888	0,979	1,072	1,164	1,258	1,352	1,446	1,465
0,20	0,800	0,893	0,986	1,080	1,175	1,271	1,368	1,465	1,484
0,25	0,804	0,898	0,993	1,090	1,187	1,285	1,385	1,485	1,505
0,30	0,808	0,904	1,001	1,099	1,199	1,300	1,402	1,506	1,526
0,35	0,813	0,910	1,008	1,109	1,212	1,316	1,422	1,528	1,550
0,40	0,817	0,916	1,017	1,120	1,225	1,333	1,442	1,553	1,575
0,45	0,821	0,922	1,025	1.131	1,239	1,351	1,464	1,580	1,603
0,50	0,826	0,928	1,034	1,142	1,254	1,370	1,488	1,608	1,633
0,55	0,831	0,935	1,043	1,155	1,271	1,390	1,514	1,640	1,666
0,60	0,836	0,942	1,053	1,168	1,288	1,413	1,542	1,676	1,703
0,65	0,841	0,949	1,063	1,182	1,307	1,437	1,574	1,715	1,744

Продолжение приложения IX

λ \ φ	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	81°
0,70	0,846	0,957	1,073	1,197	1,327	1,464	1,609	1,760	1,791
0,75	0,851	0,965	1,085	1,213	1,349	1,494	1,649	1,813	1,846
0,80	0,857	0,973	1,097	1,230	1,373	1,528	1,695	1,874	1,911
0,85	0,863	0,982	1,110	1,249	1,400	1,567	1,750	1,950	1,992
0,90	0,869	0,991	1,123	1,269	1,431	1,612	1,817	2,049	2,098
0,91	0,870	0,993	1,126	1,273	1,437	1,622	1,833	2,072	2,124
0,92	0,871	0,995	1,129	1,278	1,444	1,633	1,849	2,098	2,151
0,93	0,872	0,997	1,132	1,282	1,451	1,643	1,866	2,125	2,182
0,94	0,874	0,998	1,135	1,287	1,458	1,655	1,884	2,155	2,215
0,95	0,875	1,000	1,138	1,292	1,466	1,667	1,904	2,188	2,251
0,96	0,876	1,002	1,141	1,296	1,473	1,679	1,925	2,225	2,293
0,97	0,877	1,004	1,144	1,301	1,481	1,692	1,947	2,266	2,339
0,98	0,879	1,007	1,148	1,306	1,489	1,706	1,972	2,313	2,394
0,99	0,880	1,009	1,151	1,312	1,498	1,720	1,998	2,369	2,460
1,00	0,881	1,011	1,154	1,317	1,506	1,735	2,028	2,436	2,542

λ \ φ	82°	83°	84°	85°	86°	87°	88°	89°	90°
0,00	1 431	1,449	1,466	1,484	1,501	1,518	1,536	1,553	1,571
0,05	1,448	1,466	1,484	1,501	1,519	1,537	1,555	1,573	1,591
0,10	1,465	1,484	1,502	1,520	1,539	1,557	1,576	1,594	1,612
0,15	1,484	1,503	1,522	1,541	1,560	1,578	1,597	1,616	1,635
0,20	1,504	1,523	1,543	1,562	1,582	1,601	1,621	1,640	1,660
0,25	1,525	1,545	1,565	1,585	1,605	1,625	1,645	1,666	1,686
0,30	1,547	1,568	1,589	1,610	1,630	1,651	1,672	1,693	1,714
0,35	1,571	1,593	1,615	1,636	1,658	1,679	1,701	1,723	1,744
0,40	1,598	1,620	1,642	1,665	1,687	1,710	1,732	1,755	1,778
0,45	1,626	1,649	1,673	1,696	1,720	1,743	1,767	1,790	1,814
0,50	1 657	1,682	1,706	1,731	1,755	1,780	1,805	1,829	1,854
0,55	1,692	1,717	1,743	1,769	1,795	1,821	1,847	1,873	1,899
0,60	1,730	1,757	1,784	1,812	0,839	1,867	1,894	1,922	1,950
0,65	1,773	1,802	1,831	1,860	1,890	1,919	1,949	1,978	2,008
0,70	1,822	1,854	1,885	1,916	1,948	1,980	2,012	2,043	2,075
0,75	1,880	1,914	1,948	1,983	2,017	2,052	2,087	2,122	2,157
0,80	1,949	1,987	2,025	2,063	2,102	2,140	2,179	2,218	2,257
0,85	2,035	2,078	2,121	2,165	2,210	2,254	2,299	2,344	2,389
0,90	2,148	2,200	2,252	2,305	2,359	2,413	2,468	2,523	2,578
0,91	2,176	2,230	2,285	2,340	2,397	2,454	2,512	2,570	2,628
0,92	2,207	2,263	2,321	2,379	2,439	2,499	2,560	2,622	2,684
0,93	2,240	2,299	2,360	2,423	2,486	2,550	2,615	2,681	2,747
0,94	2,276	2,340	2,405	2,471	2,539	2,608	2,679	2,750	2,821
0,95	2,317	2,385	2,455	2,527	2,601	2,676	2,753	2,830	2,908
0,96	2,363	2,437	2,513	2,592	2,674	2,757	2,842	2,929	3,016
0,97	2,417	2,497	2,592	2,671	2,763	2,858	2,956	3,055	3,156
0,98	2,480	2,571	2,668	2,770	2,878	2,992	3,110	3,231	3,354
0,99	2,558	2,664	2,780	2,906	3,044	3,193	3,353	3,522	3,696
1,00	2,660	2,794	2,949	3,131	3,355	3,643	4,048	4,741	∞

ПРИЛОЖЕНИЕ X

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИЙ $\varphi(\eta)$ ПРИ $i>0$

Прямой уклон ($i>0$). Спад

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
0,01	—0,00004		0,29	—0,0525	
		0,00016			0,0042
0,02	—0,0002		0,30	—0,0567	
		0,0002			0,0044
0,03	—0,0004		0,31	—0,0611	
		0,0004			0,0046
0,04	—0,0008		0,32	—0,0657	
		0,0005			0,0048
0,05	—0,0013		0,33	—0,0705	
		0,0006			0,0050
0,06	—0,0019		0,34	—0,0755	
		0,0007			0,0053
0,07	—0,0026		0,35	—0,0808	
		0,0008			0,0055
0,08	—0,0034		0,36	—0,0863	
		0,0009			0,0057
0,09	—0,0043		0,37	—0,0920	
		0,0010			0,0060
0,10	—0,0053		0,38	—0,0980	
		0,0012			0,0063
0,11	—0,0065		0,39	—0,1048	
		0,0013			0,0065
0,12	—0,0078		0,40	—0,1108	
		0,0014			0,0068
0,13	—0,0092		0,41	—0,1176	
		0,0016			0,0071
0,14	—0,0108		0,42	—0,1247	
		0,0017			0,0074
0,15	—0,0125		0,43	—0,1321	
		0,0019			0,0077
0,16	—0,0144		0,44	—0,1398	
		0,0020			0,0080
0,17	—0,0164		0,45	—0,1478	
		0,0021			0,0083
0,18	—0,0185		0,46	—0,1562	
		0,0022			0,0086
0,19	—0,0207		0,47	—0,1648	
		0,0024			0,0090
0,20	—0,0231		0,48	—0,1738	
		0,0026			0,0095
0,21	—0,0257		0,49	—0,1833	
		0,0028			0,0099
0,22	—0,0285		0,50	—0,1932	
		0,0029			0,0102
0,23	—0,0314		0,51	—0,2034	
		0,0031			0,0106
0,24	—0,0345		0,52	—0,2140	
		0,0032			0,0110
0,25	—0,0377		0,53	—0,2250	
		0,0034			0,0115
0,26	—0,0411		0,54	—0,2365	
		0,0036			0,0120
0,27	—0,0447		0,55	—0,2485	
		0,0038			0,0125
0,28	—0,0485		0,56	—0,2610	
		0,0040			0,0130

Продолжение приложения X

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
0,57	—0,2740		0,86	—1,1061	
		0,0135			0,0641
0,58	—0,2875		0,87	—1,1702	
		0,0140			0,0700
0,59	—0,3015		0,88	—1,2402	
		0,0147			0,0771
0,60	—0,3108		0,89	—1,3173	
		0,0153			0,0863
0,61	—0,3315		0,90	—1,4026	
		0,0160			0,0463
0,62	—0,3475		0,905	—1,4489	
		0,0167			0,0491
0,63	—0,3642		0,910	—1,4930	
		0,0174			0,0521
0,64	—0,3816		0,915	—1,5501	
		0,0182			0,0556
0,65	—0,3998		0,920	—1,6057	
		0,0190			0,0596
0,66	—0,4188		0,925	—1,6653	
		0,0199			0,0640
0,67	—0,4387		0,930	—1,7293	
		0,0208			0,0691
0,68	—0,4595		0,935	—1,7984	
		0,0217			0,0759
0,69	—0,4812		0,940	—1,8734	
		0,0228			0,0820
0,70	—0,5040		0,945	—1,9554	
		0,0239			0,0908
0,71	—0,5279		0,950	—2,0457	
		0,0251			0,1004
0,72	—0,5530		0,955	—2,1461	
		0,0264			0,1128
0,73	—0,5794		0,960	—2,2589	
		0,0277			0,1285
0,74	—0,6071		0,965	—2,3874	
		0,0292			0,1492
0,75	—0,6363		0,970	—2,5366	
		0,0308			0,0670
0,76	—0,6671		0,972	—2,6038	
		0,0326			0,0721
0,77	—0,6997		0,974	—2,6757	
		0,0345			0,0780
0,78	—0,7342		0,976	—2,7587	
		0,0365			0,0850
0,79	—0,7707		0,978	—2,8387	
		0,0387			0,0933
0,80	—0,8094		0,980	—2,9320	
		0,0413			0,1034
0,81	—0,8507		0,982	—3,0354	
		0,0441			0,1158
0,82	—0,8948		0,984	—3,1512	
		0,0472			0,1315
0,83	—0,9420		0,986	—3,2827	
		0,0506			0,1521
0,84	—0,9926		0,988	—3,4348	
		0,0545			0,1804
0,85	—1,0471		0,990	—3,6152	
		0,0596			0,2211
			0,992	—3,8363	
					0,2857

Продолжение приложения X

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
0,994	—4,1220	0,4035	0,998	—5,2167	0,6921
0,996	—4,5255	0,6912	0,999	—5,9088	

Прямой уклон ($i > 0$). Подпор

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
100,0	104,5951	10,1061	33,0	36,4657	1,0317
90,0	94,4886	10,1191	32,0	35,4340	1,0328
80,0	84,3695	10,1354	31,0	34,4012	1,0339
70,0	74,2341	5,0752	30,0	33,3673	1,0351
65,0	69,1589	5,0814	29,0	32,3322	1,0364
60,0	64,0775	5,0885	28,0	31,2958	1,0377
55,0	58,9890	5,0972	27,0	30,2581	1,0392
50,0	53,8918	1,0206	26,0	29,2189	1,0408
49,0	52,8712	1,0210	25,0	28,1781	1,0426
48,0	51,8502	1,0215	24,0	27,1352	1,0445
47,0	50,8287	1,0220	23,0	26,0910	1,0465
46,0	49,8067	1,0225	22,0	25,0445	1,0488
45,0	48,7842	1,0230	21,0	23,9957	1,0513
44,0	47,7612	1,0235	20,0	22,9444	0,5266
43,0	46,7377	1,0241	19,5	22,4178	0,5274
42,0	45,7136	1,0247	19,0	21,8904	0,5282
41,0	44,6889	1,0253	18,5	21,3622	0,5290
40,0	43,6626	1,0260	18,0	20,8332	0,5298
39,0	42,6376	1,0267	17,5	20,3034	0,5308
38,0	41,6109	1,0274	17,0	19,7726	0,5318
37,0	40,5835	1,0281	16,5	19,2408	0,5327
36,0	39,5554	1,0290	16,0	18,7081	0,5339
35,0	38,5264	1,0299	15,5	18,1742	0,5341
34,0	37,4969	1,0308	15,0	17,6391	0,5364

Продолжение приложения X

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
14,5	17,1027		5,8	7,3686	
		0,5378			0,2425
14,0	16,5649		5,6	7,1261	
		0,5392			0,2445
13,5	16,0257		5,4	6,8816	
		0,5408			0,2465
13,0	15,4849		5,2	6,6351	
		0,5425			0,2488
12,5	14,9424		5,0	6,3863	
		0,5445			0,1253
12,0	14,3979		4,9	6,2610	
		0,5465			0,1260
11,5	13,8514		4,8	6,1350	
		0,5488			0,1267
11,0	13,3026		4,7	6,0083	
		0,5513			0,1274
10,5	12,7513		4,6	5,8809	
		0,5541			0,1281
10,0	12,1972		4,5	5,7528	
		0,2224			0,1290
9,8	11,9748		4,4	5,6238	
		0,2230			0,1299
9,6	11,7518		4,3	5,4939	
		0,2235			0,1307
9,4	11,5283		4,2	5,3632	
		0,2242			0,1318
9,2	11,3041		4,1	5,2314	
		0,2247			0,1328
9,0	11,0794		4,0	5,0986	
		0,2253			0,1339
8,8	10,8541		3,9	4,9647	
		0,2260			0,1351
8,6	10,6281		3,8	4,8296	
		0,2266			0,1364
8,4	10,4015		3,7	4,6932	
		0,2274			0,1377
8,2	10,1741		3,6	4,5555	
		0,2282			0,1392
8,0	9,9459		3,5	4,4163	
		0,2290			0,1408
7,8	9,7169		3,4	4,2755	
		0,2298			0,1426
7,6	9,4871		3,3	4,1329	
		0,2308			0,1444
7,4	9,2563		3,2	3,9885	
		0,2317			0,1466
7,2	9,0246		3,1	3,8419	
		0,2328			0,1485
7,0	8,7918		3,0	3,6934	
		0,2339			0,1514
6,8	8,5579		2,9	3,5420	
		0,2351			0,1542
6,6	8,3228		2,8	3,3878	
		0,2365			0,1572
6,4	8,0863		2,7	3,2306	
		0,2376			0,1606
6,2	7,8487		2,6	3,0700	
		0,2393			0,1645
6,0	7,6094		2,5	2,9055	
		0,2408			0,1690

Продолжение приложения X

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
2,4	2,7365		1,29	0,0520	
		0,1741			0,0451
2,3	2,5624		1,28	0,0069	
		0,1801			0,0069
2,2	2,3823		1,27	0	
		0,1870			0,0393
2,1	2,1958		1,27	—0,0393	
		0,1953			0,0478
2,0	2,0000		1,26	—0,0871	
		0,2054			0,0492
1,9	1,7946		1,25	—0,1363	
		0,2177			0,0508
1,8	1,5769		1,24	—0,1871	
		0,2336			0,0526
1,7	1,3433		1,23	—0,2397	
		0,2541			0,0544
1,6	1,0892		1,22	—0,2941	
		0,2823			0,0565
1,50	0,8069		1,21	—0,3506	
		0,0303			0,0588
1,49	0,7766		1,20	—0,4094	
		0,0306			0,0613
1,48	0,7460		1,19	—0,4707	
		0,0310			0,0641
1,47	0,7150		1,18	—0,5348	
		0,0315			0,0672
1,46	0,6835		1,17	—0,6020	
		0,0320			0,0706
1,45	0,6515		1,16	—0,6726	
		0,0325			0,0745
1,44	0,6190		1,15	—0,7471	
		0,0330			0,0790
1,43	0,5860		1,14	—0,8261	
		0,0335			0,0841
1,42	0,5525		1,13	—0,9102	
		0,0341			0,0901
1,41	0,5184		1,12	—0,0003	
		0,0347			0,0970
1,40	0,4837		1,11	—1,0973	
		0,0353			0,1053
1,39	0,4484		1,100	—1,2026	
		0,0360			0,0563
1,38	0,4124		1,095	—1,2589	
		0,0367			0,0591
1,37	0,3757		1,090	—1,3180	
		0,0374			0,0621
1,36	0,3383		1,085	—1,3801	
		0,0381			0,0656
1,35	0,3002		1,080	—1,4457	
		0,0390			0,0696
1,34	0,2612		1,075	—1,5153	
		0,0398			0,0740
1,33	0,2213		1,070	—1,5893	
		0,0409			0,0791
1,32	0,1805		1,065	—1,6684	
		0,0418			0,0850
1,31	0,1387		1,060	—1,7534	
		0,0428			0,0920
1,30	0,0959		1,055	—1,8454	
		0,0439			0,1003

Продолжение приложения X

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
1,050	—1,9457		1,014	—3,2547	
		0,1104			0,1564
1,045	—2,0561		1,012	—3,4111	
		0,1228			0,1841
1,040	—2,1789		1,010	—3,5952	
		0,1385			0,1063
1,035	—2,3174		1,009	—3,7015	
		0,1592			0,1188
1,030	—2,4766		1,008	—3,8203	
		0,0710			0,1345
1,028	—2,5476		1,007	—3,9548	
		0,0761			0,1552
1,026	—2,6237		1,006	—4,1100	
		0,0820			0,1833
1,024	—2,7057		1,005	—4,2933	
		0,0890			0,2242
1,022	—2,7947		1,004	—4,5175	
		0,0973			0,2887
1,020	—2,8920		1,003	—4,8062	
		0,1074			0,4064
1,018	—2,9994		1,002	—5,2126	
		0,1198			0,6942
1,016	—3,1192		1,001	—5,9068	
		0,1355			

ПРИЛОЖЕНИЕ XI

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИИ $\varphi(\eta)$ ПРИ $i<0$

Обратный уклон ($i<0$)

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
0,010	—0,00005		0,070	—0,0024	
		0,00005			0,0003
0,015	—0,0001		0,075	—0,0027	
		0,0001			0,0003
0,020	—0,0002		0,080	—0,0030	
		0,0001			0,0004
0,025	—0,0003		0,085	—0,0034	
		0,0001			0,0004
0,030	—0,0004		0,090	—0,0038	
		0,0002			0,0004
0,035	—0,0006		0,095	—0,0042	
		0,0002			0,0005
0,040	—0,0008		0,10	—0,0047	
		0,0002			0,0010
0,045	—0,0010		0,11	—0,0057	
		0,0002			0,0010
0,050	—0,0012		0,12	—0,0067	
		0,0002			0,0011
0,055	—0,0014		0,13	—0,0078	
		0,0003			0,0012
0,060	—0,0017		0,14	—0,0090	
		0,0003			0,0012
0,065	—0,0020		0,15	—0,0102	
		0,0004			0,0014

Продолжение приложения XI

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
0,16	—0,0116	0,0014	0,46	—0,0816	0,0031
0,17	—0,0130	0,0014	0,47	—0,0847	0,0032
0,18	—0,0144	0,0016	0,48	—0,0879	0,0033
0,19	—0,0160	0,0017	0,49	—0,0912	0,0033
0,20	—0,0177	0,0017	0,50	—0,0945	0,0034
0,21	—0,0194	0,0018	0,51	—0,0979	0,0034
0,22	—0,0212	0,0018	0,52	—0,1013	0,0034
0,23	—0,0230	0,0019	0,53	—0,1047	0,0035
0,24	—0,0249	0,0020	0,54	—0,1082	0,0935
0,25	—0,0269	0,0020	0,55	—0,1117	0,0036
0,26	—0,0289	0,0021	0,56	—0,1153	0,0036
0,27	—0,0310	0,0021	0,57	—0,1189	0,0037
0,28	—0,0331	0,0022	0,58	—0,1226	0,0037
0,29	—0,0353	0,0023	0,59	—0,1263	0,0037
0,30	—0,0376	0,0024	0,60	—0,1300	0,0038
0,31	—0,0400	0,0024	0,61	—0,1338	0,0038
0,32	—0,0424	0,0024	0,62	—0,1376	0,0038
0,33	—0,0448	0,0025	0,63	—0,1414	0,0039
0,34	—0,0473	0,0026	0,64	—0,1453	0,0039
0,35	—0,0499	0,0026	0,65	—0,1492	0,0040
0,36	—0,0525	0,0027	0,66	—0,1532	0,0040
0,37	—0,0552	0,0027	0,67	—0,1572	0,0040
0,38	—0,0579	0,0028	0,68	—0,1612	0,0041
0,39	—0,0607	0,0028	0,69	—0,1653	0,0041
0,40	—0,0635	0,0029	0,70	—0,1694	0,0041
0,41	—0,0664	0,0029	0,71	—0,1735	0,0042
0,42	—0,0693	0,0030	0,72	—0,1777	0,0042
0,43	—0,0723	0,0031	0,73	—0,1819	0,0042
0,44	—0,0754	0,0031	0,74	—0,1861	0,0043
0,45	—0,0785	0,0031	0,75	—0,1904	0,0043

Продолжение приложения XI

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
0,76	—0,1947	0,0043	1,6	—0,6445	0,0623
0,77	—0,1990	0,0044	1,7	—0,7068	0,0636
0,78	—0,2034	0,0044	1,8	—0,7704	0,0649
0,79	—0,2078	0,0044	1,9	—0,8353	0,0661
0,80	—0,2122	0,0045	2,0	—0,9014	0,0672
0,81	—0,2167	0,0045	2,1	—0,9686	0,0683
0,82	—0,2212	0,0045	2,2	—1,0369	0,0692
0,83	—0,2257	0,0045	2,3	—1,1061	0,0701
0,84	—0,2302	0,0046	2,4	—1,1762	0,0710
0,85	—0,2348	0,0046	2,5	—1,2472	0,0719
0,86	—0,2394	0,0046	2,6	—1,3191	0,0726
0,87	—0,2440	0,0047	2,7	—1,3917	0,0733
0,88	—0,2487	0,0047	2,8	—1,4650	0,0740
0,89	—0,2534	0,0047	2,9	—1,5390	0,0747
0,90	—0,2581	0,0048	3,0	—1,6137	0,3822
0,91	—0,2629	0,0048	3,5	—1,9959	0,3947
0,92	—0,2677	0,0048	4,0	—2,3906	0,4047
0,93	—0,2725	0,0048	4,5	—2,7953	0,4129
0,94	—0,2773	0,0049	5,0	—3,2082	0,4200
0,95	—0,2822	0,0049	5,5	—3,6282	0,4259
0,96	—0,2871	0,0049	6,0	—4,0541	0,4310
0,97	—0,2920	0,0049	6,5	—4,4851	0,4355
0,98	—0,2969	0,0050	7,0	—4,9206	0,4393
0,99	—0,3019	0,0050	7,5	—5,3599	0,4429
1,0	—0,3069	0,0512	8,0	—5,8028	0,4459
1,1	—0,3581	0,0535	8,5	—6,2487	0,4487
1,2	—0,4116	0,0555	9,0	—6,6974	0,4512
1,3	—0,4671	0,0574	9,5	—7,1486	0,4535
1,4	—0,5245	0,0592	10,0	—7,6021	0,4556
1,5	—0,5837	0,0608	10,5	—8,0577	0,4574

Продолжение приложения XI

η	$\varphi(\eta)$	Δ	η	$\varphi(\eta)$	Δ
11,0	—8,5151	0,4592	31,0	—27,5342	0,9693
11,5	—8,9743	0,4608	32,0	—28,5035	0,9702
12,0	—9,4351	0,4622	33,0	—29,4737	0,9710
12,5	—9,8973	0,4636	34,0	—30,4447	0,9718
13,0	—10,3609	0,4650	35,0	—31,4165	0,9726
13,5	—10,8259	0,4661	36,0	—32,3891	0,9734
14,0	—11,2920	0,4672	37,0	—33,3625	0,9740
14,5	—11,7592	0,4682	38,0	—34,3365	0,9746
15,0	—12,2274	0,4692	39,0	—35,3111	0,9753
15,5	—12,6966	0,4710	40,0	—36,2864	0,9759
16,0	—13,1668	0,4710	41,0	—37,2623	0,9765
16,5	—13,6378	0,4718	42,0	—38,2388	0,9770
17,0	—14,1096	0,4726	43,0	—39,2158	0,9775
17,5	—14,5822	0,4734	44,0	—40,1983	0,9780
18,0	—15,0556	0,4741	45,0	—41,1713	0,9785
18,5	—15,5297	0,4746	46,0	—42,1498	0,9790
19,0	—16,0043	0,4753	47,0	—43,1288	0,9794
19,5	—16,4796	0,4759	48,0	—44,1082	0,9798
20,0	—16,9555	0,9535	49,0	—45,0880	0,9802
21,0	—17,9090	0,9555	50,0	—46,0682	4,9064
22,0	—18,8645	0,9575	55,0	—50,9746	4,9145
23,0	—19,8220	0,9591	60,0	—55,8891	4,9213
24,0	—20,7811	0,9608	65,0	—60,8104	4,9270
25,0	—21,7419	0,9623	70,0	—65,7374	4,9319
26,0	—22,7042	0,9636	75,0	—70,6693	4,9362
27,0	—23,6678	0,9649	80,0	—75,6055	9,8736
28,0	—24,6327	0,9661	90,0	—85,4891	9,8958
29,0	—25,5988	0,9672	100,0	—95,3849	
30,0	—26,5660				

ПРИЛОЖЕНИЕ XII

РАЗНЫЕ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

1. Перевод единиц измерения давления

Наименование единиц	Размерность или условное обозначение	Техническая атмосфера	Миллиметры ртутного столба	Миллиметры водяного столба	Английский фунт на квадратный дюйм	Физическая атмосфера
Техническая атмосфера .	*кг/см²*	1,0	735,36	10 000	14,223	0,9678
Миллиметр ртутного столба	*мм* рт. ст.	0,00136	1,0	13,6	0,0193	0,00131
Миллиметр водяного столба	*мм* вод. ст.	0,0001	0,07356	1,0	0,00142	0,0000968
Английский фунт на квадратный дюйм	англ. фунт/дм²	0,0703	51,715	703	1,0	0,0680
Физическая атмосфера . .	*ат*	1,0332	760,0	10 332	14,696	1,0

2. Соотношение между единицами давления

Наименование единиц	Физическая атмосфера, *ат*	Техническая атмосфера, *ата* (*кг/см²*)	Ртутный столб, *м*	Водяной столб, *м*
Физическая атмосфера (*ат*) . . .	1	1,0332	0,76000	10,3333
Техническая атмосфера * (*ата* или *кг/см²*)	0,9678	1	0,73555	10,000
1 метр ртутного столба (*м* рт. ст.)	1,3158	1,3595	1	13,595
1 метр водяного столба (*м* вод. ст.)	0,0968	0,1000	0,0736	1

3. Соотношение между единицами мощности

Наименование единиц	Килограммометр в секунду (*кгм/сек*)	Лошадиная сила (*л. с.*)	Киловатт (*квт*)
Килограммометр в секунду (*кгм/сек*)	1	0,01333	0,00981
Лошадиная сила (*л. с.*)	75	1	0,7355
Киловатт (*квт*)	101,98	1,360	1

4. Расчет расхода жидкостей и газов

Единица измерения	*см³/сек*	*л/сек*	*л/мин*	*л/час*	*м³/мин*	*м³/час*
см³/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/час	0,278	$278 \cdot 10^{-6}$	$167 \cdot 10^{-4}$	1	$167 \cdot 10^{-7}$	10^{-3}
м³/мин	16670	16,67	1000	60000	1	60
м³/час	277,8	0,2778	16,67	1000	$167 \cdot 10^{-4}$	1

* Давление, равное 1 *кг/см²*, называется технической атмосферой.

5. Меры объема жидкостей

1 *л* = 0,001 $м^3$ = 0,264 америк. галлона = 0,220 англ. галлона = 0,0353 куб. фут. = = 0,0813 ведра.
1 ведро = 12,2993 *л* = 2,7056 англ. галлона = 0,4345 куб. фут.
1 америк. галлон = 0,8333 англ. галлона = 3,785 *л* = 0,1336 куб. фут.
1 англ. галлон = 1,200 америк. галлонов = 4,544 *л* = 0,1603 куб. фут.
1 куб. фут. = 6,24 англ. галлона = 7,49 америк. галлона = 28,375 *л* = 2,302 ведра.

6. Меры веса

1 *т* = 1000 *кг* = 61,0459 пуд. = 2441,8350 фунт. = 2204,6223 английских фунта.
1 *кг* = 1000 *г* = 0,0610 пуд. = 2,4418 фунт. = 2,2046 англ. фунт. = приблизительно весу 1 $дц^3$ чистой воды при 4° С.

7. Меры линейные

1 *км* = 1000 *м* = 0,9374 верст = 468,69 саж. = 0,6214 англ. мили.
1 *м* = 10 *дм* = 100 *см* = 1000 *мм* = 0,4687 саж. = 3,2809 фута = 39,3704 дюйма = = 1,0936 ярда.
1 *дм* = 10 *см* = 100 *мм* = 0,3281 футов = 3,9370 дюйма.
1 *см* = 10 *мм* = 0,3937 дюйма.
1 *мм* = 0,1 *см* = 0,03937 дюйма.
1 Å = 0,001 *мм*.
1 дюйм = 2,540 *см* = 25,4 *мм* = 0,0833 фута.
1 фут = 12 дюймов = 0,3048 *м* = $^1/_3$ ярда.
1 ярд = 3 фута = 0,9144 *м*.
1 сажень = 7 футов = 2,1336 *м*.
1 англ. миля = 5000 футов = 1,5240 *км*.
1 морск. миля = 1,8532 *км* = 1,7362 верст (равна 1 минуте дуги земного меридиана).
1 географ. миля = 7,4205 *км* (равна $^1/_{15}$ градуса экватора).
1 англ. миля уставная = 1760 ярд = 1,6093 *км*.

8. Меры площадей, или квадратные

1 $км^2$ = 1 000 000 $м^2$ = 0,3861 англ. кв. мили = 100 *га* = 0,8787 кв. верст = 91,53 десятины = 247,105 акрам.
1 *га* = 10 000 $м^2$ = 0,9153 десятины = 2,47105 акрам.
1 $м^2$ = 10 000 $см^2$ = 0,2197 кв. саж. = 10,7639 кв. фут. = 1,1960 кв. ярдам.
1 $см^2$ = 100 $мм^2$ = 0,1550 кв. дюйма.
1 кв. дюйм = 6,4514 $см^2$.
1 кв. фут = 0,0929 $м^2$.
1 кв. ярд. = 0,8361 $м^2$ = 9 кв. фут. = 0,1837 кв. саж.
1 кв. верста = 1,1381 $км^2$ = 250 000 кв. саж. = 104,167 десятины = 0,439402 англ. кв. мили.
1 десятина = 1,0925 *га* = 2,6997 акра = 2400 кв. саж.
1 акр. = 4840 кв. ярдов = 0,4047 *га* = 0,37 десятины.

9. Объем и вес воды

Приближенные соотношения для воды при 4°—17° С

1 $м^3$ = 81,3 ведра = 1 *т* = 61 пуд. = 0,98 англ. тонн.
1 *л* = 61,03 куб. дюйма = 1 *кг* = 2,44 фунт. = 2,20 англ. фунт.

10. Температура замерзания растворов хлористого натрия

Удельный вес $C_4^{15°}$	Содержание NaCl, *г*		Температура замерзания, °C
	на 100 *г* раствора	на 100 *г* воды	
1,00	0,1	0,1	0,0
1,01	1,5	1,5	—0,8
1,02	2,9	3,0	—1,7
1,03	4,3	4,5	—2,7
1,04	5,6	5,9	—3,6
1,05	7,0	7,5	—4,6
1,06	8,3	9,0	—5,5
1,07	9,6	10,6	—6,6
1,08	11,0	12,3	—7,8
1,09	12,3	14,0	—9,1
1,10	13,6	15,7	—10,4
1,11	14,9	17,5	—11,8
1,12	16,2	19,3	—13,2
1,13	17,5	21,2	—14,9
1,14	18,8	23,1	—16,2
1,15	20,0	25,0	—17,8
1,16	21,2	26,9	—19,4
1,17	22,4	29,0	—21,2

11. Таблица перевода дюймов в миллиметры

Дюймы	Миллиметры	Дюймы	Миллиметры
1/16	0,3969	13/16	30,163
1/32	0,7337	11/4	31,750
1/16	1,5875	15/16	33,338
1/8	3,1750	13/8	34,925
3/16	4,7625	17/16	36,513
15/64	5,9531	11/2	38,100
5/16	7,3375	19/16	39,688
3/8	9,5250	15/8	41,275
7/16	11,1125	111/16	42,863
1/2	12,70000	13/4	44,450
9/16	14,2875	113/16	46,038
5/8	15,8750	17/8	47,625
11/16	17,4425	115/16	49,213
3/4	19,0500	2	50,800
13/16	20,6375	21/8	53,375
7/8	22,2250	21/4	57,150
15/16	23,8125	23/8	60,325
1	25,4000	21/2	63,500
11/16	26,988	25/8	66,675
11/8	28,575	23/4	69,850

Продолжение приложения XII

Дюймы	Миллиметры	Дюймы	Миллиметры
$2^7/_8$	73,025	11	275,40
3	76,200	$11^3/_4$	298,45
$3^1/_4$	32,550	12	304,80
$3^1/_2$	38,900	13	330,20
$3^3/_4$	95.250	$13^3/_4$	349,25
4	101,600	14	355,60
$4^1/_4$	107,950	15	381,00
$4^1/_2$	114,300	$15^3/_4$	400,05
$4^3/_4$	120,650	16	406,40
5	127,000	17	431,80
$5^1/_4$	133,350	$17^3/_4$	450,85
$5^1/_2$	139,700	18	457,20
$5^3/_4$	146,050	19	482,60
6	152,400	$19^3/_4$	501,65
7	177,800	20	508,00
$7^3/_4$	196,850	25	635,00
8	203,200	30	762,00
9	228,600	40	1016,00
$9^3/_4$	247,650	50	1270,00
10	254,00		

12. 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

13. Дебит газа в *м³/сутки*, приведенный к 20° С и 760 *мм* рт. ст. при измерении шайбным измерителем

(температура газа принята равной 20° С)

Высота водяного столба, *мм*	Относительный удельный вес газа							
	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
	1. Диаметр отверстия шайбы 5 *мм*							
5	12	11	10	10	9	9	8	8
10	17	16	15	14	13	12	11	11
15	22	20	19	18	17	16	15	15
20	26	24	22	21	20	18	17	17
30	30	28	26	24	23	22	21	21
40	35	32	30	28	27	26	25	24
50	39	37	35	33	31	29	28	27
60	42	39	37	35	33	31	30	29
70	46	43	40	38	35	34	33	32
80	49	46	43	40	38	36	35	34
90	52	49	46	43	41	39	37	36
100	55	51	48	45	43	41	39	38
120	60	56	53	50	47	45	43	41
140	65	60	56	53	50	48	46	44
160	70	65	60	57	54	51	49	47
180	74	69	66	60	58	54	52	50
200	78	73	68	63	60	58	55	53
250	87	81	76	72	68	64	62	60
300	96	89	83	78	74	70	68	65
	2. Диаметр отверстия шайбы 10 *мм*							
5	49	45	45	41	38	36	34	32
10	70	66	62	58	54	51	49	47
15	86	80	75	70	67	64	60	59
20	97	89	84	80	77	74	70	68
30	120	112	105	99	93	89	85	82
40	139	128	120	113	107	103	99	96
50	156	145	136	127	121	115	109	106
60	170	158	148	140	132	126	120	116
70	184	172	160	150	143	136	129	125
80	197	183	172	161	153	146	140	135
90	209	195	183	172	162	154	148	143
100	222	205	192	180	172	163	156	150
120	242	226	210	198	188	178	172	165
140	263	243	237	214	203	194	186	179
160	260	280	242	229	217	205	197	190
180	297	275	257	242	230	220	210	202
200	312	289	271	256	242	231	220	213
250	350	321	303	286	271	259	248	238
300	383	355	332	312	297	283	271	260
	3. Диаметр отверстия шайбы 15 *мм*							
5	—	—	—	—	86	82	79	76
10	158	146	133	129	122	117	112	107
15	193	180	167	158	160	143	137	131
20	222	212	193	182	173	164	157	151
30	273	254	236	223	212	201	193	186
40	315	292	273	258	244	232	223	215
50	352	327	306	289	273	260	250	239

Продолжение приложения XII

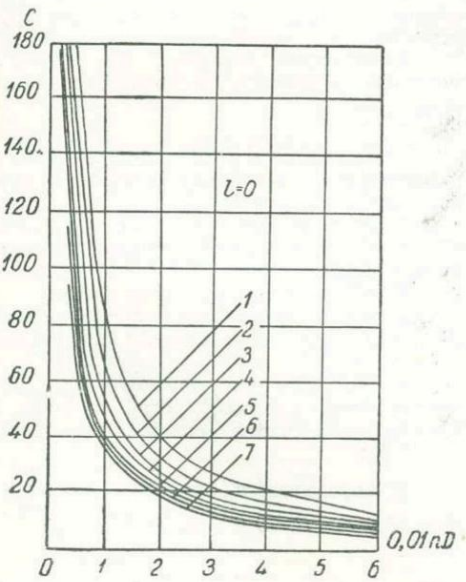
Высота водяного столба, *мм*	Относительный удельный вес газа							
	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
60	386	351	334	315	299	286	273	262
70	418	387	362	342	324	308	296	284
80	447	414	387	366	346	330	316	303
90	474	439	410	387	367	349	335	321
100	498	462	431	408	386	369	353	338
120	545	506	472	447	423	404	386	372
140	590	546	510	483	457	436	418	402
160	630	583	546	516	488	464	445	428
180	669	619	578	547	518	494	473	455
200	705	653	611	577	546	522	499	480
250	788	731	683	645	611	582	558	536
300	868	799	747	705	669	637	610	587
4. Диаметр отверстия шайбы 20 *мм*								
5	197	183	170	160	152	145	139	134
10	280	259	243	230	218	216	198	191
15	343	319	299	282	266	253	241	233
20	396	368	343	324	307	293	280	276
30	486	450	422	398	377	359	344	330
40	560	518	476	458	433	413	395	381
50	625	580	522	511	485	462	443	425
60	685	635	593	560	530	506	484	465
70	741	687	642	607	574	547	524	503
80	790	732	685	648	613	584	560	538
90	839	778	727	686	650	619	592	570
100	885	819	767	724	686	654	626	602
120	970	899	841	795	753	717	680	660
140	1047	970	906	858	811	773	739	712
160	1120	1039	969	916	868	827	792	761
180	1184	1102	1029	972	920	876	839	807
200	1273	1163	1085	1025	970	925	885	850
250	1399	1308	1214	1146	1085	1035	991	952
300	1534	1421	1254	1257	1189	1134	1085	1042
5. Диаметр отверстия шайбы 25 *мм*								
5	309	286	268	253	239	227	218	210
10	436	405	377	356	338	321	308	297
15	536	495	464	438	414	394	378	365
20	619	573	536	505	480	456	438	421
30	758	708	657	619	587	560	536	516
40	878	808	757	714	677	644	616	594
50	977	903	846	798	757	720	690	664
60	1070	989	926	873	829	789	755	727
70	1156	1072	1001	945	897	854	816	786
80	1238	1144	1070	1008	957	912	872	839
90	1313	1215	1137	1072	1016	968	926	891
100	1416	1279	1199	1129	1078	1019	974	939
120	1516	1402	1314	1238	1174	1120	1072	1031
140	1636	1512	1417	1335	1267	1207	1155	1112
160	1750	1618	1515	1427	1356	1294	1068	1188
180	1855	1715	1607	1516	1437	1371	1310	1263
200	1956	1807	1694	1597	1515	1444	1381	1329
250	2193	2028	1895	1787	1695	1616	1546	1487
300	2395	2217	2076	1956	1857	1771	1692	1629

Продолжение приложения XII

Высота водяного столба, *мм*	Относительный удельный вес газа							
	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30

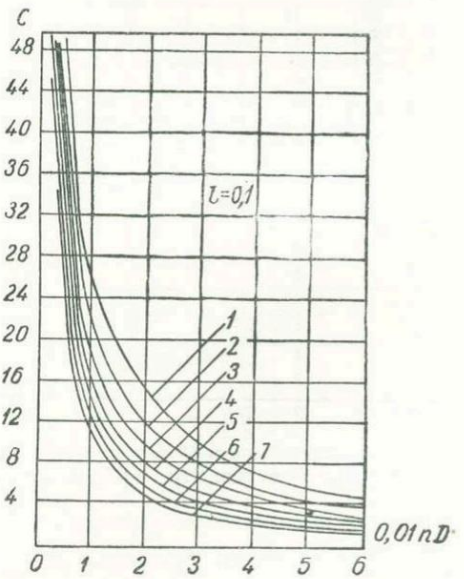
6. Диаметр отверстия шайбы 30 *мм*

5	549	413	387	365	346	329	315	304
10	629	582	546	514	488	465	445	423
15	772	716	669	629	598	570	545	525
20	890	825	772	727	690	658	629	606
30	1093	1115	947	891	846	806	771	743
40	1261	1168	1092	1029	976	929	888	855
50	1411	1307	1222	1162	1092	1041	995	957
60	1546	1433	1340	1261	1197	1140	1092	1050
70	1668	1546	1445	1362	1292	1231	1178	1135
80	1783	1651	1546	1454	1380	1317	1260	1212
90	1889	1753	1639	1543	1465	1397	1335	1285
100	1992	1849	1727	1627	1544	1470	1407	1355
120	2190	2028	1899	1787	1695	1615	1545	1487
140	2362	2186	2046	1926	1828	1742	1665	1604
160	2519	2339	2185	2060	1952	1859	1779	1717
180	2680	2484	2321	2186	2074	1976	1890	1820
200	2822	2615	2444	2301	2184	2082	2000	1914
250	3154	2922	2732	2577	2443	2430	2201	2144
300	3460	3203	2896	2820	2676	2554	2442	2349

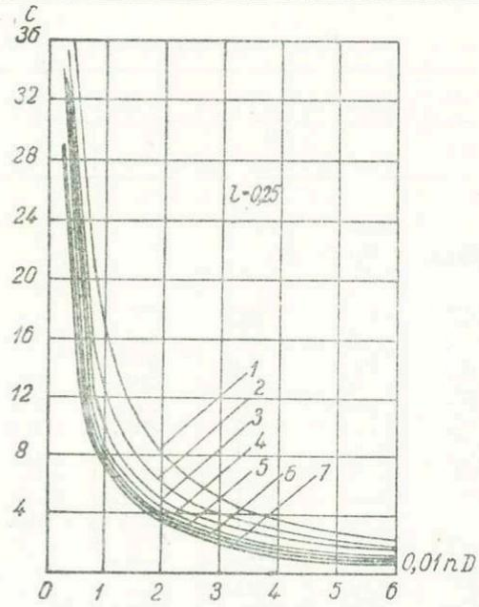


Фиг. 1. Зависимость C от параметра nD.

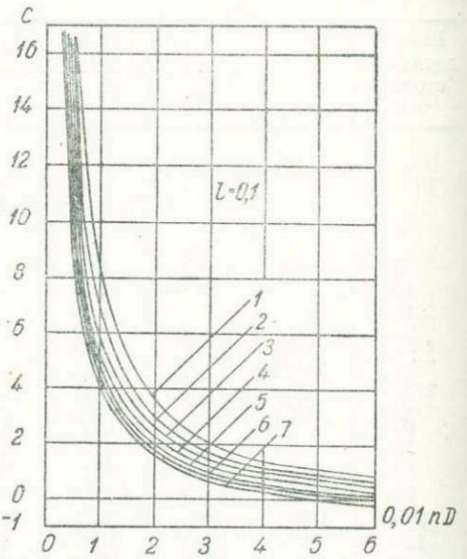
1 — для $\alpha = 0{,}30$; *2* — для $\alpha = 0{,}04$;
3 — для $\alpha = 0{,}05$; *4* — для $\alpha = 0{,}06$;
5 — для $\alpha = 0{,}07$; *6* — для $\alpha = 0{,}08$;
7 — для $\alpha = 0{,}09$.



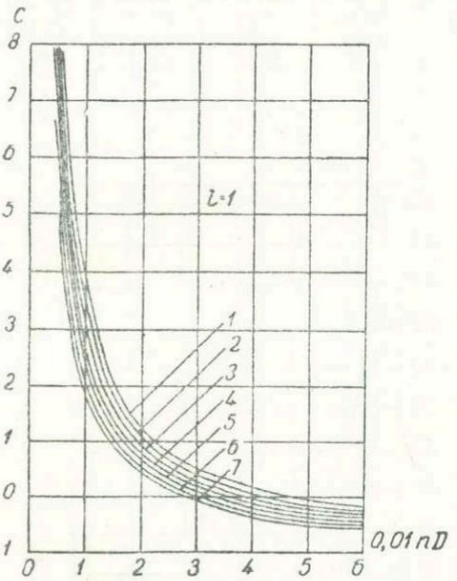
Фиг. 2. Зависимость C от параметра nD (обозначения см. подпись к графику I).



Фиг. 3. Зависимость C от параметра nD (обозначения те же, что на графике I).



Фиг. 4. Зависимость C от параметра nD (обозначения те же, что на графике I).



Фиг. 5. Зависимость C от параметра nD (обозначения те же, что на графике I).

14. Учет влияния несовершенства скважин по характеру вскрытия водоносного горизонта (по В. И. Щурову, 1954)

Величина дополнительного сопротивления притока воды к скважине при наличии перфорированной колонны труб зависит:

1) от числа отверстий на 1 *пог. м* вскрытой мощности водоносного слоя, $\frac{n_{отв}}{M}$;

2) от глубины проникновения пуль в водоносную породу l' *см*; величина l' принимается от 3 до 5 *см*;

3) от диаметра отверстий в колонне d' *см*; d' принимается равным диаметру пуль и обычно равен 1,1 *см*.

4) от диаметра скважины D *см*.

Коэффициент дополнительного сопротивления устанавливается следующим путем:

а) определяется параметр 0,01 nD, учитывающий число отверстий на 1 *пог. м* водоприемной части скважины данного диаметра;

б) определяется параметр $l = \frac{l'}{D}$, которому выбирается соответствующий график (фиг. 1, 2, 3, 4 или 5);

в) определяется параметр $\alpha = \frac{d'}{D}$;

г) на выбранном графике из семейства кривых находится интересующая нас кривая по параметру α;

д) по параметру 0,01 nD, взятому на оси абсцисс, определяется интересующее нас значение коэффициента C (на оси ординат);

е) определяется $C_2\left(C_2 = \frac{C}{2{,}3}\right)$.

ПРИЛОЖЕНИЕ XIII

ФОРМЫ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ

1. Журнал для определения расхода воды поплавками

Расход №_____

«_____»_____195__г.

Река _____

Область _____

Район _____

Место наблюдений _____

Расстояние между крайними створами _____

Начало наблюдений _____ч._____м. Конец _____ч._____м.

Отметка горизонта воды $\frac{\text{начало}}{\text{конец}}$ _____ *м* по посту

Пост №_____около _____

Репер №_____на $\frac{\text{правом}}{\text{левом}}$ берегу, отметка его _____

Коэффициент $K =$ _____; Средняя скорость $v_{ср} =$ _____ *м/сек*;

Ширина живого сечения $B =$ _____ *м*, площадь $F =$ _____ $м^2$

$Q = Kv_{ср}F =$ _____ $м^3/сек$

Грунт дна _____

Температура: $\frac{\text{воздуха}}{\text{воды}}$ _____

Измерение скоростей поплавками					Глубины и вычисление площадей живого сечения					
№ поплавков	Место прохода поплавка через средний створ от постоянного начала, *м*	Продолжительность хода поплавка, сек.	№ группы, к которой отнесен поплавок	Примечание (задержка хода поплавка, ветер и т. д.)	№ промерн. вертик.	Расстояние от постоянного начала, *м*	Средняя глубина, *м*	Расстояние между промерн. вертик., *м*	Средняя глубина между промерн. вертик., *м*	Площадь между промерн. вертик., $м^2$

$$v_{ср} = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3} =$$

Подпись измерявшего расход:

Продолжение приложения XIII

2. Журнал для определения расхода воды вертушками

Расход №_____

«_____»_____195__г.

Река_____ Рабочий створ №_____

Область_____ Район_____

Место измерения_____

Начало измерения_____ч._____м. Конец_____ч._____м.

Вертушка №_____ системы_____

Лопасть №_____ контакт через_____ оборотов_____

Тарировка №_____ 195__г. в_____

Начальная скорость вертушки_____м/сек.

После последней тарировки измеряется_____расход.

Вертушку опускали на $\frac{\text{штанге}}{\text{тросе}}$, с лодки, парома, мостика_____

Секундомер_____№

выверен_____мес. 19_____г.

Отметка горизонта воды: начальная_____*м*.
конечная_____*м*.

на посту (местонахождение поста)_____

Отметка горизонта воды, к которой отнесен расход: в створе_____*м*.
на посту_____*м*.

Расход воды $Q =$ _____ $м^3/сек$.

Ширина живого сечения $B =$ _____ *м*.

Площадь » » $F =$ _____ $м^2$.

Средняя скорость течения $v_{ср} = \frac{Q}{F} =$ _____ $м/сек$.

Наиб. $v_{макс} =$ _____ $м/сек$.

Средняя глубина $\frac{F}{B} =$ _____ *м*.

Температура: воды_____
воздуха_____ °С

Расход определял_____

Вычисления проверил_____

Промеры при отметке горизонта воды_____ *м*

№ промерн. вертик.	Расстояние промерн. вертик. от пост. начала, *м*	Глубины, *м*			Средняя глубина между промерн. вертик., *м*	Расстояние между промерн. вертик., *м*	Площадь между промерн. вертик., *м*
		Промеры		Средняя глубина			
		1-ый	2-ой				

Урез_____берега

Подпись:

Продолжение приложения XIII

Определение скоростей на вертикалях

Вертикаль №

Глубина воды на вертикали $h =$ *м*

Расположение точек		У поверхности		0,2 h		0,6 h		0,8 h		У дна	
Глубина точек от поверх. воды											
Отсчет по штанге											
Показание счетчика глубины	ось на поверх.										
	ось на точке										
Число оборотов за прием											
№ п/п		Показ. сек.	Разность	Показ. сек.	Разность	Показ. сек.	Разность	Показ. сек.	Разность	Показ. сек.	Разность
1											
2											
3											
4											
5											
6 и т. д.											
Итого:											
Сумма оборотов вертушки											
Число оборотов в 1 сек.											
Скорость течения, *м/сек*											

Подпись:

Вычисление расхода аналитическим способом

№ вертикалей	Расстояние от постоянного начала, *м*	Глубина на вертикали, *м*	Средняя глубина, *м*	Расстояние между вертикалями, *м*	Площадь между вертикалями, *м*	Средняя скорость на вертикали, *м/сек*	Средняя скорость между вертикалями, *м*	Частичный расход, *м³/сек*
Урез правого берега								

$Q =$

Подпись:

ПРИЛОЖЕНИЕ XIV

НОРМАТИВНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОТКАЧКАМ И НАГНЕТАНИЯМ (по СУСН-54)

1. Продолжительность откачек при опробовании водоносных горизонтов (в сменах)

Литологический состав водоносных пород	Коэффициент фильтрации, *м/сутки*	Удельный дебит, *л/сек*	Характер водоносного горизонта	Средняя продолжительность откачек при каждом понижении, в сменах			
				пробные откачки из одиночных скважин	опытные откачки		
					из одиночных скважин	из опытных узлов	групповые
Скальные сильно трещиноватые породы, гравийно-галечниковые породы с незначительной примесью мелких частиц	Более 60	5 и более	Напорный	1—2	6—9	9—15	6—12
			Безнапорный	2—3	9—12	12—18	9—15
Скальные трещиноватые породы, мел, гравийно-галечниковые породы с значительной примесью мелких частиц, гравелистые разнозернистые пески	60—20	1—10	Напорный	2—4	9—12	12—18	9—15
			Безнапорный	3—5	12—18	15—21	12—18
Скальные слабо трещиноватые породы (доломиты, мергели, сланцы), мел и разнозернистые пески	20—5	0,1—1,0	Напорный	3—5	12—18	15—21	12—18
			Безнапорный	4—6	15—21	18—24	15—21
Мелкозернистые неоднородные пески	Менее 5	0,01—0,5	Напорный	4—6	12—18	15—24	12—18
			Безнапорный	5—7	15—24	18—30	15—21

Примечания. 1. Длительность пробно-эксплуатационных откачек устанавливается в каждом отдельном случае в зависимости от сложности гидрогеологических условий. Суммарный дебит при пробно-эксплуатационной откачке должен быть не менее 50% потребного количества воды.

2. Отклонения от приведенной в таблице продолжительности откачек должны быть обоснованы в проектах работ. Во всех случаях, вне зависимости от принятой продолжительности опытных откачек, они могут быть закончены не ранее, чем через 1 смену после стабилизации дебитов и динамических уровней в опытных и наблюдательных скважинах.

3. Режим откачек устанавливается специальными инструкциями.

4. При производстве пробных и опытных откачек в процессе инженерно-геологических изысканий с целью определения водопроницаемости горных пород к нормам продолжительности откачек, приведенным в таблице, применяется коэффициент 0,5; при этом продолжительность откачек не может, однако, составлять менее 1 смены на каждое понижение.

2. Продолжительность опытных нагнетаний

Удельное водопоглощение пород, *л/мин*	Примерный расход воды на 5-метровый интервал, *л/мин*	Продолжительность нагнетания в 1 интервале при 1 ступени давления, в сменах	Рекомендуемое количество ступеней давления на 1 интервал
Более 25	Более 125	0,25	4—5
25—5	125—25	0,40	4—5
5—1	25—5	0,50	4—5
Менее 1	Менее 5	0,70	4—5

ПРИЛОЖЕНИЕ XV

ФОРМЫ ЖУРНАЛОВ ОТКАЧЕК И УЧЕТНЫХ КАРТОЧЕК

1. Журнал откачки из скважины №_____

Министерство геологии и охраны недр СССР

_____
геологическое управление (трест)

Экспедиция _____

Партия_____

Планшет _____

Квадрат _____

1. Откачка начата_____

2. Откачка закончена_____

3. Продолжительность откачки: а) общая

1-е пон._____ 2-е пон._____ 3-е пон._____

б) при устойчивом режиме

1-е пон._____ 2-е пон._____ 3-е пон._____

4. Статический уровень: а) в центральной скважине_____

б) в наблюдательных скважинах_____

5. Величина понижения: а) в центральной скважине_____

б) в наблюдательных скважинах_____

6. Дебит: при 1-м пон._____ $м^3/час$

» 2-м пон._____ $м^3/час$

» 3-м пон._____ $м^3/час$

7. Удельный дебит:

при 1-м пон._____ $м^3/час$

» 2-м пон._____ $м^3/час$

» 3-м пон._____ $м^3/час$

8. Водовмещающая порода и ее возраст_____

_____

9. Глубина кровли водоносного горизонта_____ *м*

10. Глубина подошвы водоносного горизонта_____ *м*

11. Мощность водоносного горизонта_____ *м*

Схема расположения скважин и геологический разрез

Продолжение приложения XV

Сведения об опытной скважине в момент откачки

1. Общая глубина скважины — *м*
2. Абс. отметка устья скв. — *м*
3. Глубина залегания статического уровня воды — *м*
4. Глубина погружения башмака — *м*
5. Внутренний диаметр последней колонны труб — *мм*
6. Глубина погружения нижней (рабочей) части фильтра — *м*
7. Длина фильтра (рабочая) — *м*
8. Длина отстойника — *м*
9. Диаметр фильтра: а) наружный — *мм*, б) внутренний — *мм*
10. Род сальника
11. Длина сальника (по трубе фильтра) — *м*
12. Способ замера динамического уровня воды
13. Описание конструкции фильтра

Характеристика водоподъемного сооружения

Описание механизма для откачки (мотор, двигатель, качалка)	Насос
	1. Система насоса 2. Внутренний диаметр цилиндра — *мм* 3. Длина хода поршня — *мм* 4. Число качаний в минуту 5. Внутренний диаметр всасывающей трубы — *мм* 6. Длина всасывающей трубы — *м* 7. Диаметр водоподъемной трубы — *мм* 8. Нормальная производительность (литров воды в 1 мин.)

Ход откачки

Дата	Время, часы, мин.	Глубина погружения приемного клапана от устья скважины, *м*	Емкость сосуда при измерении дебита воды, *м³*	Время наполнения измерительного сосуда, час, мин., сек.	Дебит, *м³/час*	Температура воды, °С	Уровень воды в скважинах								Примечание
							в центральной			в наблюдательных					
							статический	динамический	понижение от статического уровня, *м*	№ скважин					

Восстановление уровня воды после откачки

№ п/п	Время (дата, часы, мин.)	Уровень в центральной скважине, *м*	Уровень в наблюдательных скважинах, *м*					Примечание
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	

Откачку производил
Проверил

Продолжение приложения XV

2. Журнал откачки воды из одиночного колодца №_____

Министерство геологии и охраны недр СССР

_____
геологическое управление (трест)

Экспедиция _____

Партия _____

Планшет _____

Квадрат _____

1. Местонахождение _____
2. Дата откачки «____» _____ 195__ г.
3. Способ откачки _____
4. Объем мерного сосуда, *л* _____
5. Уровень воды до откачки _____
6. Высота столба воды до откачки _____
7. Сечение колодца _____
8. Водовмещающая порода и ее возраст _____
9. Результат откачки _____

Понижения от статического уровня, *м*	Продолжительность откачки		Средний расход		Температура, °С		№ пробы воды	Примечание
	общая	при устойчивом режиме	*л/сек*	*м/час*	воды	воздуха		
1								
2								

10. Ход откачки:

Время замера, часы, мин.	Понижение от статического уровня, *м*	Время наполнения сосуда, сек.	Наблюдаемый расход при данном понижении, *л/сек*	Примечание

Восстановление уровня воды после откачки:

Время замера	Уровень воды, *м*	Время замера	Уровень воды, *м*	Время замера	Уровень воды, *м*	Время замера	Уровень воды, *м*

Откачку провел

Проверил

Продолжение приложения XV

3. Учетная карточка буровой скважины №_____

Министерство геологии и охраны недр СССР

_____
геологическое управление (трест)

Экспедиция _____

Партия _____

1. Местоположение (адм. пункт и положение в рельефе) _____
2. Номенклатура и масштаб, № планшета _____
3. В чьем пользовании находится _____
4. Дата бурения _____
5. Для каких целей пробурена _____
6. Абсолютная высота устья, *м* _____
7. Общая глубина, *м* _____
8. Источник сведений _____
9. Конструкция скважины:
   а) начальный диаметр обсадных труб _____ *мм*
   глубина обсадки _____
   б) конечный диаметр обсадных труб _____ *мм*
   глубина обсадки _____
   в) диаметр фильтра _____ *мм*
   г) длина рабочей части фильтра _____ *м*
   д) глубина погружения верхней части фильтра _____ *м*
10. № химического анализа воды по таблице _____
11. Дата заполнения карточки _____
12. Геологические и гидрогеологические данные по скважине _____

№ слоя	Мощность слоя, *м*	Геологический возраст	Краткое литологическое описание пород	Глубина залегания кровли водоносного горизонта и напор, *м*	Мощность водоносного горизонта, *м*	Глубина залегания уровня воды, *м*	Статический уровень перед откачкой, *м*	Понижение, *м*	Дебит скважины, *м³/час*	Примечание

Продолжение приложения XV

4. Учетная карточка шурфа, колодца (подчеркнуть) №_____

Министерство геологии и охраны недр СССР

_____
геологическое управление (трест)

Экспедиция _____

Партия _____

1. Населенный пункт _____
2. Географические координаты и лист международной разграфки _____
3. Местоположение в (рельефе) _____
4. Абс. отметка устья _____
5. Глубина _____ поперечное сечение _____
   крепление _____
6. Время заложения и ликвидации, для какой цели и название организации _____
7. Сведения о дебите, *л/сек* _____
8. Кем описаны образцы и где хранится подлинник разреза _____
9. Дополнительные сведения _____
10. Геологический разрез:

№ слоев	Описание пород	Геологический возраст (индекс)	Глубина залегания слоя, *м*	Глубина залегания водоносного слоя, *м*	Глубина установивш. уровня воды, *м*

11. Качество воды:

№ п/п	Водоносный горизонт и глубина, *м*	Дата взятия пробы	Температура, °С	Сухой остаток, *мг/л*	Жесткость в немецких градусах	Химические компоненты, *мг/л*					

Бактериологический анализ _____

Дата заполнения карточки «____» _____ 195__ г.

Подпись _____
(должность, фамилия)

5. Карточка химического состава подземных вод

№ _____

Тип водопункта	Номенклатура планшета	Широта	Адрес	№ на карте
		Долгота		

Сведения о водоносном горизонте

Абс. высота устья, м	Глубина водопункта, м	Возраст пород	Литология	Глубина залегания, м

Статический уровень		Дебит, л/сек.		Температура воды	
глубина, м	абс. отм.	при самоизливе	при понижении _____ м	на устье	на глубине _____ м

Температура воздуха	Глубина отбора пробы воды, м	Пластовое давление		Дата опробования
		способ замера	атм	

Лаборатория, производившая анализ воды, № и дата	№ карточки анализа газа

Конструкция скважины:

Название водопункта

Прочие сведения

Литературные источники

	Мг/л	Мг-экв	% экв		
$K^{\cdot}$				BO_2 окисл.	
$Na^{\cdot}$				pH	
$NH^{\cdot}$					
$Mg^{\cdot\cdot}$				Жестк./общ.	
$Ca^{\cdot\cdot}$				Жестк. устр.	
$Fe^{\cdot\cdot}$				Жестк. пост.	
$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$				Нафт. к-ты	
				CO_2 свобод.	
Сумма NO_3'			100%	CO_2 агрессивн.	
				O_2	
NO_2'				H_2S	
Cl'					
Br'				Физические свойства	
J'				Цвет	
F'				Запах	
HBO_2'				Прозрачность	
SO_4''				Осадок	
HCO_3'				Вкус	
CO_3''					
HS'				Примечания	
Сумма H_2SiO_3			100%		
Fe_2O_3					
Al_2O_3					
Сумма минеральных веществ					
Сухой остаток					
Удельный вес				Подпись и дата сост. карточки	

Продолжение приложения XV

Микрокомпоненты	
	мг/л
Mn	
Ni	
Co	
Mo	
Zr	
Cu	
Pb	
Ag	
Sb	
As	
Zn	
Cd	
Ti	
Ga	
Gd	
Sr	
Li	
Ba	

Характерные коэффициенты						
$\frac{rNa}{rCl}$	$\frac{rCl-Na}{rMg}$	$\frac{rNa-Cl}{rSO_4}$	$\frac{rCa}{rMg}$	$\frac{rSO_4}{rCl}$	$\frac{Cl}{Br}$	$\frac{J}{Br}$

Формула Курлова

Тип воды:

По преобладающ. компонентам

По Сулину

Класс

Радиоактивность

Продолжение приложения XV

6. Карточка

№_____

анализов микробиологического, растворен

ного и свободно выделяющихся газов

Тип водопункта	Номенклатура планшета	Широта	Адрес	№ на карте
		Долгота		

Абсол. высота устья	Глубина водопункта	Сведения о водоносном гориз.			Дебит газа м³/сут.	Температура		Отнош. газ/вода	Давление газа в атм.			Режим
		возраст	литология	глубина		газа	воздуха		на устье	в пласте	*K* насыщения	
				от_____ до_____								

Глубина отбора пробы	Дата опробования	Лаборатория, производившая анализ газа, № и дата	Лаборатория, производившая микробиолог. анализ	№ карточки химического анализа воды

Прочие сведения	Литературные источники

Микробиологи

ческий анализ

Физиологические

группы бактерий

Восстанавливающие сульфаты			Восстанавливающие нитраты					разлагающ. белки		разлагающие углеводороды			разлагающие клетчатку			примечание
рост в накопительной среде	тр	морфология	смещение pH	наличие газа в культуре	NO_2	N_2	титр	N_2S	NH_3	м/о	п/о	г/о				

Другие физиологические

группы бактерий

содержание бактерий в_____ (прямой счет)	М/о метаноокисляющие п/о пропаноокисляющие г/о бактерии развив. в атмосфере гептана

Анализ раство

t° воды во время извлечения газа_____объем воды в лит._____

	CO_2	H_2S	O_2	H_2	CH_4	Тяжел. углеводороды	N_2 и редк.	Редк. газы: Ar, Kr Xe	Редк. газы: He, Ne
Состав 1-ой фракции раствор. газа в %									
Тоже после удаления воздуха									
Кол-во газа 1-ой фракции в см³									
К раств.									
Кол-во газа в 1 см³ на 1 л. воды									
Тоже после удаления воздуха									
Упругость газа в атм.									
Состав газа в % объемных									

Анализ свободно выде

	O_2	$CO_2 + H_2S$	H_2	CH_4	Тяжел. углеводороды	H_2S	$N_2 +$ Р. Г.	Ar, Kr Xe	He, Ne
Анализ газа в %									
Тоже после удаления воздуха									
Общее колич. газа в см³/л.									
Тоже привед. к t = 0° C									
Общая упруг. газа в пластов. условиях									
Общий состав газа в объемн. %									
Общий состав газа в весовых %									

Продолжение приложения XV

ренного газа

объем газовой фазы в лит._____ объем газа в лит._____

Колич. газа см³	Упруг. газа атм.	$\frac{Ar \cdot 100}{N_{21}}$	% биог. N_2	$\frac{He}{Ar}$	Возраст в млн. лет	Упр. N: 0,79	Упр. Ar: 0,00932	0,932 Ar газа	Примечание

ляющегося газа

$\frac{Ar \cdot 100}{N_2}$	$\frac{He}{Ar}$	Возр. млн. лет	% биоген. N_2	Колич. газа в 1 л. воды	Упруг. газа атм.	C_2H_6	C_2H_8	C_4H_{19}	Примечание

Подпись Дата

Продолжение приложения XV

7. Учетная карточка родника №_____

Министерство геологии и охраны недр СССР

_____
геологическое управление (трест)

Экспедиция _____

Партия _____

1. Название родника и местоположение (адм. пункт и положение в рельефе) _____

2. Географические координаты и лист международной разграфки _____

3. Отметка места выхода _____

4. Краткая географическая характеристика места выхода _____

5. Краткая гидрогеологическая характеристика и тип источника _____

6. Дебит родника и пределы его колебания, *л/сек* _____

7. Описание каптажа и санитарное состояние _____

8. Качество воды:

Дата взятия пробы	Температура, °С	Сухой остаток, *мг/л*	Жесткость в немецких градусах		Химические компоненты									
			общ.	устр.										

Бактериологический анализ _____

9. Цель и время использования родника _____

10. Откуда взяты сведения _____

11. Дополнительные сведения _____

Дата заполнения карточки «____» _____ 195____ г.

Подпись _____
(должность, фамилия)

8. Журнал документации отбора проб воды и газа

Интервал испытания, *м*	Растворенный газ										Свободный газ						Вода				
	№ проб	Глубина и способ отбора пробы	Дата отбора пробы	Объем жидкой фазы	Объем газовой фазы	Объем пробы, *л (бут)*	Температура			Дата отправления и наименование лаборатории	№ проб	Глубина и способ отбора пробы	Дата отбора пробы	Объем пробы, *л (бут)*	Температура газа, °С	Дата отправления и наименование лаборатории	№ проб	Дата отбора пробы	Объем пробы, *л (бут)*	Температура воды, °С	Дата отправления и наименование лаборатории
							воды до отбора пробы, °С	воды во время отбора пробы газа, °С	воздуха, °С												

ПРИЛОЖЕНИЕ XVI

НОРМЫ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ (*мг/л*) ДЛЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И СРЕДНЕЙ АЗИИ
(по П. Е. Граждан)

Характеристика воды	Сухой остаток, *мг/л*	$Na^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$ $Mg^{\cdot\cdot}$	Cl'	SO_4''	Общая жесткость (в немецких градусах)
Северный Кавказ:						
Хорошая	500—1000	—	— —	80—200	180—480	20—30
Удовлетворительная	1000—2000	—	— —	200—300	480—720	30—40
Допустимая	2000—2500	—	— —	300—400	720—960	40—50
Предел	2500—3000	—	— —	400—500	960—1200	50—60
Средняя Азия:						
Хорошая	1500	400	150 75	600	600	30
Удовлетворительная	2000	500	250 125	700	800	45
Допустимая	2500	700	300 135	800	900	60
Предел	3000	800	350 150	900	1000	80

ПРИЛОЖЕНИЕ XVII

СПЕЦИФИКАЦИЯ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1. Спецификация комплектов оборудования и инструмента для геологоразведочного бурения на глубины[1] 300, 500, 750 и 1000 *м*

№ п/п	Наименование	Размер, *мм*	Единица измерения	Комплект для бурения на глубину до (*м*)			
				300	500	750	1000
	Буровые станки с принадлежностями:						
1	КА-2М-300		шт.	1	—	—	—
2	КАМ-500		»	—	1	—	—
3	СБ-1-900 или ЗИФ-1200		»	—	—	1	1
	Насосы приводные с принадлежностями:						
4	100/30		»	1	—	—	—
5	200/30		»	—	1	—	—
6	200/40		»	—	—	1	2
7	Двигатели дизели 20 *л. с.* (или нефтяной 22 *л. с.*)		»	1	—	1	—
8	40 *л. с.*		»	—	1	1	2
9	Трансмиссия		»	—	—	1	1
10	Обсадные трубы:						
11	муфтовые	273×257	*м*	—	—	—	6
12	»	219×203	»	—	—	6	—
13	»	168×154	»	—	6	—	250
14	ниппельные	146×137	»	—	—	—	—
15	»	127×119	»	3	—	250	—
16	»	108×99,5	»	—	250	—	—
17	»	89×81	»	20	—	—	—
18	»	73×65,5	»	300	—	750	—
19	Принадлежности для обсадных труб:						
20	Ниппели	127×118	шт.	—	—	90	—
21	то же	108×99,5	»	—	90	—	—
22	то же	89×81	»	7	—	—	—
23	Башмаки для обсадных труб	168×154	»	—	—	—	1
24	то же	127×119	»	—	—	1	—
25	» »	108×99,5	»	—	1	—	—
26	» »	89×81	»	1	—	—	—
27	» »	73×65,5	»	1	—	1	—
28	Хомуты железные для обсадных труб[2]	279×257	пара	—	—	—	1
29	то же	219×203	»	—	—	1	—
30	» »	168×154	»	—	1	—	2
31	» »	127×119	»	1	—	2	—
32	» »	108×99,5	»	—	2	—	—

[1] Все спецификации даются ориентировочно, поэтому в каждом случае должны быть уточнены в зависимости от геологического разреза и назначения скважины.

[2] Хомуты применяются при отсутствии лафетного хомута.

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер, *мм*	Единица измерения	Комплект для бурения на глубину до (*м*)			
				300	500	750	1000
33	Хомуты железные для обсадных труб	89×81	пара	2	—	—	—
34	то же	83×77	»	—	2	—	2
35	» »	73×65,5	»	2	—	2	—
36	Лафетный хомут для обсадных труб	127×119 108×99,5 89×81	»	—	—	1	1
37	Переводник с обсадной трубы на штангу	146×50	»	—	1	—	—
38	то же	127×50	»	—	—	1	—
39	» »	108×63,5	»	—	—	—	—
40	» »	108×50	»	—	—	—	—
41	» »	89×42	»	1	—	—	—
42	» »	89×50	»	—	—	1	—
43	» »	73×63,5	»	—	—	—	1
44	» »	73×50	»	—	1	—	—
45	» »	73×42	»	1	—	—	—
46	» »	57×42	»	—	—	—	2
47	Штанги	42	*м*	330	—	—	1100
48	ниппели к ним правой резьбы [1]	42	шт.	115	—	—	375
49	Штанги	50	*м*	—	550	800	1100
50	ниппели к ним правой резьбы [2]	50	шт.	—	185	270	380
51	Штанги и ниппели замковые правой резьбы [3]	63,5	*м*	—	—	250	800
52	квадратные	62×52×4000	шт.	—	—	—	2
53	то же	62×62×2000	»	—	—	—	4
54	» »	55×55×4000	»	—	2	2	—
55	Утяжеленный низ	По расчету					
56	Переводники с утяжеленного низа на штанги	50	шт.	—	2	4	4
57	то же	63,5	»	—	—	2	2
58	» на колонковую трубу	146	»	—	—	—	2
59	то же	129	»	—	2	2	2
60	» »	108	»	—	2	2	2
61	» »	89	»	—	2	2	2
62	» »	73	»	—	2	2	2
	Принадлежности для штанг:						
63	вертлюг	42	»	2	—	—	—
64	»	50	»	—	2	2	2
65	элеватор	50	»	—	—	2	2
66	»	63,5	»	—	—	3	3
67	сальник	42	»	2	—	—	—
68	»	50	»	—	2	2	—
69	вертлюг 3-*т*	50	»	—	1	1	1
70	то же, 8-*т*	63,5	»	—	—	1	1
71	ключи для сальника	42	»	2	—	—	—
72	ключи для вертлюга		комплект		—	2	2

[1] Размер штанг 42 включен условно.
[2] Тип соединений штанг на глубину свыше 500 *м* рекомендуется замковый.
[3] Замки применяются только в соединениях свечей.

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер, *мм*	Единица измерения	Комплект для бурения на глубину до (*м*)			
				300	500	750	1000
73	штангодержатель с двумя запасными плашками (секторами)	42	шт.	1	—	—	1
74	то же	50	»	—	1	—	—
75	вилка подкладная для штанг	50	»	—	1	1	2
76	ключи шарнирные для штанг	42	»	2	—	—	2
77	то же	50	»	—	2	2	2
78	» »	63,5	»	—	—	2	2
79	Хомуты шарнирные	50	»	—	—	—	2
80	то же	42	»	2	—	—	2
81	переводники с одного размера на другой	63,5×50	»	—	—	2	2
82	то же	50×42	»	2	2	2	2
83	блок 5-роликовый с крюком	10 *т*	»	—	—	1	1
84	3-роликовый	6 *т*	»	—	1	—	—
85	2-роликовый	4 *т*	»	1	1	1	1
86	крюк вертлюжный	10 *т*	»	—	—	1	1
87	то же	6 *т*	»	—	1	1	—
88	то же	3 *т*	»	1	—	—	—
89	зажимы для троса	15,5 *мм*	»	4	4	—	—
90	то же	18,5 *мм*	»	—	—	6	6
91	коуши для троса	15,5 *мм*	»	2	4	—	—
92	то же	18,5 *мм*	»	—	—	6	6
93	серьга подъемника	10 *т*	»	—	—	2	2
94	то же	6 *т*	»	—	2	—	—
95	то же	3 *т*	»	2	—	—	—
96	ключи цепные	№ 12	»	—	2	2	2
97	то же	№ 14	»	—	—	2	2
	Колонковые наборы:						
98	трубы колонковые	146×3000	»	—	—	—	2
99	то же	146×1500	»	—	—	—	2
100	» »	129×3000	»	—	2	3	2
101	» »	129×1500	»	—	1	1	2
102	» »	108×3000	»	2	4	5	2
103	» »	108×1500	»	1	1	1	2
104	» »	89×3000	»	3	4	8	—
105	» »	89×1500	»	1	1	1	—
106	» »	73×3000	»	4	4	6	—
107	» »	73×1500	»	1	1	1	—
108	» »	57×3000	»	1	1	—	6
109	Трубы шламовые	146×1000	»	—	—	—	4
110	то же	129×1000	»	—	4	4	4
111	» »	108×1000	»	—	4	4	1
112	» »	89×1000	»	2	6	6	—
113	» »	73×1000	»	2	3	4	4
114	Переводники с утяжеленного низа на колонковую	129	»	—	—	4	5
115	то же	108	»	—	4	4	5
116	» »	89	»	—	5	5	—
117	Двойные колонковые трубы	146×3000	»	—	—	—	1
118	то же	127×3000	»	—	—	1	1
119	» »	108×3000	»	—	1	2	2

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер, *мм*	Единица измерения	Комплект для бурения на глубину до (*м*)			
				300	500	750	1000
120	Двойные колонковые трубы	89×3000	шт.	1	2	2	—
121	Переводник с колонковых труб на штанги	146×63,5	»	—	—	—	1
122	То же	146×50	»	—	—	—	1
123	» »	129×50	»	—	—	2	2
124	» »	108×50	»	—	2	2	2
125	» »	89×50	»	—	2	2	—
126	» »	73×50	»	2	2	2	2
127	» »	89×42	»	2	—	—	—
128	» »	73×42	»	2	—	—	—
129	» »	57×42	»	—	—	—	2
130	Переводник тройной с колонковых труб на штанги	146×63,5	»	—	—	—	1
131	То же	142×50	»	—	—	—	1
132	» »	129×50	»	—	2	2	2
133	» »	108×50	»	—	2	2	2
134	» »	89×50	»	—	2	2	—
135	» »	73×50	»	—	2	2	2
136	» »	89×42	»	2	—	—	—
137	» »	73×42	»	2	—	—	—
138	Ниппели для соединения колонковых труб	146 *мм*	»	—	—	—	3
139	То же	129 »	»	—	2	3	3
140	» »	108 »	»	—	3	3	4
141	» »	89 »	»	2	3	3	—
142	» »	73 »	»	2	3	3	4
143	» »	57 »	»	—	—	—	4
144	Ключи шарнирные для труб	129—108	»	2	3	3	3
145	То же	89	»	2	3	3	3
146	» »	73	»	2	3	3	3
	Режущий инструмент:						
147	Короночные кольца . . .	150	»	—	—	5	5
148	То же	130	»	—	—	25	20
149	» »	110	»	14	4	12	40
150	» »	91	»	14	25	15	—
151	» »	75	»	10	25	15	—
152	» »	58,5	»	—	25	15	—
153	» »	41,5	»	5	5	—	10
154	Долото РХ под резьбу колонковых труб	190×146	»	—	—	—	2
155	То же	130×108	»	2	2	2	2
156	» »	108×89	»	2	2	2	—
157	Коронки дробовые [1] . . .	150	»	—	—	—	4
158	То же	130	»	—	4	6	8
159	» »	110	»	3	5	8	10
160	» »	91	»	6	10	10	—
161	» »	75	»	6	10	10	20

[1] Долота РХ, а также дробовые коронки и дробопитатель включены условно и в некоторых случаях могут быть заменены полностью или частично трехшарошечными долотами соответственного размера (см. ниже).

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер, мм	Единица измерения	Комплект для бурения на глубину до (м)			
				300	500	750	1000
162	Колодки для коронок . .	150	шт.	—	—	—	1
163	То же	130	»	—	1	1	1
164	» »	110	»	1	1	1	—
165	» »	91	»	1	1	—	1
166	» »	75	»	1	1	1	1
167	Коронки к двойным колонковым трубам	150	»	—	—	—	4
168	То же	130	»	—	4	4	4
169	» »	110	»	—	2	4	4
170	» »	91	»	2	4	4	—
171	» »	75	»	2	4	—	4
172	Долота трехшарошечные	$7^3/_4''$	»	—	—	2	2
173	То же	$5^3/_4''$	»	—	2	2	2
174	» »	$4^3/_4''$	»	2	—	2	2
175	» »	$3^3/_4''$	»	—	2	2	2
	Прочее оборудование:						
176	Дробопитатель		»	1	1	1	1
177	Шприц для промывки . .		»	1	1	1	1
178	Центратор		»	1	1	1	1
179	Комплект чеканок для коронок		комплект	1	1	1	1
180	Круги карборундовые «Экстра»		шт.	1	1	2	2
	Ловильный инструмент:						
181	Метчик ловильный для труб, правый	146	»	—	—	—	1
182	То же	129	»	—	1	2	2
183	» »	108	»	1	1	2	2
184	» »	89	»	1	1	2	—
185	» »	73	»	1	2	2	2
186	Метчик ловильный для штанг, правый	63,5	»	—	—	2	2
187	То же	50	»	—	2	2	4
188	» »	42	»	2	—	—	—
189	Колокол ловильный для штанг, правый	63,5	»	—	—	1	1
190	То же	50	»	—	1	1	2
191	» »	42	»	1	—	—	—
192	Пробка ударная для штанг	50	»	—	2	2	2
193	То же	42	»	2	—	—	—
194	Баба ударная (колотушка)	—	»	1	1	1	1
195	Шлипс для штанг . . .	60,3	»	—	—	1	1
	Специальный ловильный инструмент:	На 5 буровых агрегатах 1 комплект					
196	Труболовка Карягина . .	129	шт.	—	—	—	1
197	То же	108	»	—	—	1	—
198	» »	89	»	—	1	—	—
199	» »	73	»	—	1	—	1

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер, *мм*	Единица измерения	Комплект для бурения на глубину до (*м*)			
				300	500	750	1000
200	Штанги ловильные левые	50	*м*	300	500	750	1000
201	То же [1]	42	»	300	—	—	—
202	Метчики ловильные левые	50	шт.	—	2	3	3
203	То же	42	»	2	—	—	2
204	» »	50×172	»	—	—	—	1
205	» »	50×129	»	—	—	1	—
206	» »	50×108	»	—	1	—	1
207	» »	50×89	»	—	—	1	—
208	» »	50×73	»	—	—	1	—
209	» »	42×89	»	1	—	—	—
210	Метчики ловильные левые	42×73		1	—	—	—
211	Колокола левые ловильные	60	»	—	—	—	2
212	То же	50	»	—	2	2	2
213	» »	42	»	2	—	—	—
214	Домкрат двухвинтовой (или гидравлический) . . .	40 *т*	»	—	1	1	2
215	Домкрат винтовой . . .	20 *т*	»	1	—	—	—
216	Трубореэ гидравлический с запасными резцами . . .	145	»	—	—	—	1
217	То же	127	»	—	—	1	—
218	» »	108	»	—	1	—	1
219	» »	89	»	—	—	1	—
220	» »	73	»	1	—	1	—
221	Переводники с правой резьбы на левую	50×50	»	—	1	1	1
222	То же	42×42	»	1	—	—	—
223	Фрезы конические . . .	91	»	—	1	1	1
224	То же	75	»	1	1	1	1
	Аппаратура для контроля качества глинистого раствора						
225	Ареометр Михайлова (или весы Линевского) [2]		»	2	2	3	4
226	Вискозиметр СПВ-5 с кружкой и сеткой	—	»	1	1	2	2
227	Мензурка Лысенко . . .	—	»	2	2	3	3
228	Отстойные мерные стаканы	—	»	2	2	4	4
229	Прибор для определения коэффициента фильтрации (включая насос Комовского, ртутный манометр, трехходовой кран, воронки Бюхнера, мензурку на 10 *см*³ и коническую колбу с резиновой пробкой и каучуковыми трубками)	—	комплект	1	1	1	1

[1] В комплекте с левыми ниппелями.

[2] Весы Линевского по 1 шт. на комплект бурового инструмента.

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер, *мм*	Единица измерения	Комплект для бурения на глубину до (*м*)			
				300	500	750	1000
	Приборы и материалы для проверки, а также для испытания скважин:						
230	Патрон для измерения кривизны с плавиковой кислотой	50	шт.	—	3	5	5
231	То же	42	»	3	—	—	—
232	Стаканчики стеклянные с резиновыми пробками . .		»	—	30	40	50
233	Трос стальной	6	*м*	360	550	800	1050
234	Лебедки ручные для троса	6	шт.	1	1	1	1
235	Свабы для труб	60	»	—	2	2	2
236	Трубы насосно-компрессорные	60,3	*м*	—	500	750	750
237	Тросс для свабирования	12,5	»	—	300	300	800
238	Головка для заливки цемента	127	»	—	—	1	—
239	То же	108	»	—	1	—	1
240	Пакер	108	»	—	1	—	1
241	То же	89	шт.	—	1	1	1
	Оборудование и материалы для приготовления глинистого раствора:						
242	Глиномешалка одновальная	0,5 *м*³	»	1	1	1	1
243	Глиномешалка двухвальная	0,75 »	»	—	1	1	1
244	Ремень	50	*м*	8	8	—	—
245	То же	75	»	—	—	12	12
246	Химические реагенты . .	По расчету в зависимости от геологических условий					
	Оборудование для освещения буровой:						
247	Осветительный агрегат 0,5—1,5 *кв* постоянного тока, состоящий из динамо 110 *в*, реостата, распределительного щита, амперметра, вольтметра, рубильников, предохранительных пробок, патронов безопасных и выключателей на 6—10 точек и двух аккумуляторов в 6 *в*	—	комплект	1	1	1	1
	Спецификация основных технических материалов:						
248	Трос	12,5	*м*	80	—	—	—
249	То же	12,5	»	—	100	120	—
250	» »	19,5	»	—	—	—	160
251	Ремень	200	»	—	—	—	24
252	То же	150	»	—	—	24	—
253	» »	125	»	—	24	—	—
254	» »	100	»	18	12	24	24
255	Рукав всасывающий . .	65	»	4	4	8	8
256	Рукав нагнетательный .	38	»	9	12	12	18
257	Храпок с сеткой	—	шт.	1	1	2	2

Продолжение приложения XVII

2. Спецификация оборудования для бурового ударно-канатного станка УА-75-III

№ п/п	Наименование	Размер	Единица измерения	Число на комплект	Вес, *кг*	
					единицы	общий
1	Буровой станок УА-75 на колесном ходу с мачтой высотой 8,5 *м*	—	шт.	1	2300	2300
2	Двигатель нефтяной 15 (или 22) *л. с.*	—	»	1	1000	1000
	Трубы обсадные:					
3	Трубы обсадные	325/304 *мм*	*м*	6	77,7	466,2
4	То же	273/255 »	»	40	58,6	2344,0
5	» »	219/203 »	»	80	41,8	3344,0
6	» »	168/153 »	»	125	29,7	3712,5
	Принадлежности к трубам:					
7	Башмаки забивные к трубам ⌀ 325/304 *мм* . .	—	шт.	1	24,0	24,0
8	То же ⌀ 273/255 *мм* . .	—	»	1	21,0	21,0
9	» » 219/203 *мм* . .	—	»	1	15,6	15,6
10	» » 168/153 *мм* . .	—	»	1	11,0	11,0
11	Хомуты железные к трубам ⌀ 325/304 *мм*	—	»	1	55,0	55,0
12	То же ⌀ 273/255 *мм* . .	—	»	2	43,0	86,0
13	» » 219/203 » . .	—	»	2	32,0	64,0
14	» » 168/153 » . .	—	»	2	17,0	34,0
15	Головки забивные к трубам ⌀ 273/255 *мм*	—	»	1	67,0	67,0
16	То же ⌀ 219/203 *мм* . .	—	»	1	46,0	46,0
17	» » 168/153 » . .	—	»	1	19,0	19,0
18	Бабы ударные	127 *мм*	»	1	251,0	251,0
19	» »	102 »	»	1	153,0	153,0
20	» »	83 »	»	1	84,5	84,5
21	Ключи цепные к трубам ⌀ 273, 219, 168 *мм*		»	1	25,0	25,0
	Штанги ударные и принадлежности к ним:					
22	Штанги ударные переходн.	180×160×700	»	1	100,0	100,0
23	То же	160×1100 *мм*	»	1	135,0	135,0
24	Штанги ударные	130×2200 »	»	1	230,0	230,0
25	» »	110×3000 »	»	1	215,0	215,0
26	» »	110×1500 »	»	1	110,0	110,0
27	Ключи инструментальные с зевом	140 *мм*	»	1	70,0	70,0
28	То же	127 »	»	2	55,0	110,0
29	» »	102 »	»	2	35,0	70,0
30	» »	83 »	»	2	30,0	60,0
31	Ключи цепные для ударных штанг	—	»	1	20,0	20,0
32	Яссы (ножницы) рабочие с ходом 200 *мм* в трубах ⌀ 325 и 273 *мм*	160 *мм*	»	2	220,0	440,0
33	Яссы рабочие с ходом 200 *мм* в трубах ⌀ 219 *мм*	130 »	»	2	155,0	310,0
34	Яссы рабочие с ходом 200 *мм* в трубах ⌀ 168 *мм*	110 »	»	2	92,0	184,0

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер	Единица измерения	Число на комплект	Вес, *кг*	
					единицы	общий
35	Канатный замок для каната ⌀ 19—22 *мм* и для труб ⌀ 325 и 273 *мм* . .	160 *мм*	шт.	1	57,0	57,0
36	То же для каната ⌀ 19—22 *мм* и для труб ⌀ 168 *мм*	110 »	»	2	25,0	50,0
	Принадлежности для подъема:					
37	Кронблок	—	»	1	—	—
38	Блок талевый	—	»	1	—	—
39	Крюк вертлюжный грузоподъемностью 3 *т*	—	»	1	12,0	12,0
40	То же грузоподъемностью 10 *т*	—	»	1	80,0	80,0
41	Коуши для стального троса ⌀ 19 *мм*	—	»	2	0,05	0,1
42	То же ⌀ 12 *мм*	—	»	2	0,05	0,1
43	Зажимы для троса ⌀ 19 *мм*	—	»	4	0,01	0,4
44	То же ⌀ 12 *мм*	—	»	4	0,01	0,4
	Инструмент рабочий:					
45	Долото для забуривания	360 *мм*	»	1	300,0	300,0
46	Долото для твердых пород	298 »	»	1	375,0	375,0
47	То же	248 »	»	2	269,0	538,0
48	» »	198 »	»	2	158,0	316,0
49	» »	148 »	»	2	88,5	177,0
50	Долото для мягких пород	298 »	»	1	215,0	215,0
51	То же	248 »	»	1	167,0	167,0
52	» »	198 »	»	2	95,0	190,0
53	» »	148 »	»	2	56,0	112,0
54	Желонка с плоским клапаном	273 »	»	1	184,0	184,0
55	То же	219 »	»	2	165,4	330,8
56	» »	168 »	»	2	104,0	208,0
57	» »	127 »	»	2	70,6	141,2
58	Башмак запасной к желонке	273 »	»	2	12,5	25,0
59	То же	219 »	»	2	8,5	17,0
60	» »	168 »	»	2	5 0	10,0
61	» »	127 »	»	2	2,5	5,0
	Аварийный инструмент:					
62	Ерш однорогий в трубы ⌀ 168 и 219 *мм*	—	»	1	23,0	23,0
63	То же ⌀ 272 *мм* и более	—	»	1	65,5	65,5
64	Ерш вилкообразный в трубы ⌀ 168 и 219 *мм* . .	—	»	1	27,0	27,0
65	Овершот для ловли штанг в трубах ⌀ 168 *мм*	—	»	1	34,5	34,5
66	Шлипс для ловли канатного замка в трубах ⌀ 273 *мм* и более	—	»	1	118,0	118,0
67	Ерш вилкообразный в трубы ⌀ 273 *мм* и более .	—	»	1	118,0	118,0

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование	Размер	Единица измерения	Число на комплект	Вес, *кг*	
					единицы	общий
70	Шлипс для ловли канатного замка в трубах ⌀ 168 и 219 *мм*	—	шт.	1	70,0	70,0
71	Канаторезка с ножницами для стального каната ⌀ до 25 *мм*	—	»	1	48,0	48,0
72	Отбойник в трубы ⌀ 168 *мм* и более	—	»	1	85,0	85,0
73	Домкраты винтовые (бутылочные) грузоподъемностью 15 *т*	—	»	2	87,5	175,0

3. Спецификация комплекта бурового оборудования и инструмента диаметром 8″ (219/205 *мм*) для ручного ударно-вращательного бурения скважин

№ п/п	Наименование оборудования и инструмента	Размер	Единица измерения	Число на 1 комплект	Вес, *кг*	
					единицы	общий
	Трубы и штанги:					
1	Трубы обсадные с муфтой	219/205 *мм*	*м*	25	37,0	925,0
2	То же	168/155 »	»	45	28,5	1282,5
3	Штанги трубчатые . . .	48 *мм*	»	55	6,41	352,55
	Принадлежности к обсадным трубам:					
4	Башмак фрезерный для труб ⌀ 219/205 *мм* . . .	—	шт.	1	12,0	12,0
5	То же ⌀ 168/155 *мм* . .	—	»	2	9,0	18,0
6	Хомуты железные для труб ⌀ 219/205 *мм* . . .	—	»	2	44,5	89,0
7	То же ⌀ 168/155 *мм* . .	—	»	2	34,0	68,0
8	Головки универсальные к трубам ⌀ 219/205 *мм* . .	—	»	1	15,2	15,2
9	То же ⌀ 168/155 *мм* . .	—	»	1	16,2	16,2
10	Муфты запасные к трубам ⌀ 219/205 *мм*	—	»	2	15,0	30,0
11	То же ⌀ 168/155 *мм* . .	—	»	3	6,58	19,74
12	Болты для деревянных хомутов	38×700 *мм*	»	4	11,4	45,6
13	Ключи гаечные для железных хомутов	$1^3/_4$″	»	2	0,45	0,9
	Принадлежности к штангам ⌀ 48 *мм*:					
14	Вертлюг-пробка	—	»	1	5,6	5,6
15	Замки соединительные .	—	»	20	6,4	128,0
16	Хомут шарнирный . . .	—	»	2	10,3	20,6
17	Элеваторы (фарштули) для штанг	—	»	2	12,0	24,0

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование оборудования и инструмента	Размер	Единица измерения	Число на 1 комплект	Вес, *кг*	
					единицы	общий
18	Ключи шарнирные . . .	—	шт.	2	3,9	7,8
19	Ключи (крюки) для замков	—	»	2	6,5	13,0
20	Колодка откидная, запасная к шарнирному хомуту	—	»	1	4,2	4,2
21	Переходник с конуса № 2 на штангу	—	»	1	3,7	3,7
	Штанги ударные и принадлежности к ним:					
22	Штанга ударная	100×2500 *мм*	»	1	175,0	175,0
23	Переходник с ударной штанги на рабочую	100×48 »	»	2	11,0	22,0
24	Переходник с долота на ударную штангу	195×100 »	»	1	36,0	36,0
25	Ключ для ударных штанг ⌀ 100 *мм*	—	»	2	8,5	17,0
26	Рычаг с цепью	—	»	1	20,0	20,0
	Буровые наконечники:					
27	Бур ложковый	245 *мм*	»	1	45,0	45,0
28	То же	190 »	»	1	32,5	32,5
29	Бур спиральный	145 »	»	1	13,0	13,0
30	Долото плоское	195 »	»	1	37,0	37,0
31	То же	147 »	»	1	21,0	21,0
32	Долото двутавровое . .	195 »	»	2	37,0	74,0
33	То же	147 »	»	2	22,5	45,0
34	Желонка с плоским клапаном	168 »	»	1	64,0	64,0
35	Желонка с плоским клапаном	127 »	»	1	45,0	45,0
36	Башмаки для желонок запасные	168 »	»	1	3,1	3,1
37	То же	127 »	»	1	1,8	1,8
	Принадлежности для подъема:					
38	Блок однороликовый грузоподъемностью 2 *т* . . .	300 »	»	2	46,5	93,0
39	Крюк вертлюжный грузоподъемностью 1,5 *т* . .	38×700 *мм*	»	1	4,3	4,3
40	Шкворень с серьгой . .	—	»	1	12,94	12,94
41	Ушко для подвешивания желонки	—	»	1	1,7	1,7
42	Коуши для троса ⌀ 16 *мм*	—	»	2	0,1	0,2
43	Зажимы для троса ⌀ 16 *мм*	—	»	2	0,63	1,26
44	Лебедка копровая грузоподъемностью 1,5 *т* . . .	—	»	1	398,0	398,0
	Ловильный инструмент для штанг ⌀ 48 *мм*:					
45	Колокол ловильный с воронкой	—	»	1	3,5	3,5
46	Метчик ловильный с воронкой	—	»	1	2,8	2,8
	Вес комплекта . .					4060,7

Продолжение приложения XVII

4. Спецификация комплекта бурового оборудования и инструмента диаметром 6″ (168/155) для ручного ударно-вращательного бурения скважин

№ п/п	Наименование оборудования и инструмента	Размер	Единица измерения	Число на 1 комплект	Вес, *кг*	
					единицы	общий
	Трубы и штанги:					
1	Трубы обсадные	168/155 *мм*	*м*	20,0	28,5	570,0
2	То же	127/115 »	»	45,0	17,9	805,5
3	Штанги трубчатые . . .	42 *мм*	»	55,0	5,08	279,4
	Принадлежности к обсадным трубам:					
4	Башмак фрезерный для труб ∅ 168/155 *мм* . . .	—	шт.	1	9,0	9,0
5	То же ∅ 127/115 *мм* . .	—	»	1	3,8	3,8
6	Хомут железный для труб ∅ 168/155 *мм*	—	»	2	34,0	68,0
7	То же ∅ 127/115 *мм* . .	—	»	2	19,1	38,2
8	Головки универсальные для труб ∅ 168/155 *мм* .	—	»	1	16,2	16,2
9	То же ∅ 127/115 . .	—	»	1	10,0	10,0
10	Муфты запасные для труб ∅ 168/155 *мм* . . .	—	»	2	6,58	13,16
11	То же ∅ 127/115 *мм* .	—	»	2	3,2	6,4
12	Болты для деревянных хомутов	38×600 *мм*	»	2	11,4	22,8
13	То же	32×450 »	»	2	6,5	13,0
14	Ключи гаечные для железных хомутов	$1^3/_4$″	»	2	0,45	0,9
	Принадлежности к штангам ∅ 42 *мм*:					
15	Вертлюг-пробка	—	»	1	3,6	3,6
16	Замки соединительные .	—	»	20	4,2	84,6
17	Хомут шарнирный . . .	—	»	1	7,5	7,5
18	Ключи шарнирные . . .	—	»	2	3,15	6,3
19	Элеваторы (фарштули) для штанг	—	»	2	7,0	14,0
20	Колодка откидная, запасная к шарнирному хомуту	—	»	1	3,24	3,24
21	Переходник с ложкового бура на замок штанги 190×42 *мм*	—	»	1	5,5	5,5
22	Ключи (крюки) для замков	50 *мм*	»	2	4,05	8,1
	Штанги ударные и принадлежности к ним:					
23	Штанга ударная	100×2000 *мм*	»	1	146,0	146,0
24	То же	80×2000 »	»	1	67,0	67,0
25	Переходник с долота на ударную штангу	100×80 »	»	1	14,5	14,5
26	Переходник с ударной штанги на замок штанги .	100×42 »	»	1	11,0	11,0
27	То же	80×42 »	»	1	5,5	5,5
28	Ключи для ударных штанг ∅ 100 *мм*	—	»	2	8,5	17,0
29	То же ∅ 80 *мм*	—	»	2	4,0	8,0
30	Рычаг с цепью	—	»	1	20,0	20,0
	Буровые наконечники:					
31	Бур ложковый	190 *мм*	»	1	32,5	32,5

Продолжение приложения XVII

№ п/п	Наименование оборудования и инструмента	Размер	Единица измерения	Число на 1 комплект	Вес, *кг*	
					единицы	общий
32	Бур ложковый	145 *мм*	шт.	1	21,5	21,5
33	То же	108 »	»	1	17,6	17,6
34	Бур спиральный (змеевик)	145 »	»	2	13,0	26,0
35	То же	108 »	»	2	6,2	12,4
36	Долото плоское	147 »	»	1	21,0	21,0
37	То же	108 »	»	11	11,5	126,5
38	Долото двутавровое . .	147 »	»	2	22,5	45,0
39	То же	108 »	»	2	11,5	23,0
40	Желонка с плоским клапаном	127 »	»	1	45,7	45,7
41	То же	95 »	»	1	30,4	30,4
42	Башмаки для желонки запасные	127 »	»	1	2,5	2,5
43	То же	95 »	»	1	1,2	1,2
	Принадлежности для подъема:					
44	Блок однороликовый грузоподъемностью 2 *т* . . .	300 *мм*	»	2	46,5	93,0
45	Крюк вертлюжный грузоподъемностью 1,5 *т* . . .	—	»	1	4,3	4,3
46	Шкворень с серьгой . .	38×600 *мм*	»	1	12,94	12,94
47	Ушко для подвешивания желонки № 2	—	»	1	1,7	1,7
48	Коуши для троса ⌀ 16 *мм*	—	»	2	0,1	0,2
49	То же ⌀ 12 *мм*	—	»	2	0,04	0,08
50	Зажимы для тросов ⌀ 16 *мм*	—	»	2	0,63	1,26
51	То же ⌀ 12 *мм*	—	»	2	0,26	0,52
52	Лебедка копровая грузоподъемностью 1,5 *т* . . .	—	»	1	398,0	398,0
	Ловильный инструмент для штанг ⌀ 42 *мм*:					
53	Колокол ловильный . .	—	»	1	3,5	3,5
54	Метчик ловильный . . .	—	»	1	2,8	2,8
	Вес комплекта . .	—	—	—	—	2996,2

ПРИЛОЖЕНИЕ XVIII

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ БУРЕНИИ И ОПРОБОВАНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Общие положения

Техника безопасности имеет своей целью обеспечить безопасность при ведении работ. Она предусматривает ряд мероприятий, направленных к созданию такой производственной обстановки, при которой исключаются условия и причины, порождающие травматизм. Благодаря широкому проведению оздоровительных мероприятий во всех отраслях промышленности случаи травматизма имеют резкое снижение. Но, несмотря на огромную работу по ликвидации травматизма, несчастные случаи еще имеют место. На буровых они являются главным образом в результате следующих причин:

а) незнание или невыполнение основных мер безопасной работы на буровой;

б) недостаточная производственная квалификация персонала, обслуживающего механизмы и приспособления;

в) работа с некачественным оборудованием или с перегрузкой для данного оборудования;

г) работа в одежде с длинными полами, широкими рукавами, расстегнутой или порванной;

д) несоблюдение трудовой дисциплины в бригаде.

Контроль за правильным и безопасным ведением работ на буровой и точным соблюдением требований по технике безопасности возлагается на старшего бурового мастера. Старший мастер проводит также повседневный инструктаж по правилам техники безопасности с рабочими своей бригады.

Ответственным лицом за проведение безопасных способов работы на буровой вышке в течение смены является сменный мастер (бурильщик).

На него возлагается:

1) проверка состояния предохранительных ограждений, проверка исправности станка, двигателя, насоса (или компрессора), а также бурового и вспомогательного оборудования;

2) четкое выполнение правил по технике безопасности на буровой;

3) инструктирование рабочих по правилам техники безопасности и наблюдение за выполнением ими этих правил;

4) ответственность за нарушение правил по технике безопасности и происшедшие по этой причине несчастные случаи в пределах своей рабочей смены.

Все рабочие, поступающие на буровые работы, должны пройти медицинское освидетельствование. В случае противопоказаний для данной работы, рабочие приему не подлежат.

Администрация для всех принимаемых рабочих обязана организовать вводный инструктаж по технике безопасности и обучать их методам безопасного ведения работ. Допускать рабочих к работе без инструктажа по технике безопасности воспрещается. При обучении рабочего знакомят с опасностями производимых им работ и мерами предосторожности, устраняющими эти опасности. Знакомят с назначением имеющихся ограждений и предохранительных приспособлений, действующими постановлениями и правилами техники безопасности, а также мерами личной профилактики.

Рабочие, прошедшие обучение, должны подвергаться испытанию, результаты испытаний заносятся в протокол и в книгу регистрации. На руки рабочим выдается удостоверение.

На буровой должны быть вывешены плакаты и предупредительные надписи по технике безопасности. Работа и нахождение на буровой в нетрезвом виде категорически воспрещается. Пол на буровой, полати и лестницы должны содержаться в чистоте и исправности и не должны загромождаться.

Не допускается осмотр, смазка и ремонт подшипников и блоков на вышке (мачте) при работе станка.

При наличии шурфа в устье скважины его необходимо закрывать, чтобы исключить возможность падения людей и инструмента.

Воспрещается посылка рабочих на полати для работы по спуску и подъему в случае их плохого самочувствия.

Не допускается поворачивание шкивов, штурвалов, маховиков, шестерен и т. п. ломами и другими предметами, вставляемыми между спиц, до полной остановки двигателя.

Не допускается работа соединенными усилиями талей и домкратов. Во время хода станка, насоса и двигателя не допускается никакого их ремонта, подтягивания гаек, болтов, чистки и смазки.

Перед пуском двигателя или переводом ремня с рабочего шкива на холостой необходимо убедиться в том, что с приводимыми в движение механизмами или частями (насос, станок, глиномешалка) никто не соприкасается.

После перевода ремня с рабочего шкива на холостой следует обязательно закреплять переводную вилку стопорным болтом.

Воспрещается проход под приводными ремнями или через них, надевание или сбрасывание со шкивов ремней до полной остановки вращения, прижимание ремней руками или какими-либо другими предметами.

Воспрещается работа с недостаточным освещением, на скользком или мокром полу. Пол вышки, полати, лестницы и перила необходимо держать в чистом и сухом состоянии; всякое загрязнение, обледенение и т. п. необходимо немедленно устранять.

Все электроустановки должны быть тщательно заземлены, а провода на вышке хорошо изолированы.

Воспрещается прикосновение руками к электроустановкам.

Основные требования техники безопасности при сборке и разборке вышки

1. Сборка и разборка вышки должна производиться под постоянным и непосредственным наблюдением ответственного лица (старшего мастера, прораба).

2. Воспрещается производство работ по сооружению и ремонту внешней части вышки и по разборке ее при сильном ветре (свыше 5 баллов), во время ливня, при гололедице и в ночное время без достаточного освещения.

3. При сооружении треноги соединение бревен разрешается производить только при помощи специальных болтов (шкворней) с глухой серьгой для подвешивания блока.

4. На среднем бревне треноги должны быть сделаны ступени из брусков сечением 40 × 80 *мм* и длиной 70—80 *мм*, врезанные в ногу и прибитые не менее чем двумя гвоздями. Расстояние между ступенями не должно превышать 400 *мм*.

5. Воспрещается производить набивку ступеней лестницы на поднятой и установленной треноге.

6. Подъем треноги высотой до 9 *м* разрешается производить вручную бригадой, состоящей не менее чем из 4 человек. Перед подъемом должны быть вырыты лунки для бревен треноги глубиной не менее 0,4 *м* с откосом в сторону подъема.

7. Подъем и спуск треног (вышек) высотой более 9 *м* на шкворне надлежит производить при помощи козел, каната и лебедки.

8. Полати вышек и лестницы должны быть ограждены прочными перилами достаточной высоты (не менее 1,20 *м*), причем полати должны настилаться из прочных досок (50 *мм*). Нижняя часть перил зашивается сплошными досками на высоту 18 *см* от пола. Полати должны иметь выход на площадки лестниц.

9. Ниже кронблочной рамы или подшкивных брусьев устраивается прочный настил-потолок из 50 *мм* досок.

10. При подаче материалов на верх вышки не допускается присутствие людей под поднимаемым грузом. Если подача материалов производится внутри вышки, то люди могут находиться только в откосе вышки или снаружи ее.

11. Воспрещается работа на верху вышки без предохранительного пояса или других приспособлений, исключающих возможность случайного падения людей вниз.

12. Воспрещается работа на верху вышки ученикам или лицам, не знакомым с этой работой, а также лицам, страдающим головокружением.

13. Все строительные инструменты, которыми работают наверху, должны быть прочно насажены и на конце ручки иметь ременные или пеньковые петли для надевания на руку во время работы.

14. Воспрещается передавать (от одного к другому) бросанием с земли и особенно на верху вышки строительные материалы, инструменты и всякие другие предметы.

15. Воспрещается лазить на верх вышки по крестовинам и поясам; необходимо пользоваться приставными и маршевыми лестницами.

16. При перевозке буровых вышек в неразобранном виде запрещается приближаться к ним во время движения на расстояние, меньше высоты вышки.

17. Все работы по передвижке должны вестись исключительно под наблюдением прораба и бурового мастера.

Меры безопасности при монтаже и демонтаже оборудования

1. Сборка и разборка бурового оборудования должны производиться под непосредственным наблюдением бурового мастера.

2. Канаты, тали, козлы, блоки и другие приспособления для подъема тяжестей должны быть предварительно осмотрены, и в полной исправности, иметь соответствующую грузоподъемность, запас прочности и не должны перегружаться.

3. При подъеме и спуске тяжестей воспрещается поддерживать и направлять их непосредственно руками. Эта работа должна выполняться при помощи мягких канатов.

4. При подвеске блока необходимо закреплять его на глухой серьге и во избежание падения расчаливать цепью или тросом к цугам копра.

5. Воспрещается наматывание каната на вал двигателя или трансмиссии при подъеме частей станка и установке их на место.

6. Воспрещается сборка и установка бурового агрегата в процесса сооружения или ремонта вышки.

7. Воспрещается применять вороты при подъеме грузов.

Меры безопасности при спуско-подъемных операциях

1. Воспрещается спуск инструмента в скважину, если стальной канат имеет свыше 10% оборванных проволок на участке длиной 1 *м*.

2. В целях предупреждения затаскивания инструмента к подшкивным брусьям

(кронблоку) или блоку необходимо на подъемном канате привязывать метку, указывающую на допускаемую высоту подъема инструмента.

3. Воспрещается спускать буровой инструмент с недовернутыми винтовыми соединениями.

4. Воспрещается стоять во время спуска и подъема в непосредственной близости от каната.

5. При осмотре и проверке каната необходимо пользоваться рукавицами.

6. Воспрещается направлять канат во время подъема инструмента непосредственно руками, для этого должно быть специальное приспособление.

7. Воспрещается находиться в радиусе действия ключей при свинчивании и развинчивании инструмента и обсадных труб.

8. При работе на верхних полатях во время спуска и подъема инструмента рабочий (полатчик) обязан надевать предохранительный пояс, надежно привязывая его цепью или веревкой к ноге вышки.

9. Воспрещается при работе на полатях вставать ногами на барьер, спускать и поднимать рабочих на подъемном канате.

10. На полатях вышки и на площадке кронблока нельзя оставлять неприкрепленными какие бы то ни было инструменты или предметы.

11. Подъемный крюк должен быть снабжен специальным затвором, предохраняющим самопроизвольное соскакивание подвешенного на нем инструмента.

12. Воспрещается рабочему (полатчику) подтягивать верхний конец отвинченной «свечи» непосредственно руками. Эта операция должна выполняться при помощи специальной петли.

13. Воспрещается оставлять отвинченную «свечу» не заведенной верхним концом за специальный палец или другого вида приспособление, удерживающее бурильные трубы от падения. «Свечи» должны ставиться на специальную подставку (железную или деревянную).

14. Нельзя развертывать инструмент, если шпиндель или ротор станка продолжает вращаться по инерции при выключенном двигателе.

15. Категорически запрещается тормозить барабан лебедки руками или ногами при спуске и подъеме инструмента.

16. Для отвода от устья скважины, бурового инструмента и желонки при ударно-механическом бурении следует пользоваться петлей из пенькового каната.

Меры безопасности при бурении и опробовании

1. Ответственным лицом за проведение безопасных способов работы на буровой вышке в течение смены является сменный мастер.

2. До начала работы сменный мастер обязан проверить состояние и работу станка, двигателя, насоса и компрессора (если последний применяется при откачках) и убедиться в исправности бурового и вспомогательного оборудования. Если обнаружатся неисправности, которые могут быть следствием поломки механизмов или привести к несчастным случаям, сменный мастер обязан немедленно сообщить об этом старшему буровому мастеру и одновременно принять меры к устранению обнаруженных дефектов. В таких случаях работу можно будет начать только по распоряжению старшего бурового мастера.

При сдаче смены сменный мастер обязан поставить в известность принимающего смену о всех неисправностях и неполадках, замеченных в процессе бурения скважины и в работе механизмов и оборудования. Все ненормальности при работе должны заноситься в сменный буровой журнал.

3. Ограждения выступающих и движущихся частей должны быть прочно укреплены и вместе с тем должны легко удаляться для доступа к движущимся частям.

4. Расстояние между наружными частями механизмов и стенками вышки должно быть не менее 1 *м*.

5. Воспрещается во время бурения смазка и ремонт роликов (кронблока).

6. Воспрещается надевать или сбрасывать со шкивов ремни на ходу, а также производить пуск двигателя за приводные ремни.

7. Категорически запрещается работать с недостаточным освещением. Вышка должна быть освещена при помощи постоянных ламп. Переносная лампа должна быть пониженного напряжения и заключена в предохранительную сетку; шнур этой лампы должен быть предохранен от повреждения.

8. При приводе бурового станка от электромотора необходимо у распределительного щита иметь барьерное ограждение и решетку на изоляторах, а у рубильника — настил с резиновым ковриком.

9. При работе по обслуживанию у щита или мотора под током необходимо надевать резиновые калоши и перчатки.

10. Воспрещается прикасаться руками к электроустановкам. Производить какие-либо исправления в электродвигателях, в сети, трансформаторах разрешается только лицам, которые имеют на то право (электромонтерам).

11. При подъеме колонковой трубы для извлечения из нее керна (столбика породы) следует подвешивать ее не выше 0,2 *м* от пола вышки. Во избежание падения трубы необходимо следить за тем, чтобы не отвернулся вертлюг или не сдал бы тормоз лебедки.

12. Для извлечения керна из колонковой трубы при выбивании необходимо применять молоток, а в случае мягких вязких пород — специальные гидровыталкиватели.

13. При откачках эрлифтом следить за показаниями манометра на выкидной линии компрессора и не допускать повышения давления выше предельного.

14. Периодически проверять и очищать воздушный фильтр на всасывающем патрубке компрессора; особенно следить, чтобы в цилиндры компрессора не попадали пары бензина, этила и другие легковоспламеняющиеся вещества.

15. Тормозить движущиеся механизмы бурового оборудования, а также включать и выключать кулачковые муфты с помощью ломов и труб запрещается.

16. Во избежание разрыва грязевого насоса при прессовании на его предохранительных клапанах должны быть вделаны калиброванные шпильки.

Меры безопасности и при работе с обсадными трубами

1. При обсаживании скважины воспрещается работать с оборудованием, материалом и приспособлениями (болты, брусья, домкраты и др.), не соответствующими развиваемым усилиям и имеющими физические и механические пороки (раковины, трещины и т. д.).

2. Во время предельных нагрузок на вышку и приспособления для подъема, все свободные рабочие должны быть удалены из буровой вышки или должны находиться под надежным прикрытием. В особо серьезных случаях у тормоза лебедки должен стоять старший мастер.

3. Кратковременная перегрузка лебедки не должна превышать 20—25% ее грузоподъемности.

4. Воспрещается развивать на лебедке натяжение, при котором нагрузка на вышку для данной талевой оснастки будет выше ее грузоподъемности.

5. Воспрещается работать на лебедке с неисправными тормозами, а также тормозить при помощи досок, ломов, штанг и пр. предметов, вставляемых в спицы шестерен или барабан лебедки.

6. При работе с домкратами необходимо следить за правильностью их установки.

7. Во время натяжки и расхаживания инструмента или обсадных труб из вышки должны быть удалены все не занятые на этих операциях люди.

8. При вращении винтов домкрата необходимо следить за их равномерным подъемом или опусканием. В случае перекоса домкрата при натяжке инструмента последний должен быть освобожден, и домкрату придано надлежащее положение.

9. При извлечении обсадных труб бутылочными домкратами с большими натяжками необходимо связывать домкраты между собой и расчаливать их к ногам треноги (вышки).

10. Воспрещается при забивании обсадных труб производить какие-либо работы под приподнятой и не закрепленной «бабой».

11. Воспрещается поддерживать руками ударную штангу во время ударов.

ЛИТЕРАТУРА

I. Основы общей гидрогеологии

1) Общая гидрогеология и связанные с ней науки; минеральные и нефтяные воды

Агаджанов А. М. Гидрогеология и гидравлика подземных вод и нефти. 3 изд. Гостоптехиздат, 1954.

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Гидрометеоиздат, 1953.

Александров В. А. Классификация минеральных вод. Кн.: Основы курортол., т. I. Госмедиздат, 1932.

Алисов Б. П. Климат СССР. Изд. МГУ, 1956.

Альтовский М. Е., Кузнецова З. И. и Швец В. М. Образование нефти и формирование ее залежей. Гостоптехиздат, 1958.

Андрианов П. И. Связанная вода почв и грунтов. Изд. АН СССР, 1946 (Тр. Ин-та мерзлотовед., т. 3).

Афанасьев Т. П. Подземные воды Среднего Поволжья и Прикамья и их гидрохимическая зональность. Изд. АН СССР, 1956.

Ахмедсафин У. М. О режиме грунтовых вод песчаных пустынь. Вестн. АН Казах. ССР, (1950), № 3.

Бедер Б. А. Воды нефтяных месторождений Средней Азии (Некоторые результаты изучения нефтяных вод). Тр. Ин-та геол. АН Узб. ССР, в. 3 (1949).

Беляков М. Ф. Геотермические наблюдения в буровых скважинах и их интерпретация. Гостоптехиздат, 1955.

Богомолов Г. В. Основы гидрогеологии. 2 изд. Госгеолтехиздат, 1955.

Будыко М. И. Испарение в естественных условиях. Гидрометеоиздат, 1948.

Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности, Гидрометеоиздат, 1956.

Бунеев А. Н. Основы гидрогеохимии минеральных вод осадочных отложений. Медгиз, 1956.

Буксер Е. С. Радиоактивность минеральных вод и лечебных грязей. Кн.: Основы курортол., т. I. Госмедиздат, 1932.

Бутц Ш. Ф. и Самарина В. С. Пособие к практическим занятиям по гидрогеологии. Изд. ЛГУ, 1956.

Быков В. Д. Гидрометрия. Гидрометеоиздат, 1949.

Васильевский М. М. Схема основного гидрогеологического районирования Европейской части СССР. Сов. геол., 8 (1938) № 8—9.

Васильевский М. М. и Кривштофович А. Н. О международной геологической и гидрогеологической терминологии Сб.: Тр. XVII сесс. Междунар. геол. конгр., СССР, 1937 г., т 5. Госгеолиздат, 1940.

Великанов М. А Гидрология суши. 4 изд. Гидрометеоиздат, 1948.

Вернадский В. И. История природных вод, вв. 1—3. ОНТИ, 1933—1936 (История минералов земной коры, т. 2, ч. I).

Виноградов А. П. О хлор-бромном коэффициенте подземных вод. ДАН СССР, 44 (1944), № 2.

Виноградов А. П. Рассеянные химические элементы в подземных водах разного происхождения (О значении коэффициентов пропорциональности) Тр. Лабор. гидрогеол пробл АН СССР, т. I [1948].

Вопросы изучения курортных ресурсов СССР. Сборник работ по гидрогеологии, физико-химии и микробиологии минеральных вод и лечебных грязей и климату. Ред. В. А. Александров и В. В. Иванов. Медгиз, 1955.

Вопросы изучения подземных вод и инженерно-геологических процессов. Ред. Н. Н. Славянов. Изд. АН СССР, 1955.

Вопросы нефтепоисковой гидрогеологии. Ред. М. С. Гуревич, И. К. Зайцев и А. А. Черепенников. Госгеолтехиздат, 1956 (Мат. ВСЕГЕИ, нов. сер., в. 18 — Гидрогеология).

Гармонов И. В. Зональность грунтовых вод Европейской части СССР. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Гармонов И. В. Принципы зонального районирования грунтовых вод. Сб.: Вопр. изуч. подземн. вод и инж.-геол. процесс. Изд. АН СССР, 1955.

Гатальский М. А. Палеогидрогеология и ее значение при изучении нефтеносных областей. Геол. сборн. I (IV). Гостоптехиздат, 1951 (ВНИГРИ, НИТО нефтян.).

Гатальский М. А. Оценка перспектив нефтегазоносности Русской платформы по гидрохимическим показателям. Сб.: Очерки по геол. СССР, т. 3. Гостоптехиздат, 1957 (Тр. ВНИГРИ, в. 111).

Геологический словарь. Т. I (А—Л) и т. 2 (М—Я). Госгеолтехиздат, 1955.

Гефер Г. Подземные воды и источники. Пер. с нем. Ред. А. Н. Семихатов. Госиздат, 1925.

Гинзбург И. И. I. Миграция металлов в водах. II. Гидрогеохимические поиски металлов и характеристика вод отдельных типов месторождений. Гл. IX и X его кн.: Опыт разраб. теорет. основ геохим. поиск. руд цветн. и редк. металл. Госгеолтехиздат, 1957.

Гордеев Д. И. Основные этапы истории отечественной гидрогеологии. Изд. АН СССР, 1954 (Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. т. 7).

Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. Гостоптехиздат, 1955.

Дахнов В. Н. и Дьяконов Д. И. Термические исследования скважин. Гостоптехиздат, 1952.

Денисов Н. Я. Инженерная геология и гидрогеология. Госстройиздат, 1957.

Дзенс-Литовский А. И. О формировании и классификации подземных вод соляных месторождений и соляных озер. Сов. геол., сб. 44 (1955).

Еременко Н. А. и Бежаев М. С. Исследование вод нефтяных месторождений (на примере Дагестана). Гостоптехиздат, 1956.

Жданов М. А., Карцев А. А. Нефтепромысловая геология и гидрогеология. Гостоптехиздат, 1958.

Жирмунский А. М. и Козырев А. А. (I) Опыт новой классификации подземных вод. Личков Б. Л. (II) О классификации подземных вод. Шильников П. А. (III) К вопросу о классификации подземных вод. Сб.: Тр. II Всес. гидрол. съезда, ч. 2, Л., 1929 (ГГИ).

Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. Госгеолиздат, 1940.

Иванов А. Т. Определение подземной составляющей речного стока гидрохимическим способом. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Игнатович Н. К. О закономерностях распределения и формирования подземных вод. ДАН СССР, 45 (1944), № 3.

Игнатович Н. К. К вопросу о гидрогеологических условиях формирования и сохранения нефтяных залежей. ДАН СССР, 46 (1945), № 5.

Игнатович Н. К. О региональных гидрогеологических закономерностях в связи с оценкой условий нефтеносности. Сов. геол., сб. 6 (1945).

Игнатович Н. К. Гидрогеологические структуры — основа гидрогеологического районирования территории СССР. Сов. геол., сб. 19 (1947).

Игнатович Н. К. Зональность, формирование и деятельность подземных вод в связи с развитием геоструктуры. Вопр. гидрогеол. и инж. геол., сб. 13 (1950).

Итенберг С. С. Нефтепромысловая геофизика для геологов (Интерпретация результатов промысловых геофизических исследований). 2 изд., Гостоптехиздат, 1957.

Каменский Г. Н. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 6 (1949).

Каменский Г. Н. Гидрогеохимическая зональность в распределении подземных вод. Тр. МГРИ, т. 26 (1954).

Каменский Г. Н. (ред.), Биндеман Н. Н., Вевиоровская М. А. и Альтовский М. Е. Режим подземных вод. ГОНТИ, 1938.

Каменский Г. Н. (ред.), Климентов П. П. и Овчинников А. М. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. Госгеолиздат, 1953.

Каменский Г. Н., Толстихина М. М. и Толстихин Н. И. Гидрогеология СССР. Тт. 1—4. Госгеолтехиздат, 1957 (Подготовл. к печати).

Карцев А. А., Табасаранский З. М., Суббота М. И. и Могилевский Г. А. Геохимические методы поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений. Гостоптехиздат, 1954.

Кейльгак К. Подземные воды. 2 изд. Пер. с нем. Ред. Н. Н. Славянов. ОНТИ, 1935.

Келлер Г. Напорные воды. Пер. с нем. Ред. А. Н. Семихатов. Гостехиздат, 1930.

Кене В. Учение о грунтовых водах. Пер. с нем. Ред. А. Н. Семихатов. Госстройиздат, 1932.

Климентов П. П. Гидрогеология. Учебник для геологоразведочных техникумов. Госгеолтехиздат, 1955.

Козлов А. Л. Проблемы геохимии природных газов. Гостоптехиздат, 1950.

Козырев А. А. О классификации подземных вод и их терминологии. Сб.: Тр. I Всеросс. гидрол. съезда. Л., 1925.

Коротеев А. П. Спутник гидрогеолога. 2 изд. ОНТИ, 1936.

Котяхов Ф. И. Основы физики нефтяного пласта. Гостоптехиздат, 1956.

Крейчи-Граф К. Основные вопросы нефтяной геологии. Пер. с нем. Ред. Н. Б. Вассоевич. ОНТИ, 1934.

Кротова В. А. Волго-Уральская нефтеносная область. Гидрогеология. Гостоптехиздат, 1956 (Тр. ВНИГРИ, нов. сер., в. 94).

Кротова В. А. Роль гидрогеологических факторов в образовании, сохранении и разрушении нефтяных залежей (по материалам Волго-Уральской области). Гостоптехиздат, 1957 (Тр. ВНИГРИ, в. 103).

Крубер А. А. Гидрография карста. Сб. в честь 70-летия проф. Д. Н. Анучина. М., 1913.

Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод и вопросы водного баланса. Сб.: Междунар. ассоц. научн. гидрол. М., 1957 (Серия: Тез. докл. на XI Генеральн. ассамбл. Междунар. геодез. и геофиз. союза).

Куделин Б. И. Современное состояние вопроса о подземном питании рек и задачи дальнейших исследований. Сб.: Тез. докл. III Всес. гидрол. съезда. Секц. подземн. вод и пробл. подземн. питан. рек. Л., 1957.

Кудрявцев В. А. Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. Изд. АН СССР, 1954.

Кунин В. Н. Условия образования подземных вод пустынь. Сб.: Междунар. ассоц. научн. гидрол. М., 1957 (Серия: Тез. докл. на XI Генеральн. ассамбл. Междунар. геодез. и геофиз. союза).

Курс метеорологии (Физика атмосферы). Ред. П. Н. Тверской. Гидрометеоиздат, 1951.

Ланге О. К. I. О зональном распределении грунтовых вод на территории СССР. II. О районировании грунтовых вод. Сб.: Очерки по регион. гидрогеол. СССР. Изд. МОИП, 1947.

Ланге О. К. О терминологии и классификации в гидрогеологии. Уч. зап. МГУ, в. 124 (1947) — Геология, кн. 2.

Ланге О. К. О гидрогеологической терминологии. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 6 (1949).

Ланге О. К. Основы гидрогеологии. 2 изд. Изд. МГУ, 1958.

Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. 4 изд. Изд. АН СССР, 1936.

Линдтроп Н. Т. Роль воды в формировании и разрушении нефтяных залежей. Сб.: Памяти акад. И. М. Губкина. Изд. АН СССР, 1951.

Лисицын К. И. О зональной осолоненности грунтовых вод на земном шаре и об оценке питьевых вод в сухих степях. Новочеркасск, 1927.

Личков Б. Л. Основные черты классификации подземных вод СССР. Сб. Исслед. подземн. вод. СССР, в. 2, Л., 1933.

Личков Б. Л. О законе горизонтальной зональности В. В. Докучаева в применении к грунтовым водам и о степени подчинения горизонтальной зональности остальных подземных вод. Сб.: Вопр. изучен. водн. ресурс. Изд. АН СССР, 1954 (Геогр. сборн., № 6).

Ломтадзе В. Д. О роли процессов уплотнения глинистых осадков в формировании подземных вод. ДАН СССР, 98 (1954), № 3.

Максимов В. М. Подземные воды окрестностей г. Олекминска (ЯАССР). Зап. ЛГИ, т. 31 (1955).

Максимович Г. А. Зональность почвенных, грунтовых, речных и озерных вод и гидрохимические зоны. ДАН СССР, 58 (1947), № 5.

Максимович Г. А. Классификация подземных вод. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Максимович Г. А. Закономерности распределения карста на территории СССР. Сб.: Тез. докл. на Научн. совещ. по изуч. карста, в. 2, М., 1956.

Максимович Г. А. Основные типы гидродинамических профилей областей карста карбонатных и сульфатных отложений. ДАН СССР, 112 (1957), № 3.

Маляров К. Л. Воды нефтяных месторождений. ОНТИ. 1934 (Тр. НГРИ, сер. А, в. 46).

Маринов Н. А. Вертикальная зональность подземных вод северо-восточной части Центральной Азии. ДАН СССР, 60 (1948), № 8.

Масленников М. В. Инженерная геология, гидрогеология и осушение месторождений. Углетехиздат, 1951.

Маслов Н. Н. Инженерная геология. Госстройиздат, 1957.

Мейнцер О. Э. Гидрогеологические понятия, определения и термины. Пер. с англ. Ред. Н. Н. Славянов. Геолразведиздат, 1933.

Мейнцер О. Э. Учение о подземных водах. Пер. [с англ.]. Ред. М. М. Васильевский, П. И. Бутов и Н. Ф. Погребов. ОНТИ, 1935.

Могилевский Г. А. Микробиологический метод поисков газовых и нефтяных залежей. Гостоптехиздат, 1953.

Овчинников А. М. Минеральные воды. Госгеолиздат, 1947.

Овчинников А. М. О новой классификации источников. БМОИП, отд. геол., 25 (1950) в. 6.

Овчинников А. М. Нефтяные воды. БСЭ, 2 изд., т. 29, 1954.

Овчинников А. М. Общая гидрогеология. 2 изд. Госгеолитехиздат, 1955.

Оркин К. Г. и Кучинский П. К. Физика нефтяного пласта. Гостоптехиздат, 1955.

Оценка ресурсов и перспективы использования термальных вод СССР как источника тепла. Ред. Ф. А. Макаренко. Изд. АН СССР, 1957.

Плотников Н. И., Сыроватко М. В. и Щеголев Д. И. Подземные воды рудных месторождений. Металлургиздат, 1957.

Пономарев В. М. Формирование подземных вод по побережью северных морей в зоне вечной мерзлоты. Изд. АН СССР, 1950.

Попов В. В. Геология и гидрогеология в военноинженерном деле. М., 1947.

Попов И. В. Инженерная геология. Госгеолиздат, 1951.

Приклонский В. А. Некоторые закономерности формирования грунтовых вод в засушливых областях. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. I [1948].

Приклонский В. А. Грунтоведение. Ч. I. 3 изд. Госгеолтехиздат, 1955; Ч. 2, Госгеолиздат, 1952.

Принц Е. Гидрогеология. Источники, грунтовые воды, подземные водотоки и каптажи грунтовых вод. Пер. с 2-го нем. изд. Ред. Г. Н. Каменский и А. Н. Семихатов. Сельколхозгиз, 1932.

Принц Е. и Кампе Р. Гидрогеология. Т. 2 — Источники (Пресные и минеральные источники). Пер. с нем. Ред. А. Н. Семихатов и А. И. Казаринов. Сельхозгиз, 1937.

Резников А. А. и Муликовская Е. П. Методы анализа природных вод. Госгеолтехиздат, 1954.

Роде А. А. Водные свойства почв и грунтов. Изд. АН СССР, 1955.

Саваренский Ф. П. Гидрогеология. (Учебное пособие для вузов). 2 изд. ОНТИ, 1935.

Саваренский Ф. П. Гидрогеология. (Учебное руководство для геол.-развед. техникумов). ГОНТИ, 1939.

Саваренский Ф. П. Инженерная геология. 2 изд. ГОНТИ, 1939.

Саваренский Ф. П. Избранные сочинения. Ред. Н. Н. Славянов. Изд. АН СССР, 1950.

Савченко В. П. Законы, управляющие системой жидкость + газы, и их приложение для выяснения генезиса природных газов. Природн. газы. сб. 11 (1936).

Седенко М. В. Гидрогеология некоторых угольных месторождений СССР. Углетехиздат, 1951.

Седенко М. В. Гидрогеология. Углетехиздат, 1956.

Семихатов А. Н. Артезианские и глубокие грунтовые воды Европейской части СССР. Дополн. к кн.: Г. Гефер. Подземн. воды и источн. Госиздат, 1925.

Семихатов А. Н. Подземные воды СССР. Ч. I — Подземные воды Европейской части СССР. Горгеонефтеиздат, 1934 (Тр. Ин-та Гидротехгео, в. 24).

Семихатов А. Н. Гидрогеология. Сельхозгиз 1954.

Сергеев Е. М. Общее грунтоведение. Изд. МГУ, 1952.

Силин-Бекчурин А. И. Курс специальной гидрогеологии для техникумов. ОНТИ, 1937.

Силин-Бекчурин А. И. О динамике обводнения нефтяных залежей. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Скабалланович И. А. и Седенко М. В. Инженерная геология, гидрогеология и осушение месторождений. Углетехиздат, 1955.

Славянов Н. Н. К вопросу о гидрогеологической терминологии. Сб.: Водн. богат. недр. земли — на службу соц. строит., в. 8. Геолразведиздат, 1933 (Перв. Всес. гидрогеол. съезд).

Славянов Н. Н. Классификация подземных вод. Дополн. к русск. изд. кн.: О. Э. Мейнцер. Гидрогеол. понят., определен. и термины. Геолразведиздат, 1933.

Славянов Н. Н. Подземные воды СССР (грунтовые и артезианские воды). Приложен. к 2-му русск. изд. кн.: К. Кейльгак. Подземн. воды. ОНТИ, 1935.

Славянов Н. Н. Состояние гидрогеологической науки и пути ее развития. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 10 (1951).

Слихтер Ч. С. Подземные воды. Пер. с англ. СПб., 1912.

Словарь по геологии нефти. Ред. М. Ф. Мирчинк. 2 изд. Гостоптехиздат, 1958.

Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора. Сельхозгиз, 1955.

Соколов В. А. Миграция газа и нефти. Изд. АН СССР, 1956.

Соколов Д. С. Основные условия развития карста. БМОИП, отд. геол., 26 (1951) в. 2.

Соколовский Д. Л. Речной сток (Методы исследований и расчетов). Гидрометеоиздат, 1952.

Справочник геолога по природному газу. Тт. 1—4. Гостоптехиздат, 1951—1957.

Справочник по добыче нефти. Т. I. Ред. И. М. Муравьев. Гостоптехиздат, 1958.

Справочник по инженерной геологии. Ред. Ф. П. Саваренский. ГОНТИ, 1939.

Справочник по инженерным изысканиям для строительства. Сост. Н. Н. Северьянов, М. С. Агалина. Углетехиздат, 1958.

Спутник полевого геолога-нефтяника. 2 изд. Тт. 1—2. Ред. Н. Б. Вассоевич. Д. Л. Степанов, М. Ф. Беляков и В. Н. Муратов. Гостоптехиздат, 1954.

Старик И. Е. Радиологическое изучение района Кавказских минеральных вод. ИАН СССР, ОХН, (1943) № 6.

Сулин В. А. Воды нефтяных месторождений СССР. ОНТИ, 1935.

Сулин В. А. Воды нефтяных месторождений в системе природных вод. Гостоптехиздат, 1946.

Сулин В. А. Условия образования, основы классификации и состав природных вод, в частности, вод нефтяных месторождений. Ч. I — Образование и основы классификации природных вод. Изд. АН СССР, 1948.

Сулин В. А. Гидрогеология нефтяных месторождений. Гостоптехиздат, 1948.

Сумгин М. И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. 2 изд. Изд. АН СССР, 1937.

Сумгин М. И. (ред.), Качурин С. П., Толстихин Н. И. и Тумель В. Ф. Общее мерзлотоведение. Изд. АН СССР, 1940.

Сухарев Г. М. Воды нефтяных и газовых месторождений восточного Предкавказья. Грозный, Облиздат, 1947.

Сухарев Г. М. Режимы нефтяных залежей, приуроченные к различным геогидродинамическим зонам. Нефт. хоз., (1948), № 9.

Сухарев Г. М. О роли подземных вод в формировании, сохранении и разрушении нефтяных и газовых залежей (Терско-Дагестанская нефтегазоносная область). ДАН СССР, 75 (1950), № 5.

Сухарев Г. М. Оценка перспектив нефтеносности по гидрохимическим и температурным показателям. ДАН СССР, 77 (1951), № 4.

Сухарев Г. М. Основы нефтепромысловой гидрогеологии. Гостоптехиздат, 1956.

Ткачук В. Г. Принципы районирования грунтовых вод равнинных областей по признаку условий формирования баланса. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 10 (1951).

Ткачук В. Г. О задачах и методах гидрогеологических исследований на разных стадиях поисков и эксплуатации нефтяных месторождений. ДАН УССР, (1951), № 5. (На укр. яз.).

Токарев А. Н. и Щербаков А. В. Радиогидрогеология. Госгеолтехиздат, 1956.

Толстихин Н. И. Гидрогеологические условия водоснабжения в районах мерзлой зоны литосферы (вечной мерзлоты). Сб.: Вечн. мерзлота. Изд. Главсевморпути, Л., 1936.

Толстихин Н. И. Подземные воды мерзлой зоны литосферы. Госгеолиздат, 1941.

Толстихин Н. И. Артезианские воды мерзлой геозоны в пределах СССР. Мерзлотоведение, 2 (1947) в. I.

Толстихин Н. И. Гидрохимические пояса и зоны артезианских бассейнов. Гидрохим. мат., т. 24 (1955).

Троянский С. В. (сост.). Гидрогеология. Гл. I разд. 4-го кн.: Геология угольн. месторожд. и маркшейдерск. дело. Углетехиздат, 1957 (Серия: Горн. дело. Энциклопед. справочн.).

Филатов К. В. Гравитационная гипотеза формирования химического состава подземных вод платформенных депрессий. Изд. АН СССР, 1956.

Фокеев В. М. О растворимости нефти и газов в воде. Тр. МГРИ, т. 29 (1956).

Цытович Н. А. К теории равновесного состояния воды в мерзлых грунтах. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 9 (1945), № 5—6.

Шагоянц С. А. Общие закономерности формирования подземных вод. ДАН СССР, 61 (1948), № 1.

Шагоянц С. А. Палеогидрогеологическая схема формирования подземных вод центральной и восточной частей Северного Кавказа. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 6 (1949).

Шагоянц С. А. Вертикальная и горизонтальная зональность подземных вод в артезианских бассейнах различных структур. ДАН СССР, 103 (1955), № 6.

Швецов П. Ф. О значении тепловой формы движения в циркуляции и питании подземных вод горных стран по системам тектонических трещин. ДАН СССР, 73 (1950), № 3.

Швецов П. Ф. Подземные воды Верхоянско-Колымской горно-складчатой области и особенности их проявления, связанные с низкотемпературной вечной мерзлотой. Изд. АН СССР, 1951.

Швецов П. Ф. и Седов В. П. Гигантские наледи и подземные воды хребта Тас-хаяхтах. Изд. АН СССР, 1941.

Шумский П. А. Основы структурного ледоведения. Петрография пресного льда как метод гляциологического исследования. Изд. АН СССР, 1955.

Щеголев Д. И. Рудничные воды. Углетехиздат, 1948.

Щеголев Д. И. и Толстихин Н. И. Подземные воды в трещиноватых породах (на опыте изучения северного Казахстана и Забайкалья). ГОНТИ, 1939.

2) Методика гидрогеологических исследований

Альтовский М. Е. Методика гидрогеологических изысканий в целях водоснабжении. ОНТИ, 1936.

Баранов В. И. и Овчинников А. М. Методическое руководство по исследованию радиоактивности подземных вод. Госгеолиздат, 1946.

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., № 2. Госгеолтехиздат, 1956 (ТУ МГ и ОН СССР).

Богомолов Г. Применение изотопов в гидрогеологии. Изв. АН БССР, (1955) № 3.

Богомолов Г. В. и Плотников Н. А. Классификация ресурсов подземных вод и отображение их на картах. Сб.: Междунар. ассоц. научн. гидрол. М., 1957 (Серия: Тез. докл. на XI Генеральн. ассамбл. Междунар. геодез. и геофиз. союза).

Бродский А. А. Один из методов графической обработки результатов химических анализов подземных вод. Сб.: Вопр. гидрогеол. и инж. геол. Госгеолиздат, 1953.

Бродский А. А. Краткие методические указания по составлению сводной гидрогеологической карты в масштабе 1 : 500 000 территории целинных и залежных земель и пастбищ отгонного животноводства. Госгеолтехиздат, 1954 (ВСЕГИНГЕО).

Васильев А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. 2 изд. Госстройиздат, 1953.

Васильевский М. М. и Бутов П. И. I. Материалы по методике составления гидрогеологических карт. II. Альбом характерных гидрогеологических и других карт. ОНТИ, 1937 (Тр. ЦНИГРИ, в. 94).

Васильевский М. М., Желтов П. И. и Погребов Н. Ф. Методика общего гидрогеологического картирования. ГОНТИ, 1939 (Тр. ЦНИГРИ; в. 130).

Вевиоровская М. А., Разин К. И. и Семенов М. П. Методика изучения режима подземных вод для крупного гидротехнического, ирригационного и промышленного строительства. ОНТИ, 1937.

Викторов С. В. Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. Изд. АН СССР, 1955.

Временная инструкция по опробованию опорных скважин. ВНИГРИ, М., 1956.

Временная инструкция по гидрогеологическим исследованиям при детальной разведке угольных месторождений в Подмосковном бассейне. Углетехиздат, 1955.

Временные указания по отбору и хранению проб природной воды для химического и спектрального анализов. Ред. И. Ю. Соколов. Госгеолтехиздат, 1955 (ВСЕГИНГЕО).

Гармонов И. В. (сост.). Карты грунтовых вод степных и лесостепных районов Европейской части СССР. Изд. АН СССР, 1955.

Гатальский М. А. Методика гидрогеологического опробования буровых скважин при колонковом бурении. ГОНТИ, 1938.

Гидрогеологическое обслуживание при бурении эксплуатационных скважин для водоснабжения. Наблюдения, опытная откачка и документация. Сост. И. В. Чеботарев, М. И. Качалов и Б. Ф. Маврицкий. М., 1954.

Гидрохимическая карта Сибири и Дальнего Востока. Масштаб 1 : 5 000 000. Сост. И. К. Зайцев, М. С. Гуревич и Е. Е. Белякова. Ред. Н. И. Толстихин и Т. Н. Спижарский. 1957 (ВСЕГЕИ). (Печатается.) I. Гидрохимическая карта СССР в масштабе 1 : 5 000 000. Ред. И. К. Зайцев. 1956 (ВСЕГЕИ). (Печатается.) II. Объяснительная записка к гидрохимической карте СССР в масштабе 1 : 5 000 000. Ред. И. К. Зайцев. Госгеолтехиздат, 1958 (ВСЕГЕИ).

Горелик А. М., Нестеренко И. П., Постовалов А. А. и Ряполова В. А. Электроразведка источников водоснабжения. М., 1956.

Гуревич М. С. К методике гидрогеологического опробования нефтепоисковых и опорных скважин. Сб.: Вопр. нефтепоисков. гидрогеол. Госгеолтехиздат, 1956.

Дубровский В. В. Гидрогеологическая служба при бурении и опробовании скважин на воду. Сб.: Сооружен., оборудован. и эксплуат. скважин для сел. водоснабжен. Госгеолтехиздат, 1955.

Дунаев Б. К. Геологические и гидрогеологические изыскания при исследовании торфяных месторождений. Госэнергоиздат, 1954.

Жуков А. И., Чернов Б. С., Базлов М. Н. и Жукова М. А. Эксплуатация нефтяных месторождений. Гостоптехиздат, 1954.

Зайцев И. К. Методика составления сводных гидрогеологических карт. Госгеолиздат, 1945.

Запарий М. П. и Иванов С. А. Электроразведка на воду (Опыт применения в совхозах). Изд. Мин-ва совхоз. СССР, 1956.

Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства (Методическое руководство). Ред. И. В. Попов. Тт. 1—2. Госгеолиздат, 1950.

Инструкция о порядке составления карты гидрогеологической изученности территории СССР. Госгеолиздат, 1953 (Мин-во геол. СССР).

Каменский Г. Н. Поиски и разведка подземных вод. Госгеолиздат, 1947.

Каменский Г. Н. (сост.). Гидрогеологические исследования и разведка источников водоснабжения (Методическое руководство). Госгеолиздат, 1947.

Карта грунтовых вод Европейской части СССР в масштабе 60 верст в дюйме. Сост. В. С. Ильин. М., 1923.

Керкис Е. Е. Методика определения статических и динамических уровней воды в глубоких буровых скважинах при газопроявлениях. Сб.: Вопр. нефтепоисков. гидрогеол. Госгеолтехиздат, 1956.

Лебедев А. В. Прогноз изменения уровня грунтовых вод на орошаемых территориях (Гидрогеологические расчеты). Госгеолтехиздат, 1957.

Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолиздат, 1952.

Маков К. И. О методе структурного гидрогеологического анализа. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Методические указания по гидрогеологическим работам при разведке металлических руд и требования к отчетам при утверждении запасов в ВКЗ. Сост. Л. П. Нелюбов при участ. Д. И. Щеголева. Госгеолиздат, 1944.

Методические указания по гидрогеологическим работам при разведке неметаллических полезных ископаемых и требования к отчетам при утверждении запасов в ВКЗ. Сост. С. П. Прохоров. Госгеолиздат, 1945.

Методическое руководство по изучению режима подземных вод. Ред. М. Е. Альтовский и А. А. Коноплянцев. Госгеолтехиздат, 1954.

Методы исследований и расчетов при инженерно-геологических и гидрогеологических работах (Сборник статей). Ред. И. В. Попов. Госгеолиздат, 1951.

Методы исследования и опробования жидких полезных ископаемых. Серия: Гидрогеология и инженерная геология. Геолразведиздат, 1932, 1933.

Методы исследования кернов. Гостоптехиздат, 1948 (БТЭИ ЦИМТнефти).

Митин М. Н. Способы расчета возраста пластовой воды по содержанию в ней редких газов Сб.: Мат. по геол. район. Русск. платф. и Сев. Кавказа и метод. вопр. нефт. геол. Гостоптехиздат, 1956, (Тр. Всес. нефтегазов. НИИ, в. 9).

Мухин Ю. В. Гидрогеологические наблюдения при колонковом бурении. Госгеолиздат, 1954

Мухин Ю. В. Гидрогеологические наблюдения при механическом ударном бурении на канате. Разв. и охр. недр, (1955), № 6.

Наблюдения за режимом подземных вод в районе гидротехнических сооружений и по берегам водохранилищ. Инструкция Гидроэнергопроекта. Госэнергоиздат, 1949.

Нечай А. М. Определение минерализации пластовых вод. Прикл. геофизика, в. 8 (1952).

Овчинников А. М. Гидрогеологические карты горноскладчатых областей и их значение в оценке ресурсов подземных вод. Сб.: Междунар. ассоц. научн. гидрол. М., 1957 (Серия: Тез. докл. на XI Генеральн. ассамбл. Междунар. геодез. и геофиз. союза)

Огильви Т. Д., Огильви Н. А., Вырубова А. В и Дронова М. А. Практическое руководство по измерению радона и растворенного радия в природных водах простейшими методами. Госгеолиздат, 1946.

Опыт применения геофизических методов разведки в гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Ред. А. А. Коноплянцев, В. С. Красулин и А. С. Широков. Госгеолтехиздат, 1955.

Организация и производство гидрогеологической съемки масштаба 1 : 500 000. Госгеолтехиздат, 1957 (ВСЕГИНГЕО).

Организация и производство гидрогеологической съемки масштабов 1 : 200 000 — 1 : 100 000. Госгеолтехиздат, 1957 (ВСЕГИНГЕО).

Оркин К. Г. и Кучинский П. К. Лабораторные работы по курсу «Физика нефтяного пласта». Гостоптехиздат, 1953.

Полевая гидрохимическая лаборатория типа 1950 г. Инструкция. 2 изд. Сост. А. А. Резников. Госгеолтехиздат, 1954.

Полевая лаборатория для определения неустойчивых компонентов в природных водах. Инструкция. Сост. А. А. Резников. Госгеолтехиздат, 1954.

Полевая лаборатория для определения специфических компонентов нефтяных вод. Инструкция. Сост. А. А. Резников и Е. П. Муликовская. Госгеолтехиздат, 1954.

Полевая лаборатория для анализа воды в пеших маршрутах. Инструкция. Сост. А. А. Резников и И. Ю. Соколов. Госгеолтехиздат, 1955.

Полевая лаборатория ЛГ-I для гидрохимических поисков рудных месторождений (типа ВСЕГИНГЕО, 1955 г.), Госгеолтехиздат, 1956.

Походная лаборатория ПГЛ-РС-2 для гидрохимических поисков рудных месторождений (типа ВСЕГЕИ 1955 г.). Инструкция. Сост. А. А. Резников и И. Ю. Соколов. Госгеолтехиздат, 1956.

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.

Роговская Н. В. Методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на массивах орошения. Госгеолтехиздат, 1956.

Ростовцев Н. Н. и Панова В. Г. Методические указания для производства некоторых расчетов при обработке результатов анализов химического состава природных газов. Сб.: Вопр. нефтепоисков. гидрогеол. Госгеолтехиздат, 1956.

Руководящие указания по наблюдениям за режимом подземных вод РУ-6-52. 2 изд. Сост. С. А. Коль. Госэнергоиздат, 1952 (Гидроэнергопроект МЭС СССР).

Сборник инструкций и программных указаний по изучению мерзлых грунтов и вечной мерзлоты. Ред. В. А. Обручев и М. И. Сумгин. Изд. АН СССР, 1938.

Сборник методических инструкций для гидрогеологических работ при глубоком роторном бурении (гидрогеологических, химических, газовых, геофизических и радиометрических). Ред. А. С. Сергеев. Госгеолиздат, 1941 (ВСЕГИНГЕО).

Силин-Бекчурин А. И. Типы гидрохимических карт в гидрогеологии. Сб.: Междунар. ассоц. научн. гидрол. М., 1957 (Серия: Тез. докл. на XI Генеральн. ассамбл. Междунар. геодез. и геофиз. союза).

Соколов И. Ю. и Кузнецова З. И. Методика определения неустойчивых компонентов непосредственно у водоисточника при региональных гидрогеологических исследованиях. Гидрохим. мат., т. 24 (1955).

Толстихин Н. И. К вопросу о графическом изображении анализов воды. Геолразведиздат, 1932.

Троянский С. В. (сост.). Гидрогеологические и инженерногеологические исследования при разведке и эксплуатации угольных месторождений. Гл. IV разд. 4-го кн.: Геология угольн. месторожд. и маркшейдерск. дело. Углетехиздат, 1957 (Серия: Горн. дело. Энциклопед. справочн.).

Холин А. И Разделение нефтеносных и водоносных пластов в обсаженных скважинах радиоактивными методами исследования. Изд. АН СССР, 1955.

Чаповский Е. Г. Практическое руководство к лабораторным работам по грунтоведению и механике грунтов. Госгеолиздат, 1945.

Черепенников А. А. Руководство по опробованию и анализу природных газов. Госгеолиздат, 1951.

Шмидт М. А. О методике изучения режима подземных вод Узбекской ССР. Ташкент, 1940.

II. Основы динамики подземных вод и гидрогеологические расчеты

Абрамов С. К. Гидрогеологические расчеты дренажей на участках, защищаемых от подтопления. Углетехиздат, 1951.

Абрамов С. К. Гидрогеологические расчеты притока воды в котлованы и искусственного понижения уровня грунтовых вод. Углетехиздат, 1952.

Абрамов С. К. Гидрогеологические расчеты вертикальных дренажей при осушении угольных месторождений. Углетехиздат, 1955.

Абрамов С. К. Упрощенные методы расчета двухлинейных дренажей при осушении шахтных полей и углеразрезов. Углетехиздат, 1957.

Абрамов С. К. и Бабушкин В. Д. Методы расчета притока воды к буровым скважинам. Госстройиздат, 1955.

Абрамов С. К., Найфельд Л. Р. и Скиргелло О. Б. Дренаж промышленных площадок и городских территорий. Госстройиздат, 1954.

Абрамов С. К., Семенов М. П. и Чалищев А. М. Водозаборы подземных вод. 2 изд. Госстройиздат, 1956.

Абрамов С. К., Скиргелло О. Б. и Троянский С. В. (сост.). Осушение угольных месторождений. Гл. II разд. 4-го. Кн.: Геология угольн. месторожд. и маркшейдерск. дело. Углетехиздат, 1957 (Серия: Горн. дело. Энциклопед. справочн.).

Аверьянов С. Ф. Методика расчета режима грунтовых вод при подтоплении. Гидротехн. строит. (1940), № 2.

Аверьянов С. Ф. Расчет осушительного действия глубоких дренажей. Научн. зап. Московск. гидромелиор. ин-та, т. 15 (1948).

Аверьянов С. Ф. Управление режимом грунтовых вод вблизи гидротехнических сооружений. Гидротехн. строит. (1949), № 7.

Аверьянов С. Ф. Расчет линейной системы артезианских колодцев. Инж. сборн. Ин-та механ. АН СССР, 5, (1949) в. 2.

Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. Кн.: А. Н. Костяков и др. Влияние оросительн. систем на режим грунтов. вод. Изд. АН СССР, 1956.

Аверьянов С. Ф. Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен). Гидротехн. и мелиор., (1957), № 12.

Айрапетян М. А. и Полак Л. С. О применении радиоактивных изотопов для изучения движения и распределения флюидов в пласте. Тр. Ин-та нефти АН Казахск. ССР, т. 1 (1956).

Албул С. П. Новый метод определения производительности взаимодействующих скважин в условиях аллювиального грунтового потока. Зап. ЛГИ, 29 (1953), в. 2 — Геол. развед. дело.

Альтовский М. Е. Оценка формул радиуса влияния методом анализа размерностей. Сб.: Тр. Гидрогеол. лабор. ВНИИ Водгео, № 1. Стройиздат, 1941.

Альтовский М. Е. Методическое руководство по расчету взаимодействующих артезианских и грунтовых водозаборов. Госгеолиздат, 1947.

Альтовский М. Е. О классификации эксплуатационных запасов подземных вод. Сов. геол., сб. 19 (1947).

Альтовский М. Е. Расчет водопоглощающих скважин. Разв. недр, (1950), № 1.

Аравин В. И. Приток грунтовых вод к колодцам и котлованам, основанным на горизонтальном водонепроницаемом слое. Изв. НИИГ, т. 21 (1937).

Аравин В. И. Приток грунтовых вод к котловану прямоугольной формы в плане, основанному на горизонтальном водонепроницаемом слое. Изв. НИИГ, т. 22 (1938).

*

Аравин В. И. и Нумеров С. Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. ГТТИ, 1953.

Аравин В. И. и Нумеров С. Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. 2 изд., Госстройиздат, 1955.

Аргунов П. П. Расчет водопонизительных установок. Сб.: Строит. водопонижен. и гидромеханика грунтовых вод. Машстройиздат 1950 (Сборн. тр. НИИ основан. и фундамент., № 15).

Аргунов П. П. Расчет многорядных линейных иглофильтровых установок. Сб.: Строит. водопонижен., гидромеханика и физика грунтовых вод. Госстройиздат, 1953 (сборн. тр. НИИ основан. и фундамент., № 20).

Аргунов П. П. и Ярцев В. К. Понижение грунтовых вод при производстве строительных работ. Изд. Акад. архит. УССР, Киев, 1955.

Асатур К. Г. О неустановившемся движении грунтовых вод, притекающих к водохранилищу. ДАН СССР, 95 (1954), № 2.

Ассовский Г. Н. и Комарова А. А. Экспериментальные исследования о влиянии диаметра скважины на ее дебит. Разв. и охр. недр, (1957), № 7.

Бабушкин В. Д. Определение коэффициента фильтрации путем откачек из опытных узлов с несовершенными скважинами. Разв. недр, (1949), № 2.

Бабушкин В. Д. Зависимость дебита скважины от длины и расположения фильтра в водоносном пласте. Сб.: Фильтры водозаборн. скважин. Госстройиздат, 1952.

Бабушкин В. Д. Методы расчета дебита шахтных колодцев. М., 1952. (Информ. мат. Лабор. инж. гидрогеол. ВНИИ Водгео, № 4).

Бабушкин В. Д. Определение водопроницаемости горных пород под руслом рек. Разв. и охр. недр (1954), № 4.

Бабушкин В. Д. Определение водопроницаемости методом опытных откачек. Разв. и охр. недр, (1954), № 6.

Бабушкин В. Д. и Раевский С. Н. Определение фильтрационной анизотропии водоносных пород опытной откачкой. Разв. и охр. недр, (1957), № 1.

Биндеман Н. Н. Выборы формул для определения коэффициента фильтрации по данным откачек из несовершенных скважин. Гидротехн. строит. (1944).

Биндеман Н. Н Ускоренные вычисления дебита буровых скважин, колодцев и родников. Госстройиздат, 1945.

Биндеман Н. Н. Определение коэффициента фильтрации горных пород методом инфильтрации из шурфов. Методические указания. Госэнергоиздат, 1947.

Биндеман Н. Н. Гидрогеологические расчеты подпора грунтовых вод и фильтрации из водохранилищ. Углетехиздат, 1951.

Биндеман Н. Н Методы определения водопроницаемости горных пород откачками, наливами и нагнетаниями. Углетехиздат, 1951.

Биндеман Н. Н. Определение водопроницаемости горных пород методом инфильтрации при неустановившемся движении. Разв. и охр. недр, (1957), № 10.

Богомолов Г. В. и Силин-Бекчурин А. И. Специальная гидрогеология. Госгеолтехиздат, 1955.

Борисов Ю. П. Определение дебита скважин при совместной работе нескольких рядов скважин. Тр. Московск. нефт. ин-та, в. 11 (1951).

Бочевер Ф. М. О постановке опытных откачек в условиях неустановившегося движения для определения гидрогеологических параметров. Разв. и охр. недр, (1956), № 12.

Бочевер Ф. М. О классификации запасов подземных вод для целей водоснабжения. Сов. геол., сб. 62 (1957).

Бреслав В. И., Мелик-Шахназарова Г. А. и Таксар И. М. Определение скорости фильтрации грунтовых вод методом меченых атомов. ИАН Лат. ССР, (1955), № 3.

Буачидзе И. М. и Насберг В. М. К вопросу о влиянии диаметра грунтового совершенного колодца на его дебит. Разв. и охр. недр (1955), № 2.

Бурлай И. Ф. Определение частной водопроницаемости горных пород. Изд. Киевск. ун-та, 1954 (Тр. Одесск. Гидромет. ин-та, в. 6).

Ведерников В. В. Фильтрация из каналов. Госстройиздат, 1934.

Ведерников В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. Стройиздат, 1939.

Великанов М. А. Движение подземных вод в крупнозернистых грунтах. Изв. АН СССР, ОТН (1945), № 7—8.

Веригин Н. Н. О неустановившемся движении грунтовых вод вблизи водохранилищ. ДАН СССР, 66 (1949), № 6.

Веригин Н. Н. О подъеме уровня грунтовых вод под влиянием усиленной инфильтрации. Изв. АН СССР. ОТН, (1949), № 11.

Веригин Н. Н. Расчет дренажа в зоне подтопления водохранилищ и подпертых бьефов. Гидротехн. и мелиор. (1949), № 4.

Веригин Н. Н. О фильтрации из канала в сухой грунт. ДАН СССР, 79 (1951), № 4.

Веригин Н. Н. Движение грунтовых вод в районах плотин, шлюзов и каналов. ИАН СССР, ОТН, (1955), № 6.

Веригин Н. Н. Расчет водопонижения в котлованах сооружений. Гидротехстроит., (1957), № 6.

Володько И. Ф. Зависимость эксплуатационного понижения и дебита скважин от диаметра и длины фильтра. Гидротехн. и мелиор. (1951), № 4.

Временная инструкция по исследованию и установлению технологического режима эксплуатации нефтяных скважин. Гостоптехиздат, 1954.

Гармонов И. В. и Лебедев А. В. Основные задачи по динамике подземных вод. Госгеолиздат, 1952.

Гиринский Н. К. Основы теории движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями в неоднородных грунтах. Научн. зап. Московск. гидромелиор. ин-та (1938).

Гиринский Н. К. Некоторые вопросы динамики подземных вод. Гидрогеол. и инж. геол., сб. 9 (1947).

Гиринский Н. К. Напорный поток пресных вод в однородных пластах морских побережий. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 9 (1950).

Гиринский Н. К. Определение коэффициента фильтрации по данным откачек при неустановившихся дебите и понижениях. Госгеолиздат, 1950.

Гиринский Н. К. Расчет притока воды в подземные выработки в условиях взаимосвязи трех водоносных пластов. Вопр. гидрогеол. и инж. геол., сб. 13 (1950).

Гиринский Н. К. Расчет притока воды в котлован вблизи участка реки с водонепроницаемым руслом. Там же.

Гиринский Н. К. Приток воды в выработки, заложенные на междуречье в неоднородный по вертикали пласт. Сб.: Методы исслед. и расчеты при инж.-геол. и гидрогеол. работ. Госгеолиздат, 1951.

Гиринский Н. К. Расчет притока воды в подземные выработки в условиях взаимосвязи подземных вод пяти, семи водоносных пластов. Там же.

Гиринский Н. К. Определение коэффициента фильтрации песков и супесей по данным налива в шурфы. Сб.: Вопр. гидрогеол. и инж. геол. Госгеолиздат, 1953.

Гиринский Н. К. Подсчет коэффициента водоотдачи по данным опытных водопонижений и мощных кустовых откачек. Разв. и охр. недр. (1956), № 1.

Горелик А. М. и Нетунахин В. И. Определение электрометрическим методом направления и скорости движения грунтового потока. Техника жел. дорог (1948), № 6.

Григорьев В. М. Определение коэффициента фильтрации верхнего слоя двухслойной среды по данным откачек. Гидротехн. и мелиор. (1954), № 10.

Григорьев В. М. Понижение уровня грунтовых вод иглофильтровыми установками. Госстройиздат, 1955.

Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. Ч. 1—2, 2 изд., Госстройиздат, 1954—1955.

Давидович В. И. Об одном случае фильтрации в артезианском пласте. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Давидович В. И. Некоторые вопросы неравномерного движения подземных вод в артезианских пластах. Зап. ЛГИ, т. 23 (1949).

Давидович В. И. Приток воды в котлован, ограниченный перемычкой. Зап. ЛГИ, 27, в. 2 — Геол. развед. дело (1952).

Давидович В. И. О притоке в котлован, ограниченный перемычкой со шпунтом. Зап. ЛГИ, 29, в. 2 — Геол. развед. дело (1953).

Добровольский К. И. Теоретические основания полевых методов исследования грунтов на водопроницаемость. Тифлис, 1932.

Дружинин Н. И. Метод электрогидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации. Госэнергоиздат, 1956.

Жернов Н. Е. Расчеты захвата подземных вод (при неустановившемся режиме фильтрации). Изд. АН УССР, Киев, 1954.

Замарин Е. А. Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями. Ташкент, 1931 (Тр. НИХИ, в. 2/23).

Замарин Е. А. и Фандеев В. В. Гидротехнические сооружения. 3 изд., Сельхозгиз, 1954.

Игнатович Н. К. Методика пробных и опытных откачек. Сб.: Мат. по методике гидрогеол. и инж. геол. исслед., в. 2, ОНТИ, 1935.

Ильин В. С. О применении формулы Фосса-Манчини для определения радиуса влияния колодцев. Изв. Южн. НИИ гидротехн. и мелиор. Новочеркасск., в. 3—4 (1935).

Инструкция по определению коэффициентов фильтрации водоносных пород методом опытных откачек из скважин. И-28-53 (Утв. 10.11—1953 г.). Госэнергоиздат, 1955 (Упр. капит. строит. МЭС СССР).

Инструкция по определению направления и скорости течения подземных вод. И-27-53. Сост. С. А. Коль. Госэнергоиздат, 1953 (Гидроэнергопроект).

Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод. Госгеолиздат, 1952.

Инструкция по применению легких иглофильтровых установок для понижения уровня грунтовой воды при производстве строительных работ. Госстройиздат, 1951 (ТУ Минстроймаша).

Инструкция по составлению проектов и смет по промышленному и жилищно-гражданскому строительству. Госстройиздат, 1952 (Гос. комит. СМ СССР по делам строительства).

Истомина В. С. Фильтрационная устойчивость грунтов. Госстройиздат, 1957.

Каменский Г. Н. Движение грунтовых вод в междуречном массиве. ДАН СССР, 21 (1938), № 5.

Каменский Г. Н. Уравнения неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях и применение их к исследованию явлений подпора. Изв. АН СССР, ОТН, (1940) № 4.

Каменский Г. Н. Основы динамики подземных вод. 2 изд., Госгеолиздат, 1943.

Каменский Г. Н. (сост.). Инструкция по исследованию водопроводимости горных пород методом опытных нагнетаний. Госгеолиздат, 1946 (ВСЕГИНГЕО).

Каменский Г. Н. (ред.), Корчебоков Н. А. и Разин К. И. Движение подземных вод в неоднородных пластах. ОНТИ, 1935.

Керкис Е. Е. К вопросу о движении подземных вод в трещиноватых породах. Зап. ЛГИ, т. 22 (1948).

Керкис Е. Е. Об оценке водообильности водоносных горизонтов. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Керкис Е. Е. Определение радиуса влияния при расчете водопритоков. Углетехиздат, 1955.

Керкис Е. Е. Определение водопроницаемости горных пород и притока воды к водозаборам при развитии турбулентного движения подземных вод. Зап. ЛГИ, 32, в. 2 (1955).

Керкис Е. Е. Определение коэффициента водопроницаемости горных пород комбинированным методом откачки — нагнетания. Сов. геол., сб. 56 (1956).

Кирилейс В. Искусственное понижение уровня грунтовых вод. Пер. с нем. Госстройиздат, 1933.

Климентов П. П. (сост.) Сборник задач по динамике подземных вод. Госгеолиздат, 1951.

Климентов П. П. Вопросы новой теории определения водопритоков в горные выработки. Разв. и охр. недр (1954), № 5.

Климентов П. П. Определение коэффициента фильтрации по данным откачки из одиночной скважины на одну ступень понижения уровня. Разв. и охр. недр (1955), № 3.

Козлов В. С. Расчет дренажных сооружений. Стройиздат, 1940.

Коль С. А. Графоаналитический метод определения коэффициента фильтрации водоносных горных пород по результатам откачки воды из одиночной скважины. Сборн. Гидроэнергопроекта, № 6. Госэнергоиздат, 1940.

Коль С. А. Графоаналитический метод определения коэффициента фильтрации горных пород по результатам откачки воды на фильтрационном участке и некоторые вопросы, связанные с его применением. Сборн. Гидроэнергопроекта, № 9. Госэнергоиздат, 1941.

Комиссаров С. В. Водопонижающие вакуум-скважины. М., 1955.

Коротеев А. П. Влияние диаметра буровой скважины на ее дебит. Сборн. мат. по техн. информ. и обмену опытом. Главспеццветмет, в. 12, М., 1951.

Краснопольский А. А. Грунтовые и артезианские колодцы. СПБ, 1912; то же: Горн. журн. (1912), кн. 3, 4, 5 и 6.

Куриленко В. В. Определение притока воды к котлованам и расчет водопонизительных установок. Госэнергоиздат, 1954.

Кусакин И. П. Искусственное понижение уровня грунтовых вод. ОНТИ, 1935.

Лапук Б. Б. Теоретические основы разработки месторождений природных газов. Гостоптехиздат, 1948.

Лапук Б. Б. и Евдокимова В. А. Движение жидкостей и газов в пористой среде в условиях одновременного существования различных режимов фильтрации. ДАН СССР, 76 (1951), № 4.

Лебедев А. В. Опыт приближенного вычисления подпора грунтовых вод во времени для прибрежной зоны. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Лейбензон А. С. Подземная гидравлика воды, нефти и газа (Руководство по нефтепромысловой механике, ч. 2, 1934). Собр. труд., т. 2, изд. АН СССР, 1953.

Лейбензон Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде (1947). Собр. тр., т. 2, изд. АН СССР, 1953.

Лембке К. Э. Движение грунтовых вод и теория водосборных сооружений. Инж. журн. Мин-ва пут. сообщ., (1887), № 17—19.

Ломизе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. Госэнергоиздат, 1951.

Лукьянов В. С. и Вевиоровская М. А. Вспомогательные графики для расчета режима грунтовых вод при подпоре. Вопр. гидрогеол. и инж. геол., сб. 11 (1949).

Лыкошин А. Г. Опыт оценки водопроницаемости основания плотины по данным откачки из строительного котлована. Гидротехн. строит.; (1957), № 7.

Макаренко Ф. А. О классификации запасов и ресурсов подземных вод. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 3 (1948).

Маков К. И. К методике подсчета запасов подземных вод крупных гидрогеологических районов. «Разв. недр» (1937), № 8.

Малеваный Г. Г. Влияние глубины горных выработок на изменение притока воды. Научн. тр. Харьковск. горн. ин-та, т. 2 (1955).

Малишевский Н. Г. Способ парных откачек для определения производительности подземного потока. Тр. Харьковск. инж. строит. ин-та, в. 1 (1948).

Мариупольский Г. М. и Фуксон М. Н. О выборе параметров иглофильтровых водопонизительных установок. Строит. пром. (1955), № 2.

Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. Пер. с англ. Ред. М. А. Гейман. Гостоптехиздат, 1949.

Морозов А. И. Прогноз прорывов вод из почвы горных выработок. Зап. ЛГИ, 26, в. 1 (1952).

Мухин Ю. В. Формулы для определения дебита фонтанирующих скважин. Разв. недр, (1951), № 1.

Мхитарян А. М. I. К расчету фильтрации через неоднородные земляные плотины на проницаемом основании. II. Новый фильтрационный расчет земляной плотины на проницаемом основании. Тр. Куйбышевск. инж.-строит. ин-та, в. 3 (1956).

Мятиев А. Н. Теория напорного движения подземных вод к колодцам. Изв. Туркм. фил. АН СССР (1950), № 1.

Насберг В. М. Гидродинамическая сетка при фильтрации без подпора из скважины и применение сетки для определения водопроницаемости грунта. Изв. Тбилисск. НИИ сооружен. и гидроэнергет., т. 3 (1950).

Недрига В. П. и Хапалова Е. Я. Влияние водопроницаемости шпунтовых стенок на эффективность их работы в гидротехнических сооружениях. Сб.: Вопр. фильтрац. расчет. гидротехн. сооружен. Госстройиздат, 1952, № 1.

Нельсон-Скорняков Ф. Б. Фильтрация в однородной среде. 2 изд., изд. «Сов. наука», 1949.

Нетунахин В. И. К вопросу об определении направления скорости движения подземных вод и коэффициента фильтрации горных пород геофизическими методами. Сборн. научн. тр. Казахск. горно-металлург. ин-та (1956), № 4.

Нумеров С. Н. Приближенные способы расчета фильтрации через земляные плотины на водонепроницаемых основаниях. Тр. Ленингр. политехн. ин-та (1947), № 4 — Раздел строит. дела и гидротехн.

Нумеров С. Н. О фильтрации к несовершенной дренажной траншее в горизонтальном артезианском пласте. Изв. ВНИИГ, т. 52 (1954).

Огильви Н. А. Графоаналитический метод расчета водопроницаемости анизотропных горных пород, вмещающих водоносный напорный горизонт: Сб.: Мат. по инж. геол., в. 4. Металлургиздат, 1953.

Павловский Н. Н. I. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения (1922). II. Неравномерное движение грунтовых вод (1929; 1930). III. Неравномерное движение грунтовых вод (дальнейшее развитие вопроса) (1932). Собр. соч., т. 2 — Движение грунтовых вод. Ред. С. Н. Нумеров. Изд. АН СССР, 1956.

Паукер Н. Г. О притоке воды к несовершенным скважинам при наличии турбулентного и ламинарного режимов фильтрации. Зап. ЛГИ, 34. (1958), в. 2.

Плотников Н. А. (при участ. Богомолова Г. В. и Каменского Г. Н.). Классификация ресурсов подземных вод для целей водоснабжения и методика их подсчета. Госгеолиздат, 1946.

Плотников Н. А. I. Классификация ресурсов подземных вод для целей водоснабжения. II. Принципы оценки ресурсов подземных вод для целей водоснабжения. Сов. геол., сб. 19 (1947).

Плотников Н. А. Об оценке эксплуатационных ресурсов подземных вод. Тр. МГРИ, т. 26 (1954).

Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод ГТТИ, 1952.

Прогноз подпора грунтовых вод по берегам водохранилищ. Инструкция Гидроэнергопроекта. Госэнергоиздат, 1947.

Романов А. В. Фильтрации в основании плотин при наличии дренажей. Сб.: Вопр. фильтрац. расчетов гидротехн. сооружен. Госстройиздат, 1952, № 1.

Романов А. В. Приток воды к водозаборам подземных вод и дренам. Там же.

Семенов М. П. Классификация запасов подземных вод применительно к требованиям проектирования и строительства водозаборов. Сов. геол., сб. 25 (1947).

Силин-Бекчурин А. И. Метод приближенного расчета скоростей фильтрации и подземного стока рассолов по пьезометрам. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. АН СССР, т. 2 (1949).

Силин-Бекчурин А. И. Специальная гидрогеология, Госгеолиздат, 1951.

Силин-Бекчурин А. И. Динамика подземных вод. Изд. МГУ, 1958.

Скабаллановнч И. А. Гидрогеологические расчеты по динамике подземных вод. Углетехиздат, 1954.

Скиргелло О. Б. Проектирование водопонижения при проходке шахтных стволов. Углетехиздат, 1954.

Справочник по гидротехнике. Ред. А. А. Сидоров и др. Госстройиздат, 1955.

Справочник по инженерно-гидрогеологическим расчетам при изысканиях для гидроэнергетического строительства. Сост. Н. Н. Биндеман (при участ. Л. Д. Белого), Госэнергоиздат, 1955 (Гидроэнергопроект).

Строительное водопонижение и гидромеханика грунтовых вод. Ред. В. М. Григорьев. Машстройиздат, 1950 (Сборн. тр. НИИ основан. и фундамент., № 15)

Сыроватко М. В. Методика расчета притоков подземных вод к горным выработкам. Сб.: Тр. треста «Средазуглеразведка», в. I. Изд. АН Узб. ССР, Ташкент, 1950.

Сыроватко М. В. Методика определения притоков подземных вод к горным выработкам. Гл. V в кн.: Н. И. Плотников и др. Подземные воды рудн. месторожд. Металлургиздат, 1957.

Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений (ТУ и Н). Земляные насыпные плотины. Стройиздат НКС СССР, 1941 (ВНИИГ).

Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений (ТУ и Н). Расчеты фильтрации под гидротехническими сооружениями. Стройиздат НКС СССР, 1941 (ВНИИГ).

Трофименков Ю. Г. Расчет несовершенных скважин при безнапорной фильтрации. Гидротехн. строит. (1956), № 11.

Троянский С. В. Определение радиуса влияния одиночного колодца. Гидротехн. строит. (1932), № 2.

Троянский С. В., Белицкий А. С. и Чекин А. И. Гидрогеология и осушение месторождений полезных ископаемых. Углетехиздат, 1956.

Указания по определению коэффициента фильтрации при опытных откачках из несовершенных скважин. Сост. В. Д. Бабушкин. М., 1950 (ВНИИ Водгео).

Фильчаков П. Ф. Электромоделирование задач фильтрации в разнородном грунте. ДАН СССР, 66 (1949), № 4.

Форхгеймер Ф. Гидравлика. Пер. с нем. Ред. А. А. Черкасов. ОНТИ, 1935.

Храмушев А. С. Исследование водоносности пластов одиночными выработками. Обзор литературы и сравнительная оценка расчетных формул притока воды к одиночному колодцу и водопроводимости породы. Госгеолиздат, 1940 (Тр. Спецгео, в. 7).

Храмушев А. С. Теоретические основы графоаналитического метода определения коэффициента водопроводимости трещиноватых и грубообломочных пород. Гидрогеол. и инж. геол., сб. 8 (1941).

Христианович С. А. О движении газированной жидкости в пористых средах. Прикл. матем. и мех., 4 в. I (1940) и 5, в. 2 (1941).

Христианович С. А. Движение грунтовых вод, не следующее закону Дарси. Прикл. мат. и мех., 4 в. 1 (1940).

Чарный И. А. Об интерференции несовершенных скважин. Изв. АН СССР, ОТН, (1946), № 11.

Чарный И. А. Подземная гидромеханика. ГТТИ, 1948.

Чарный И. А. Строгое доказательство формулы Дюпюи для безнапорной фильтрации с промежутком высачивания. ДАН СССР, 79 (1951), № 6.

Чарный И. А. Основы подземной гидравлики. Гостоптехиздат, 1956.

Чертоусов М. Д. Движение грунтовых вод. Гл. XIV 3-го изд. его кн.: Гидравлика. Спец. курс. Госэнергоиздат, 1957.

Чжан-Чжун-инь. Новый метод расчета неравномерного движения грунтовых вод при наклонном водоупоре. Зап. ЛГИ, 32 (1955), в. 2.

Чугаев Р. Р. Приток грунтовой воды к траншеям и горизонтальным водосборам, заложенным выше водонепроницаемого слоя (Приближенное решение плоской задачи). Изв. НИИГ, т. 22 (1938).

Чугаев Р. Р. Новый способ расчета движения грунтовой воды под гидротехническими сооружениями. Гидротехн. строит. (1956), № 6.

Шанкин П. А. Исследование фильтрации в построенных гидротехнических сооружениях. Речиздат, 1947.

Шестаков В. М. Определение коэффициентов фильтрации анизотропных пластов по данным опытным откачек. Разв. и охр. недр (1955) № 6.

Щелкачев В. Н. Гидродинамический анализ некоторых методов определения расходов подземных потоков. Сов. геол., сб. 26 (1947).

Щелкачев В. Н. Обобщение представлений о радиусах влияния скважин. Нефт. хоз. (1948) № 2.

Щелкачев В. Н. Упругий режим пластовых водонапорных систем. Гостоптехиздат, 1948.

Щелкачев В. Н. и Лапук Б. Б. Подземная гидравлика. Гостоптехиздат, 1949.

Щелкачев В. Н. и Пыхачев Г. В. Интерференция скважин и теория пластовых водонапорных систем. Аз. ГОНТИ, Баку, 1939.

Щуров В. И. Влияние перфораций на приток жидкости из пласта в скважину. Сб.: Тр. Совещ. по развит. научно-исследов. работ в области вторичн. метод. добычи нефти. Изд. АН Азерб. ССР, Баку, 1953.

Breiteröder M. Ebene Grundwasserströmungen mit freier Oberfläche. Berlin, 1942.

Darsy H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris, 1856.

Dupuit J. Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux decouverts et à travers les terrains perméables. 2. ed. Paris, 1863.

Engelund F. On the laminar and turbulent flows of ground water through homogeneous sand. Kobenhavn, 1953.

Kegel K. Die Berechnung der Stärke des erforderlichen Gesteins meistens zwischen Grubenbauen und den mit Gruckwasser erfüllten Räumen oder Gesteinschichten. Bergbau, 55 (1942) H. 18.

Kegel K. Bergmännische Wasserwirtschaft. Halie, 1950.

Kozeny J. Hydraulik, ihre Grundlagen und praktische Anwendungen. Wien, 1953.

III. Подземные воды в сельском хозяйстве и водоснабжении

Айрапетян Г. Э. Опыт бурения скважин на воду. Госгеолтехиздат, 1957.

Белицкий А. С. и Дубровский В. В. Разведочно-эксплуатационные скважины для водоснабжения и их проектирование. Госгеолтехиздат, 1956.

Биндеман Н. Н. Прогноз режима верховодки на участках орошения. Гидротех. и мелиор. (1957), № 6.

Водоснабжение железных дорог в районах вечной мерзлоты. Ред. М. И. Сумгин, Н. Н. Гениев и А. М. Чекотилло. Трансжелдориздат, 1939.

Володько И. Ф. Использование подземных вод для орошения и водоснабжения. 2 изд. Сельхозгиз, 1955.

Володько И. Ф. Оборудование устья самоизливающихся скважин на пастбищах. Гидротехн. и мельор. (1956), № 2.

Гармонов И. В. Составление гидрогеологических очерков по территории освоения целинных и залежных земель. Сборн. научно-техн. информ., № 5. Госгеолтехиздат, 1957 (ТУ МГ и ОН СССР).

Гейтман Б. Г. и Писарьков Х. А. Осушение сельскохозяйственных земель. Сельхозгиз, 1955.

Гениев Н. Н., Абрамов Н. Н. и Павлов В. И. Водоснабжение. Госстройиздат, 1950.

Гидрогеологический сборник по вопросам водоснабжения сельского хозяйства в районах Урала и Зауралья. Ред. М. Я. Барабашкин. Госгеолтехиздат, 1956.

Граждан П. Е. О нормах минерализации воды. Изв. Туркм. фил. АН СССР, (1945), № 3—4.

Грибанов И. П. Трубчатые колодцы в сельском хозяйстве. Сельхозгиз, 1953.

Грибанов И. П. и Пашенков Я. М. Водоемы и их использование для орошения. Сельхозгиз, 1954.

Гидрогеологические очерки целинных земель. Ред. У. М. Ахмедсафин. Изд. АН Казах. ССР, Алма-Ата, 1958.

Калабин А. И. Водоснабжение предприятий Дальстроя в условиях вечной мерзлоты. Магадан, 1945.

Калабугин А. Я. и Мурашев С. И. Сельскохозяйственное водоснабжение и мелиорация. Сельхозгиз, 1955.

Карпов И. М. Орошение и обводнение. Госстройиздат, 1954.

Колодцы буровые трубчатые. ГОСТ В-1872-42. Стандартгиз, 1954.

Конюшков А. М. Водоснабжение предприятий тяжелой промышленности. Госстройиздат, 1950.

Костяков А. Н. Основы мелиорации. 5 изд. Сельхозгиз, 1954.

Костяков А. Н., Фаворин Н. Н. и Аверьянов С. Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. Сборник первый. Изд. АН СССР, 1956.

Львов А. В. Поиски и испытания водоисточников водоснабжения на западной части Амурской железной дороги в условиях «вечной» мерзлоты почвы. Иркутск, 1946.

Мельников П. И. и Ефимов А. И. Опыт эксплуатации подземных вод в области распространения вечной мерзлоты центральной Якутии. Изд. АН СССР, Якутск, 1953.

Морозов В. М., Распопов М. П. и Штейн М. А. Вопросы гидрогеологии целинных и залежных земель и пастбищ отгонного скотоводства. Госгеолтехиздат, 1956 (Мат. ВСЕГЕИ, нов. сер., в. 20 — Гидрогеология).

Оводов В. С. и Ильин В. Г. Проектирование сельскохозяйственного водоснабжения. Сельхозгиз, 1950.

Панкратов П. А. Гидрогеологические условия орошаемых массивов Таджикистана как объектов мелиорации и использования грунтовых вод. Тр. Ин-та геол. АН Тадж. ССР, в. 2 (1957) (Тр. АН Тадж. ССР, т. 77).

Пашенков Я. М., Володько И. Ф. и Дацков В. В. Водоснабжение при освоении целинных и залежных земель. Сельхозгиз, 1955.

Пашенков Я. М., Карамбиров Н. А. и Грибанов И. П. Сельскохозяйственное водоснабжение, буровое дело и насосные станции. 2 изд. Сельхозгиз, 1957.

Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора. Сельхозгиз, 1955.

Сооружение, оборудование и эксплуатация скважин для сельского водоснабжения. Ред. В. В. Дубровский и А. М. Конюшков. Госгеолтехиздат, 1955.

Справочник по мелиорации и гидротехнике. Тт. 1—3. Сельхозгиз, 1944—1945.

Суреньянц Я. С. Водяные скважины. 2 изд. Изд. МКХ РСФСР, 1957.

Технические указания по эксплуатации сооружений сельскохозяйственного водоснабжения. Изд. Мин-ва сельск. хоз. СССР, 1948.

Технические условия и нормы проектирования осушительных систем. Изд. Мин-ва сельск. хоз. СССР, 1957.

Технические условия проектирования и сооружения буровых скважин на воду. СН 14-57. Госстройиздат, 1958.

Указания по организации наблюдений за режимом грунтовых вод на орошаемых землях. Изд. Мин-ва сельск. хоз. СССР, 1949.

Черкасов А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Сельхозгиз, 1950.

Шаумян В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений. Сельхозгиз, 1948.

IV. Технические средства, применяемые при гидрогеологических исследованиях

Абрамов С. К. (сост.). Проект инструкции по подбору и расчету фильтров буровых колодцев. М., 1947.

Бояринцев Ф. С. Трубчатые колодцы. Сельхозгиз, 1952.

Булдей В. Р. и Пастухов В. Г. Опыт применения фильтров из пористого бетона для оборудования трубчатых водопонижающих колодцев. М., 1955.

Володько И. Ф. Сооружение и оборудование скважин для сельскохозяйственного водоснабжения и орошения. Гидротехн. и мелиор., (1955), № 4.

Володько И. Ф., Добровольский Н. Ф., Кашеков Л. Я. и Пашенков Я. М. Строительство трубчатых колодцев. Сельхозгиз, 1956.

Выборных С. Ф. Промысловое геофизическое оборудование и аппаратура. Гостоптехиздат, 1958.

Гаврилко В. М. Фильтры с водоприемной поверхностью из сеток и тканей. Госгеолиздат, 1952.

Гаврилко В. М. Фильтры для буровых скважин с применением сеток из пластмасс и тканей из стеклянного волокна Гидротехн. строит. (1952), № 9.

Гаврилко В. М. Каркасно-стержневые фильтры для водозаборных и водопонизительных скважин. М., 1953.

Гаврилко В. М. и Абрамов С. К. Фильтры буровых скважин. Госстройиздат, 1954.

Гаврилко В. М. и Абрамов С. К. Подбор и расчет фильтров водозаборных скважин. М., 1956.

Доманевский Н. А. Гидрология и гидрометрия. Речиздат, 1951.

Дубровский В. В. и Карпов В. Ф. Бурение и оборудование мелких скважин для водоснабжения. Госгеолиздат, 1952.

Елисеев М. Я. Клееные гравийные фильтры для буровых скважин. Гидротехн. и мелиор. (1955), № 3.

Исакович Р. Я. Контрольно-измерительные приборы в добыче нефти. Гостоптехиздат, 1954.

Каталог-справочник по насосам. Сост. В. И. Жданов. Углетехиздат, 1949.

Конопкин Б. К. Песчано-гравийный клееный фильтр. Гидротехн. и мелиор. (1953), № 11.

Кулиев С. М. и Филатов Б. С. Бурение нефтяных и газовых скважин. Гостоптехиздат, 1958.

Куличихин Н. И. Бурение на воду ОНТИ, 1938.

Куличихин Н. И. и Воздвиженский Б. И. Разведочное бурение. Госгеолиздат, 1949.

Магурдумов А. М. Опыт бурения скважин на воду с продувкой забоя сжатым воздухом. Разв. и охр. недр (1957), № 12.

Малюга В. П. Усовершенствованный глубинный электротермометр. Развед. и промыслов. геофизика, в. 17 (1957).

Марамзин А. В. Инструктивные материалы по бурению колонковых скважин в мерзлых породах. Госгеолтехиздат, 1955.

Марамзин А. В. и Ермолаев В. М. Бурение структурно-поисковых скважин. Гостоптехиздат, 1955.

Опытные работы при гидрогеологических исследованиях (Серия учебных плакатов). Сост. Д. А. Алексеев и В. В. Дубровский. Госгеолтехиздат, 1954.

Протасов Г. Н. и Удянский Н. Я. Бурение нефтяных и газовых скважин. Гостоптехиздат, 1954.

Справочник по бурению скважин на воду. Гостоптехиздат, 1956.

Тампонирование скважин при их ликвидации. Госэнергоиздат, 1947.

Указания по бурению скважин больших диаметров и оборудованию их гравийными фильтрами. Сост. В. М. Гаврилко. М., 1955.

Указания по изготовлению и внедрению каркасно-стержневых фильтров для водозаборных скважин. Сост. В. М. Гаврилко. М., 1951.

Фильтры водозаборных скважин. Ред. С. В. Троянский. Госстройиздат, 1952.

Хохловкин Д. М. Глубинные насосы для водопонижения и водоснабжения. 2 изд. Углетехиздат, 1954.

Чалищев А. М. Устройство буровых скважин для водоснабжения. Госстройиздат, 1956.

Шамшев Ф. А. Основы разведочного бурения. Госгеолтехиздат, 1956.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

От научного редактора 3
Предисловие 5

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

Основы общей гидрогеологии

Глава I. Вода в природе 9

§ 1. Виды воды в природе . . . . . —
§ 2. Круговорот воды в природе 12

Глава II. Некоторые физические и водные свойства горных пород 31

§ 1. Пористость . . . . . —
§ 2. Гранулометрический состав 35
§ 3. Влажность 39
§ 4. Влагоемкость, водоотдача и водопроницаемость 40
§ 5. Капиллярность 43

Глава III. Термические свойства горных пород и их значение в гидрогеологии 47

§ 1. Предварительные замечания . . . . . —
§ 2. Термические свойства горных пород, геотермические градиент и ступень 48

Глава IV. Физические свойства, химический и бактериологический состав и радиоактивность природных вод 53

§ 1. Физические свойства . . . . . —
§ 2. Химический состав 56
§ 3. Химические классификации 61
§ 4. Радиоактивность природных вод 72
§ 5. Бактериологический состав воды . . . . . —
§ 6. Отбор проб воды для анализа 75
§ 7. Полевые гидрохимические лаборатории 78
§ 8. Агрессивность вод 83
§ 9. Жесткость воды 85

Глава V. Классификация и краткая характеристика подземных вод 86

§ 1. Классификация подземных вод . . . . . —
§ 2. Воды зоны аэрации 94
§ 3. Болотные воды 95
§ 4. Грунтовые поровые воды 98
§ 5. Трещинные грунтовые и напорные воды 111
§ 6. Карстовые грунтовые и напорные воды 113
§ 7. Артезианские воды 118
§ 8. Подземные воды области многолетней мерзлоты 121

Глава VI. Источники 132

§ 1. Основные определения и классификация источников . . . . . —
§ 2. Режим источников 139
§ 3. Изучение газов источников 141
§ 4. Изучение минеральных отложений источников 142

Стр.

Глава VII. Минеральные воды 143

§ 1. Предварительные замечания . . . . . —
§ 2. Главные типы минеральных вод 144
§ 3. Классификация минеральных вод 148
§ 4. Распространение минеральных вод на территории СССР 149

Глава VIII. Воды нефтяных месторождений 156

§ 1. Классификация подземных вод нефтяных месторождений . . . 157
§ 2. Движение контурных вод в нефтяных и газовых месторождениях . 158
§ 3. Геогидродинамическая зональность и особенности солевого состава вод нефтяных месторождений 163
§ 4. Газовый состав вод нефтяных месторождений 166
§ 5. Геогидродинамическая зональность и режимы нефтяных пластов 169
§ 6. Роль подземных вод в формировании, сохранении и разрушении нефтяных и газовых залежей 170
§ 7. Гидрогеологические показатели, используемые при поисках нефти и газа 173

Глава IX. Общие указания по методике проведения гидрогеологических исследований 181

§ 1. Задачи гидрогеологических исследований различного масштаба —
§ 2. Изучение основных типов подземных вод 182
§ 3. Изучение подземных вод в областях современного вулканизма . . 189
§ 4. Проведение съемок в пустынных районах 190
§ 5. Изучение подземных вод в условиях многолетней мерзлоты 191
§ 6. Изучение водопунктов 194
§ 7. Изучение минеральных вод и грязей (пелоидов) 197
§ 8. Гидрогеологические наблюдения и исследования в скважинах и шурфах 203
§ 9. Камеральная обработка материалов и составление отчета 237

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

Основы динамики подземных вод и гидрогеологические расчеты

Глава X. Законы движения подземных вод 241

Глава XI. Определение действительной скорости движения подземных вод 245

§ 1. Состав и содержание работ по определению скорости движения подземных вод 246
§ 2. Основные методы определения действительной скорости движения подземных вод 248
§ 3. Документация и обработка материалов 251

Глава XII. Определение коэффициента фильтрации по данным откачек, наливов, нагнетаний, лабораторных исследований и по эмпирическим формулам 253

§ 1. Откачки из скважин в однородных породах (движение подчиняется закону Дарси $v = KI$) . . . . . —
§ 2. Откачки из скважин в неоднородных породах (движение подчиняется закону Дарси $v = KI$) 275
§ 3. Откачки из скважин в условиях движения подземных вод в трещиноватых породах, подчиняющегося закону А. А. Краснопольского $v = K_m\sqrt{I}$ 284
§ 4. Наливы и нагнетания в скважины, колодцы и шурфы 286
§ 5. Откачки из шахтных колодцев и шурфов 294
§ 6. Определение коэффициента фильтрации горных пород в лабораторных условиях 296
§ 7. Определение коэффициента фильтрации горных пород по эмпирическим формулам 307

Стр.

Глава XIII. Определение радиуса депрессии (радиуса влияния) 314

§ 1. Определение радиуса депрессии по данным опытной кустовой откачки . . . . . —
§ 2. Радиус депрессии при откачке из колодца, расположенного близ берега реки или другого водоема 315
§ 3. Радиус депрессии при откачке из потока подземных вод 316
§ 4. Радиус депрессии при питании водоносного горизонта за счет равномерной инфильтрации на площади депрессионной воронки . . 318
§ 5. Неустановившийся радиус депрессии при откачке из бассейна грунтовых вод (при отсутствии питания водоносного горизонта) . . 320
§ 6. Эмпирические формулы и таблицы для определения радиуса депрессии . . . . . —

Глава XIV. Определение притока воды к водозаборным сооружениям . . . 322

§ 1. Определение притока воды к вертикальным водозаборам . . . . —
§ 2. Определение притока воды к горизонтальным водозаборам 337
§ 3. Определение притока воды к инфильтрационным водозаборам . . 343

Глава XV. Расчет взаимодействующих выработок 347

§ 1. Группа выработок, расположенных без определенной системы на площади 349
§ 2. Одноконтурные группы выработок 353
§ 3. Многоконтурные системы выработок 357
§ 4. Системы однотипных выработок, расположенных по геометрически правильной сетке 358
§ 5. Линейные ряды выработок 359
§ 6. Гидравлический метод расчета взаимодействующих выработок по М. Е. Альтовскому 375
§ 7. Определение «скачка» в уровнях и водозахватной способности выработки 377

Глава XVI. Притоки воды к горным выработкам и котлованам 380

§ 1. Определение притока воды к горным выработкам . . . . . —
§ 2. Приток воды к котлованам 407
§ 3. Определение допустимого напора, при котором не происходит прорыва воды в горные выработки 410

Глава XVII. Краткие сведения о расчетах иглофильтровых установок 415

§ 1. Общие данные об иглофильтрах . . . . . —
§ 2. Расчеты иглофильтровых установок 420

Глава XVIII. Определение расхода подземного потока в безнапорных водоносных горизонтах 430

§ 1. Движение подземных вод в однородных породах . . . . . —
§ 2. Движение подземных вод в неоднородных породах 445

Глава XIX. Определение расхода подземного потока в напорных водоносных горизонтах 452

§ 1. Движение подземных вод в однородных породах . . . . . —
§ 2. Движение подземных вод в неоднородных породах 455
§ 3. Напорно-безнапорное движение подземных вод 460

Глава XX. Расчеты фильтрации в пределах гидротехнических сооружений . . 463

§ 1. Предварительные замечания . . . . . —
§ 2. Фильтрация в основании гидротехнических сооружений 465
§ 3. Фильтрация в земляных плотинах 474
§ 4. Фильтрация в обход гидротехнического сооружения 483
§ 5. Фильтрация в скальных основаниях гидротехнических сооружений 487
§ 6. Графический способ расчета фильтрации 488
§ 7. Метод электрогидродинамических аналогий 492

Стр.

Глава XXI. Расчеты подпора грунтовых вод и фильтрации из водохранилищ и каналов 496

§ 1. Подпор грунтовых вод . . . . . —
§ 2. Фильтрация из водохранилищ 503
§ 3. Фильтрация из каналов 509

Глава XXII. Определение и классификация запасов подземных вод 513

§ 1. Определение запасов подземных вод . . . . . —
§ 2. Классификация эксплуатационных запасов подземных вод . . . 519

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

Подземные воды в сельском хозяйстве

Глава XXIII. Гидрогеологические работы и требования, предъявляемые к воде при водоснабжении сельских объектов 523

§ 1. Гидрогеологические работы при водоснабжении сельских объектов подземными водами . . . . . —
§ 2. Требования, предъявляемые к воде при водоснабжении сельских объектов 525

Глава XXIV. Типы сельских водозаборов подземных вод 533

§ 1. Каптаж источников . . . . . —
§ 2. Водозаборные сооружения горизонтального типа . . . . . —
§ 3. Водозаборные сооружения вертикального типа 535

Глава XXV. Гидрогеологические работы при мелиорации 540

§ 1. Осушение земель . . . . . —
§ 2. Орошение земель 543
§ 3. Обводнение пастбищ 551

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

Технические средства и краткие методические указания по использованию их при гидрогеологических исследованиях

Глава XXVI. Буровые станки и вышки 555

§ 1. Общие сведения . . . . . —
§ 2. Станки с рычажной подачей 558
§ 3. Станки с гидравлической подачей 568
§ 4. Станки с дифференциальной подачей 578
§ 5. Станки ударно-механического бурения 582
§ 6. Передвижные роторные установки 593
§ 7. Ручные комплекты 606
§ 8. Буровые вышки . . . . . —
§ 9. Механическое бурение неглубоких скважин 610

Глава XXVII. Насосы для промывки скважин 625

Глава XXVIII. Двигатели 632

Глава XXIX. Насосы, применяемые при гидрогеологических работах 637

§ 1. Ручные насосы . . . . . —
§ 2. Штанговые насосы с механическим приводом 638
§ 3. Насосные лебедки 640
§ 4. Ветронасосные установки 641
§ 5. Поршневые горизонтальные насосы 642
§ 6. Центробежные насосы 643
§ 7. Эрлифты 648
§ 8. Гидроэлеваторы (водоструйные насосы) 654

Стр.

Глава XXX. Фильтры 657

§ 1. Металлические фильтры . . . . . —
§ 2. Фильтры неметаллические 670
§ 3. Расчет основных параметров фильтров . . . . . —

Глава XXXI. Приборы, применяемые при гидрогеологических исследованиях, и методика работы с ними 675

§ 1. Приборы для измерения уровня воды в скважинах, шурфах и колодцах . . . . . —
§ 2. Приборы и приспособления для определения расхода воды . . . 688
§ 3. Приборы для измерения температуры воды 706
§ 4. Приборы для отбора проб воды из скважин 709
§ 5. Приборы и приспособления для отбора проб газа 711
§ 6. Приборы и приспособления для определения дебита газа . . . 718
§ 7. Приборы, применяемые при опробовании глубоких скважин . . . 723

Глава XXXII. Тампонаж гидрогеологических скважин 734

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

Приложения

I. Геохронологическая таблица 739
II. Условные обозначения для составления гидрогеологических разрезов и карт 741
III. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева 748
IV. Таблица атомных весов ионов и множителей для пересчета миллиграмм-ионов на миллиграмм-эквиваленты 749
V. Таблица натуральных тригонометрических функций . . . . . —
VI. Таблица десятичных логарифмов чисел от 0 до 1000 751
VII. Таблица показательных и гиперболических функций 755
VIII. Таблица полных эллиптических интегралов первого рода 759
IX. Таблица неполных эллиптических интегралов первого рода 760
X. Таблица значений функции $\varphi(\eta)$ при $i>0$ 762
XI. Таблица значений функции $\varphi(\eta)$ при $i<0$ 767
XII. Разные общетехнические таблицы 771
XIII. Формы гидрометрических журналов 779
XIV. Нормативные данные по откачкам и нагнетаниям (по СУСН-54) 782
XV. Формы журналов откачек и учетных карточек 783
XVI. Нормы содержания ионов в питьевой воде (*мг/л*) для Северного Кавказа и Средней Азии 797
XVII. Спецификация бурового оборудования 798
XVIII. Техника безопасности при бурении и опробовании гидрогеологических скважин 810

Литература 815

ИСПРАВЛЕНИЯ И ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
19	Форм. (I-7)	$Q = k - \frac{E-e}{p}\, s,$	$Q = k\,\frac{E-e}{p}\, s,$
59	3 св.	$HASO_4''$	$HAsO_4''$
60	16 сн.	$HASO_4''$	$HAsO_4''$
63	8 св.	хлоридов	хлоридных
110	6 сн.	глубоко	неглубоко
128	17 св.	превышает	не превышает
129	19 св.	Si	Sr
145	26—27 св.	в Славянском	в Славяновском
153	Лев. столбец	Славянский	Славяновский
259	Форм. (XII-19)	$K = \frac{0{,}366 \lg\left[\frac{2L}{\pi r_0}\cos\frac{\pi(l_1-l_2)}{2L}\right]}{MS_0}$	$K = \frac{0{,}366\, Q \lg\left[\frac{2L}{\pi r_0}\cos\frac{\pi(l_1-l_2)}{2L}\right]}{MS_0}$
274	Форм. (XII-76)	$a < 0{,}71\, l \sqrt{\sqrt{1+0{,}41\left(\frac{Q}{KIl^2}\right)^2}-1}$	$a < 0{,}71\, l \sqrt{\sqrt{1+0{,}41\left(\frac{Q}{KIl^2}\right)^2}-1}$
275	Форм. (XII-79)	$K_1 = \frac{Q \lg\frac{R}{r_0} - 1{,}36\, K_2 (H_2^2 - h_0^2)}{2{,}73\, M_1 (H_2^2 - h_0)}$	$K = \frac{Q \lg\frac{R}{r_0} - 1{,}36\, K_2 (H_2^2 - h_0^2)}{2{,}73\, M_1 (H_2 - h_0)}$
294	6 св.	абсцисс	ординат
335	8 сн.	(XIV-50)	(XIV-51)
342	6 св.	$2 - \frac{0{,}34}{D \cdot 2}$	$2 - \frac{0{,}34}{D^2}$

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
467	19 св.	$l \leqslant x \leqslant l$	$-l \leqslant x \leqslant l$
467	26 св.	$\infty < x \leqslant l$	$-\infty < x \leqslant l$
468	4 св.	$\infty < x \leqslant 0$	$-\infty < x \leqslant 0$
468	4 сн.	$l_1 \leqslant x \leqslant 0$	$-l_1 \leqslant x \leqslant 0$
469	14 сн.	$\infty < x \leqslant -l_1$	$-\infty < x \leqslant -l_1$
473	Форм. (XX-26)	$I = \dfrac{\pi q}{4TK_3K_3' \cos \dfrac{\pi S}{2T} \lvert u \rvert} \ldots$	$I = \dfrac{\pi q}{4TK_3' \cos \dfrac{\pi S}{2T} \lvert u \rvert} \ldots$
481	Форм. (XX-44)	$T_2 = \dfrac{T_1\varepsilon_2 (H-h) \operatorname{sh} (L_n\varepsilon_1)}{T\varepsilon_1 [\operatorname{ch} (L_n\varepsilon_1) - C] \operatorname{sh} (mh\varepsilon_2) + T_1\varepsilon_2 \operatorname{sh} (mh\varepsilon_2) \operatorname{ch} (L_n\varepsilon_1)}$	$T = \dfrac{T_1\varepsilon_2 (H-h) \operatorname{sh} (L_n\varepsilon_1)}{T\varepsilon_1 [\operatorname{ch} (L_n\varepsilon_1) - C] \operatorname{sh} (mh\varepsilon_2) + T_1\varepsilon_1 \operatorname{ch} (mh\varepsilon_2) \operatorname{sh} (L_n\varepsilon_1)}$
503	14 св.	по закону	по знаку

Заказ 599.

32 p.

10532